



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ
INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

SROVNÁNÍ VYBRANÝCH SILNIČNÍCH NEHOD SE STÁVAJÍCÍMI NÁRAZOVÝMI ZKOUŠKAMI

COMPARISON OF SELECTED REAL TRAFFIC ACCIDENTS TO CRASH TESTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. TEREZA RYBKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Bc. MAREK SEMELA, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství

Ústav soudního inženýrství

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Tereza Rybková

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Expertní inženýrství v dopravě (3917T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Srovnání vybraných silničních nehod se stávajícími nárazovými zkouškami

v anglickém jazyce:

Comparison of Selected Real Traffic Accidents to Crash Tests

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem práce je vybrat vhodné reálné nehody dle charakteru poškození vozidla ke srovnání s prováděnými nárazovými testy, porovnat deformace vozidel z reálných nehod s deformacemi při nárazových zkouškách, analyzovat vybrané reálné nehody za účelem stanovení střetové rychlosti, resp. energetického ekvivalentu a porovnat s rychlostí při nárazové zkoušce. Dále je potřeba srovnat a vyhodnotit závěry a formulovat jejich případný dopad.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je porovnání a přiřazení vybraných silničních nehod vozidel Škoda ke zkouškám EuroNCAP a zkouškám homologačním. Porovnání poškození (hloubky a charakteru deformace) vozidel a případného zatížení figuríny z těchto zkoušek s poškozením vozidla případně zraněním posádky z reálných nehod.

Seznam odborné literatury:

- [1] BRADÁČ, A. a kol. Soudní inženýrství. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 1997. ISBN 80-7204-057-X. s. 719
- [2] BURG, H., MOSER A. Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion – Unfallaufnahme – Fahrdynamik – Simulation, 1. vydání 2007, Vieweg, ISBN 978-3-8348-0172-2. s. 952.
- [3] HUGEMANN, W. a rozsáhlý autorský tým. Unfall-rekonstruktion, dva svazky, 1. vydání, 2007. ISBN 3-00-019419-3. s. 1238.
- [4] KOLEKTIV AUTORŮ. Wypadki drogowe – Vademecum biegłego sadowego, vydavatelství Instytutu Ekspertys sadowych, Krakov 2010. ISBN 83-87425-32-X. s. 1094.
- [5] Materiály poskytnuté společností Škoda Auto a.s.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bc. Marek Semela, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 24.10.2012

L.S.

doc. Ing. Robert Kledus, Ph.D.
Ředitel vysokoškolského ústavu

Abstrakt

Tato diplomová práce představuje přehled základních sil působících na vozidlo, základní metody analýzy nehodových dějů a sběr dat použitých při analýze nehod, přehled základních biomechanických kritérií a limitů používaných při homologační zkoušce ochrany cestujících při čelním nárazu, používané nárazové zkoušky, homologační zkoušky a specifikace pro tyto zkoušky. Pozornost je zejména věnována nárazovým zkouškám Euro NCAP a homologačním zkouškám vozidel Škoda Octavia s cílem pokusit se je porovnat s vybranými nehodami z hlediska hloubky a charakteru deformace a vyhodnotit zjištěné porovnání.

Abstract

This master's thesis presents an overview of the basic forces acting on the vehicle, the basic methods of analysis of accident, collection of data used in the analysis of accidents, an overview of the basic performance criteria and thresholds used in the homologation test of occupant protection in a frontal impact, used crash tests, homologation tests and specifications for these tests. Attention is paid to Euro NCAP crash tests and to homologation tests of vehicles Skoda Octavia with aim to try to compare them with selected accidents in terms of depth and character deformation and evaluate findings comparison.

Klíčová slova

Homologační zkoušky, Euro NCAP, střetová rychlost, analýza nehod, deformace, EES, zranění.

Keywords

Homologation tests, Euro NCAP, impact speed, accident analysis, deformation, EES, injury.

Bibliografická citace

RYBKOVÁ, T. *Srovnání vybraných silničních nehod se stávajícími nárazovými zkouškami*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2013. 78 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Bc. Marek Semela, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

podpis diplomanta

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Bc. Marku Semelovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotné poskytnutí podkladů, cenných rad a připomínek a návrhy ke zlepšení. Dále bych velmi ráda poděkovala Ing. Jiřímu Sojkovi za poskytnutí podkladů a odborných rad a především svým rodičům za nekonečnou trpělivost a velkou podporu při studiu.

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	HOMOLOGAČNÍ ZKOUŠKY A NÁRAZOVÉ ZKOUŠKY EURO NCAP.....	12
2.1	Homologační zkoušky	12
2.1.1	<i>Ochrana cestujících při čelním nárazu – Předpis EHK OSN č. 94</i>	12
2.2	Nárazové zkoušky Euro NCAP	14
2.2.1	<i>Čelní náraz do deformovatelné bariéry</i>	15
3	TEORIE K NEHODOVÝM UDÁLOSTEM	16
3.1	Základy mechaniky vozidla	16
3.1.1	<i>Pohybové zákony</i>	16
3.1.2	<i>Síly působící na vozidlo</i>	17
3.1.3	<i>Jízdní odpory vozidla</i>	19
3.2	Data k nehodové události.....	20
3.2.1	<i>Měření</i>	20
3.2.2	<i>Pořízené záznamy</i>	22
3.2.3	<i>Stopy vzniklé na vozovce</i>	25
3.2.4	<i>Stopy na vozidlech</i>	25
3.2.5	<i>Stopy na okolních předmětech</i>	26
3.2.6	<i>Stopy nebo následky na těle oběti silniční dopravní nehody</i>	27
3.3	Pasivní bezpečnost.....	31
3.3.1	<i>Deformační zóny</i>	31
3.4	Analýza nehod	33
3.4.1	<i>Výpočty pohybu vozidla během nehodového děje při přímé jízdě na rovině</i>	34
3.4.2	<i>Analýza střetu</i>	35
3.4.3	<i>Grafická analýza silničních nehod</i>	45
3.4.4	<i>Používané softwary k analýze nehod</i>	46
4	POROVNÁNÍ NÁRAZOVÝCH TESTŮ S VYBRANÝMI NEHODAMI.....	46
4.1	Rozbor zkoušek a vybraných nehod	46
4.1.1	<i>Čelní nárazová zkouška ve 40km/h se 40% překrytím</i>	46
4.1.2	<i>Homologační zkouška – EHK OSN č. 94</i>	48
4.1.3	<i>Nárazová zkouška Euro NCAP – čelní náraz</i>	50
4.1.4	<i>Nehoda vozidla Octavia I s vozidlem Škoda 105</i>	53
4.1.5	<i>Nehoda vozidla Octavia II s vozidlem Fabia II</i>	54

4.1.6	<i>Nehoda vozidla Octavia I s vozidlem Felicia</i>	56
4.1.7	<i>Nehoda vozidla Octavia I s vozidlem Octavia II</i>	58
4.1.8	<i>Nehoda boční střet vozidla Mercedes-Benz s vozidlem Fabia I</i>	60
4.2	<i>Porovnání zkoušek s nehodami.....</i>	62
4.2.1	<i>Porovnání kinetických energií vozidel před střetem</i>	62
4.2.2	<i>Porovnání deformací</i>	63
4.2.3	<i>Porovnání deformačních energií spotřebovaných při nárazu</i>	65
4.2.4	<i>Porovnání tuhostí předních částí vozidel a tuhostí deformovatelných bariér ..</i>	67
4.2.5	<i>Porovnání zranění.....</i>	69
5	<i>ZÁVĚR</i>	69
	<i>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</i>	71
	<i>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ</i>	74
	<i>SEZNAM OBRÁZKŮ</i>	75
	<i>SEZNAM TABULEK</i>	77
	<i>SEZNAM PŘÍLOH</i>	78

1 ÚVOD

Nárazové zkoušky jsou prováděny za účelem hodnocení bezpečnosti vozidel. V rámci Evropské unie povinnost tyto testy provádět vyplývá z předpisů Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (dále jen EHK OSN) požadovaných ke schválení způsobilosti typu. Dále jsou tyto testy prováděny za účelem analýzy mechanismu střetu o pohybu vozidla po střetu, což slouží zejména pro potřeby analýzy nehod.

V mezinárodním měřítku funguje nezisková organizace Global New Car Assessment Programme jako podpora a poskytovatel platformy pro spolupráci mezi jednotlivými organizacemi zařazenými v New Car Assessment Programmes (dále jen NCAP), jejímž cílem je výměna informací a osvědčených postupů při testování za účelem podpory výroby bezpečnějších vozidel. V rámci Evropy jde o nezávislou evropskou organizaci Euro NCAP, která se snaží poskytnout spotřebitelům reálné a nezávislé posouzení úrovně pasivní bezpečnosti nad rámec zákonných zkoušek. [1]

Pro kvalitní analýzu nehod, která dá odpovídající přehled o nehodovém ději, je potřeba znát základy mechaniky vozidla, tedy síly působící na vozidlo, a vybrat vhodnou metodu analýzy nehod od počátečního sběru dat, přes stanovení střetové rychlosti, až po konečné vyhodnocení možných následků na posádku.

Cílem této práce je mj. pokusit se přiřadit a porovnat vybrané silniční nehody vozidel Škoda ke zkouškám Euro NCAP a zkouškám homologačním a zjistit jejich realistické hodnocení bezpečnosti porovnáním deformací ze zkoušek a reálných silničních nehod. Pro důkladné porovnání zkoušek s nehodami bude důležité poznat prvky pasivní bezpečnosti vozidla, biomechanická kritéria a vybrat takové nehody, kde došlo k čelnímu střetu s překrytím okolo 40 % a rychlostí v rozmezí 30-70 km/h.

Z porovnání poté vyhodnotit, nakolik hodnoty získané ze zkoušek odpovídají reálným situacím a zda jsou vypovídající o reálné úrovni pasivní bezpečnosti vozidla.

2 HOMOLOGAČNÍ ZKOUŠKY A NÁRAZOVÉ ZKOUŠKY EURO NCAP

2.1 HOMOLOGAČNÍ ZKOUŠKY

Pro potřeby této práce podle části třetí, hlava I zákona č. 56/2001 Sb. je schvalování postup, podle kterého se získává osvědčení o schválení technické způsobilosti typu silničního vozidla, systému vozidla, konstrukční části vozidla nebo samostatného technického celku nebo silničního vozidla vyráběného v malé sérii, které výrobce nebo akreditovaný zástupce výrobce hodlá uvádět na trh. Přičemž se pro prohlášení o shodě typu vozidla, typu systému vozidla a typu konstrukčních částí vozidla a typu samostatného technického celku vozidla používá pojem homologace typu. Jednotlivé kroky postupu homologace, jako je podání žádosti o homologaci typu, dodání vzorků ke zkouškám, vystavování osvědčení o homologaci, vzorky jednotlivých dokumentů a homologačních značek, jsou detailně popsány v příslušných předpisech EHK OSN. Ministerstvem dopravy udělené homologace jsou mezinárodně uznávány. Vydávání osvědčení o homologaci a homologační zkoušky podle příslušných předpisů EHK OSN probíhají v homologačních zkušebnách zmocněných ministerstvem dopravy. Předmět homologace, kterému je vystaveno osvědčení o homologaci, je označen homologační značkou. [2] Pro potřeby této práce se bude dále rozebírat předpis EHK OSN č. 94.

2.1.1 Ochrana cestujících při čelním nárazu – Předpis EHK OSN č. 94

Při této zkoušce zkoušené vozidlo naráží do deformovatelné bariéry na straně řidiče za předem definovaných podmínek podle předpisu EHK OSN č. 94 – Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska ochrany cestujících při čelním nárazu se vztahuje na vozidla kategorie M1 o celkové přípustné hmotnosti nepřesahující 2,5 tuny a uplatňuje se na žádost výrobce při schvalování typu vozidla z hlediska ochrany cestujících na předních sedadlech při čelním nárazu. [3]

Podmínky zkoušky

Podmínky a postup zkoušky (zdroj [3]):

- Zkušební prostor – prostor musí být dostatečně velký pro bariéru, technická zařízení potřebná pro zkoušku a pro rozjezdovou dráhu zkoušeného vozidla (úsek minimálně 5 m před bariérou musí být vodorovný, rovný a hladký).

- Bariéra – v kapitole 2.1.1.2 je definovaná deformovatelná konstrukce čela bariéry. Přední strana deformovatelné konstrukce musí být kolmá na směr jízdy zkoušeného vozidla s přesností $\pm 1^\circ$. Bariéra je připevněna k tělesu o hmotnosti nejméně 70 000 kg, přičemž je čelo tělesa svislé s přesností $\pm 1^\circ$. Těleso se zakotví v zemi nebo položí na zem a popřípadě je k omezení pohybu vybaveno zajišťovacím zařízením. Orientace bariéry je dána tak, aby k prvnímu styku s vozidlem došlo na straně sloupku řízení. Vozidlo musí překrývat čelo bariéry ze 40 % ± 20 mm.
- Vozidlo - reprezentativní vzorek sériové výroby obsahující obvyklé zařízení pro běžný provozní stav, musí mít svou pohotovostní hmotnost. Ve vozidle je použita figurína Hybrid III.
- Rychlost zkoušky – v okamžiku nárazu musí být rychlost vozidla $56 \pm 0,5$ km/h, pokud vozidlo vyhoví požadavkům při vyšší nárazové rychlosti, je zkouška hodnocena za vyhovující.
- Biomechanická kritéria a limity jsou uvedena v kapitole 3.2.6.1.

Charakteristika deformovatelné bariéry

Deformovatelná bariéra se skládá z hlavního voštinového bloku, nárazníkového bloku, zadního plechu, krycího plechu a čelního plechu nárazníku. Jejich specifikace je uvedena v tabulce 1 a rozměry deformovatelné bariéry jsou znázorněny na obrázku 1. [3]

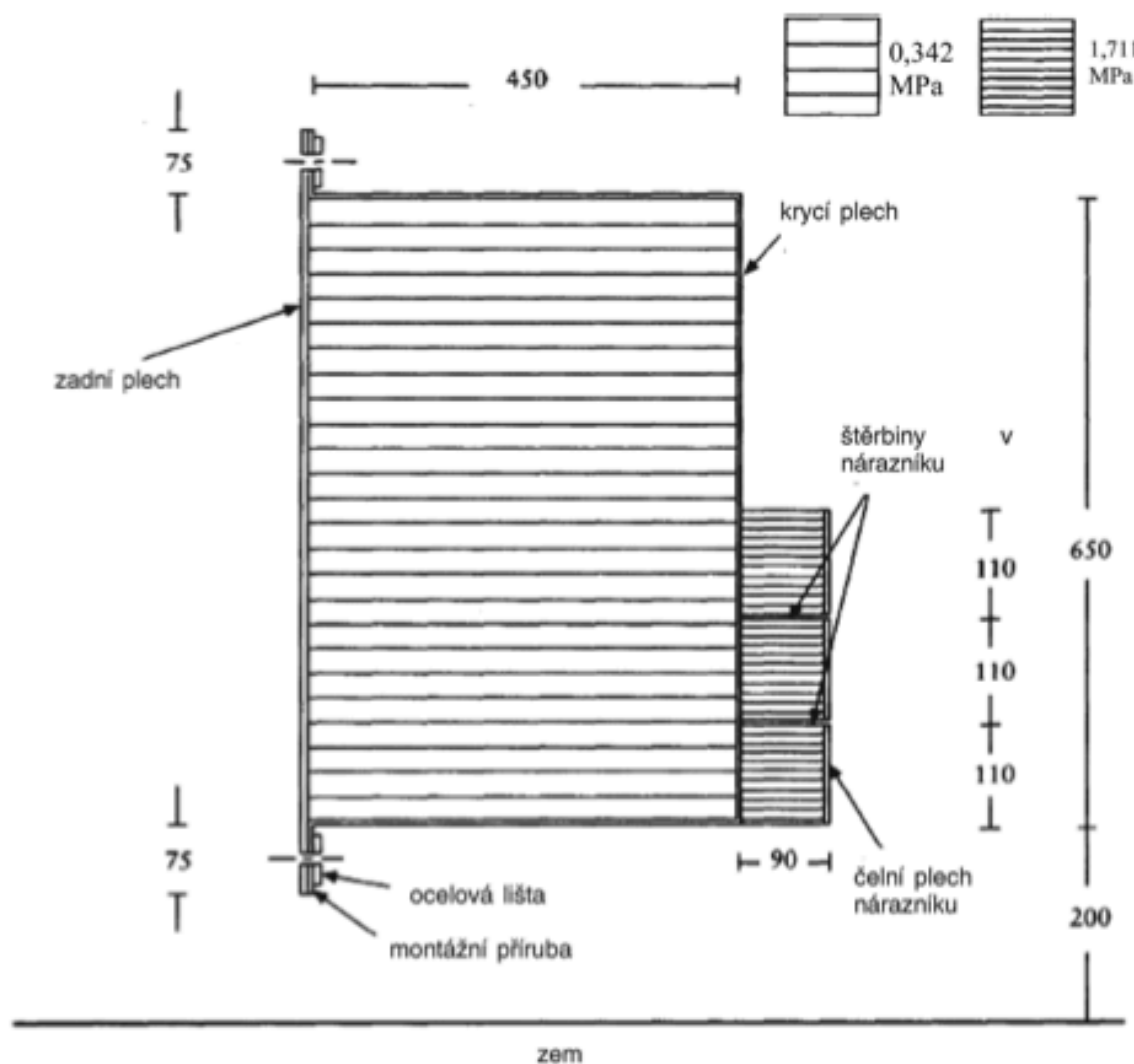
Tabulka 1 Specifikace jednotlivých částí deformovatelné bariéry [3]

	Hlavní voštinový blok	Nárazníkový blok	Zadní plech	Krycí plech	Čelní plech nárazníku
Výška* [mm]	650	330	800	1 700	330
Šířka* [mm]	1 000	1 000	1000	1 000	1 000
Hloubka* [mm]	450	90	-	-	-
Materiál	Hliník 3003	Hliník 3003	Hliník 5251/5052	Hliník 5251/5052	Hliník 5251/5052
Tloušťka fólie** [mm]	0,076	0,076	-	-	-
Tloušťka [mm]	-	-	$2,0 \pm 0,1$	$0,81 \pm 0,07$	$0,81 \pm 0,07$
Velikost buňky*** [mm]	19,1	6,4	-	-	-
Hustota [kg/m ³]	28,6	83,6			-
Pevnost v tlaku [MPa]	0,342	1,711	-	-	-

* U výše uvedených rozměrů se připouští tolerance $\pm 2,5$ mm.

** U výše uvedených rozměrů se připouští tolerance ± 15 %.

*** U výše uvedených rozměrů a hodnot se připouští tolerance ± 20 %.



Šířka bariéry = 1 000 mm.

Všechny rozměry v mm.

Obrázek 1 Rozměry deformovatelné bariéry [3]

2.2 NÁRAZOVÉ ZKOUŠKY EURO NCAP

Hlavní zkoušky, které Euro NCAP provádí, jsou: čelní náraz do deformovatelné bariéry, boční náraz do vozidla pohyblivou deformovatelnou bariérou, boční náraz na kúl, střet s chodcem, test ochrany dětí, test ochrany krční páteře a test bezpečnostních systémů. K testům se využívají figuríny Hybrid III (pro čelní náraz), EuroSID II (pro boční náraz) a dětské figuríny Q1½ a Q3 se senzory zrychlení. Výsledky z testů se vyhodnocují ve čtyřech kategoriích a to ochrana dospělé posádky, ochrana dětí, ochrana chodců a bezpečnostní systémy s procentní hodnotou udávající ochranu. Podle této hodnoty jsou poté přidělovány

hvězdičky: 0 (nevyhovuje) – 5 (bezpečné). Grafické znázornění ochrany posádky je barevně odlišeno podle míry možného poškození jednotlivých partií (viz obrázek 2). [4]



Obrázek 2 Ochrana posádky [4]

Ve studii [5] založené na policejních zprávách ze Švédska a testech Euro NCAP čelní náraz a boční náraz za období 1994 až 2000 zaměřené na zranění řidičů bylo zjištěno, že riziko zranění odpovídá reálným nehodám a je 12% snížení rizika zranění za každou získanou hvězdou. Dále bylo vyhodnoceno, že u vozidel, kterým byl přidělen vyšší počet hvězd, je riziko smrtelných a vážných zranění o 30 % nižší než u hůře hodnocených vozidel.

Pro potřeby této práce se využije pouze zkouška čelní náraz do deformovatelné bariéry. Ostatní zkoušky nebudou dále rozebírány.

2.2.1 Čelní náraz do deformovatelné bariéry

Zkouška probíhá za předem definovaných podmínek tak, že zkoušené vozidlo naráží do deformovatelné bariéry na straně řidiče. Grafické znázornění testu je na obrázku 3. [4] Biomechanická kritéria a limity jsou uvedena v kapitole 3.2.6.1.



Obrázek 3 Čelní náraz do deformovatelné bariéry [4]

Podmínky zkoušky

Při zkoušce je deformovatelná bariéra o rozměrech 1 000 x 540 mm umístěna na konkrétní blok ve výšce 200 ± 5 mm. Specifikace bariéry jsou popsány v následující kapitole.

Bariéra by měla překrývat $40 \% \pm 20$ mm šířky vozidla na straně řidiče. Rychlost zkoušeného vozidla by měla být 64 ± 1 km/h. Ve vozidle jsou použity figuríny řidiče a spolujezdce Hybrid III, dítěte 1,5 roku Q1½ (v autosedačce na zadním sedadle za spolujezdcem nebo uprostřed) a dítěte 3 roky Q3 (v autosedačce na zadním sedadle za řidičem nebo uprostřed). [6]

Charakteristika bariéry

Deformovatelná bariéra se skládá z hlavního voštinového bloku, nárazníkového bloku, zadního plechu, krycího plechu a čelního plechu nárazníku. Bližší specifikace deformovatelné bariéry jsou stejné jako u předpisu EHK OSN č. 94 uvedené v kapitole 2.1.1.2. [6]

3 TEORIE K NEHODOVÝM UDÁLOSTEM

3.1 ZÁKLADY MECHANIKY VOZIDLA

Pro analýzu nehod je důležité znát základní mechanizmy a fyzikální zákony, které jsou podstatou každého děje. Jak je uvedeno v literatuře [7], základem pro klasickou mechaniku jsou Newtonovy zákony dynamiky spolu s Newtonovým gravitačním zákonem. Z pohybových zákonů lze poté určit síly působící na vozidlo a odpory působící na něj v opačném směru.

3.1.1 Pohybové zákony

Ve výše uvedené literatuře [7, str. 34 a 35] jsou pohybové zákony popsány takto:

I. Newtonův pohybový zákon – zákon setrvačnosti

„Těleso setrvává v klidu nebo pohybu rovnoměrném přímočarém, pokud není nuceno působením vnějších sil tento svůj stav změnit.“

Z toho tedy vyplývá, podle vztahu 1, že hybnost tělesa p v klidu bude nulová ($p = 0 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$) a oproti tomu hybnost tělesa, na které působí vnější síla, bude konstantní:

$$p = m \cdot v = \text{konst.} [\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2] \quad (1)$$

II. Newtonův pohybový zákon – zákon síly

„Časová změna hybnosti tělesa je přímo úměrná působící síle a má s ní stejný směr.“

Z tohoto zákona lze odvodit rovnici 2 pro výslednici sil působících na těleso F :

$$F = \frac{dp}{dt} \text{ [N = kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (2)$$

Při neměnění se hmotnosti m v závislosti na čase t tedy platí vztah 3:

$$F = m \cdot \frac{dv}{dt} = m \cdot a \text{ [N]} \quad (3)$$

kdy a je zrychlení $[\text{m/s}^2]$.

Na těleso působí síly reálné, mezi něž patří síla od podložky F_N , síla tření F_T , gravitační síla F_g a elastická síla F_e a síly setrvačné, což je postupná setrvačná síla F_p , odstředivá síla F_o , Eulerova síla F_e , unášivá síla F_u a Coriolisova síla F_c .

III. Newtonův pohybový zákon – zákon vzájemného působení

„Síly, jimiž působí na sebe dvě tělesa, mají vždy stejnou velikost a opačný směr.“

Pro těleso A a těleso B pak platí vztah 4:

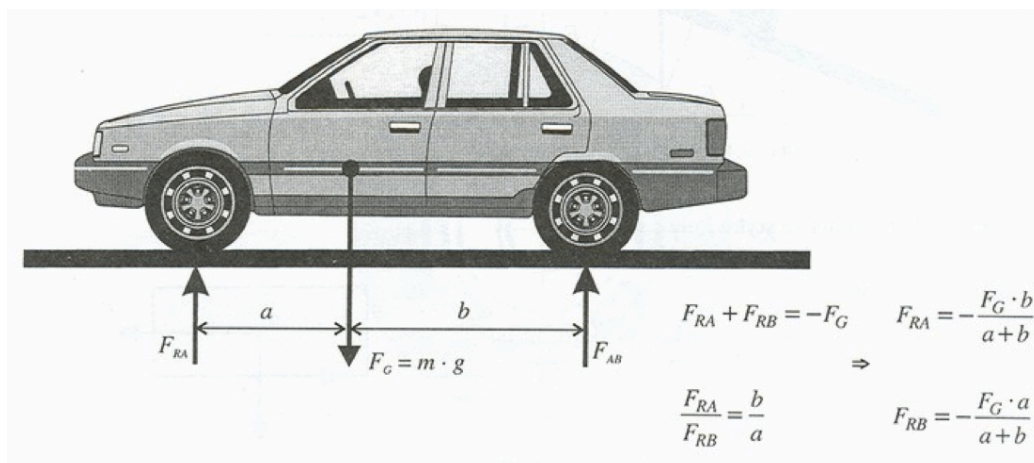
$$F_A = - F_B \text{ [N]} \quad (4)$$

3.1.2 Síly působící na vozidlo

Mezi hlavní síly působící na vozidlo patří gravitační síla (tíhová síla), odstředivá síla, síla tření a adheze. Podle literatury [8] jsou tyto síly definovány následovně:

Tíhová síla F_g

Tíhová síla působí v těžišti vozidla. V důsledku toho dochází ve styku kol s vozovkou k tzv. radiálním reakcím, které jsou ve směru poloměru (rádiusu) kola. Součet radiálních sil na vodorovné rovině je roven síle gravitační, rozdělení je nepřímo úměrné vzdálenosti těžiště od náprav. Vztahy působících sil na vozidlo jsou znázorněny na obrázku 4.



Obrázek 4 Tíhová síla a radiální reakce [8]

Odstředivá síla F_o

Odstředivá síla se projevuje při zatáčení vozidla vyvoláním klopného momentu v příčném směru, odlehčením vnitřních kol a přitížením vnějších, jenž je dán působením síly tření kola ve styku s vozovkou a síly setrvačné v těžišti. K jejímu překonání je třeba síla boční. Vztah 5 pro odstředivou sílu v zatáčce na vodorovné vozovce je:

$$F_o = m \cdot \frac{v^2}{R} \text{ [N]} \quad (5)$$

Při jízdě ve vrcholovém oblouku odstředivá síla způsobuje nižší normálovou sílu a naopak při jízdě v údolnicovém oblouku způsobuje normálovou sílu vyšší.

Síla tření F_T a setrvačná síla F_S

Tření je síla působící ve styku kola s vozovkou vyjádřena vztahem 6:

$$F_T = F_N \cdot f \text{ [N]} \quad (6)$$

kdy kolmá síla k podložce (síla normálová) F_N bude rovna síle tíhové F_g a pro součinitel tření f při styku otáčejícího kola s vozovkou je používán pojem součinitel adheze μ . Součinitel adheze je především závislý na jakosti a stavu povrchu vozovky, jakosti a stavu povrchu pneumatiky, rychlosti jízdy a na velikosti skluzu.

V opačném směru síly tření působí síla setrvačná F_S , která je definována podle druhého pohybového zákona, platí tedy vztah 7:

$$F_T = F_S \text{ [N]} \quad (7)$$

po dosazení vztah 8:

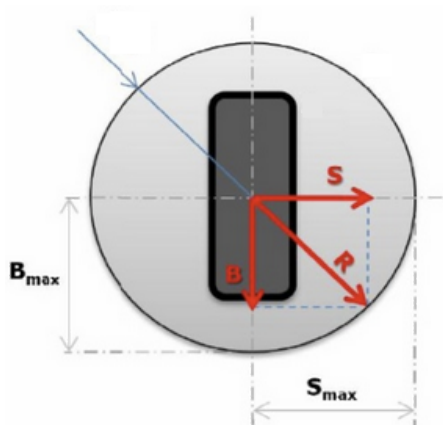
$$m \cdot g \cdot \mu = m \cdot a \text{ [-]} \quad (8)$$

z čehož vyplývá vztah pro maximálně dosažitelné zrychlení resp. zpomalení na vodorovné vozovce 9:

$$a \leq g \cdot \mu \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (9)$$

Kammova třecí kružnice

V podélném směru jízdy působí síla B ve styku s vozovkou využívána na rozjezd a brzdění, v příčném směru síla S na boční vedení. Tato vlastnost lze znázornit Kammovou třecí kružnicí na obrázku 5, která má průměr tím větší, čím lepší je přilnavost pneumatiky k vozovce. Výsledná síla R působící na kolo je součtem síly působící v podélném směru se silou působící v příčném směru a musí být menší než poloměr kružnice, jinak dochází k blokaci nebo protáčení kola a ztrátě říditelnosti. [9]



Obrázek 5 Kammova třecí kružnice [9]

3.1.3 Jízdní odpory vozidla

Jízdními odpory rozumíme síly působící v opačném směru pohybu vozidla, tedy na hnací sílu. Na vozidlo působí valivý odpor, aerodynamický odpor, odpor stoupání, odpor zrychlení a případně odpor přívěsu. Stejně jako síly působící na vozidlo i jízdní odpory jsou definovány podle literatury [8] následovně:

Valivý odpor O_v

Velikost valivého odporu vzniklým deformacemi kola a jízdní dráhou určitého sklonu α je dán vztahem 10:

$$O_v = F_g \cdot f \cdot \cos \alpha \text{ [N]} \quad (10)$$

kde f je součinitel valivého odporu, který závisí na vlastnostech vozovky, deformaci pneumatiky a na rychlosti valení.

Aerodynamický odpor O_{vz}

Aerodynamický odpor vzniká z nutnosti vytlačit vzduch o hustotě ρ z prostoru před vozidlem daným čelní plochou vozidla S a součinitelem odporu vzduchu c_x , závislým na tvaru karoserie, do prostoru za vozidlo pohybující se rychlostí v daný vztahem 11:

$$O_{vz} = \frac{\rho}{2} \cdot c_x \cdot S \cdot v^2 \text{ [N]} \quad (11)$$

Odpor stoupání O_s

Odpor stoupání je závislý na sinové složce tíhové síly podle vztahu 12:

$$O_s = F_g \cdot \sin \alpha \text{ [N]} \quad (12)$$

Odpor zrychlení O_z

Odpor, který musí vozidlo při změně rychlosti překonávat, je dán setrvačnou silou a nutností roztáčet některé části vozidla a vyjádřen vztahem 13:

$$O_z = \vartheta \cdot m \cdot a \text{ [N]} \quad (13)$$

kde ϑ je součinitel vlivu rotačních hmot.

3.2 DATA K NEHODOVÉ UDÁLOSTI

Pro úplnou a správnou rekonstrukci děje dopravní nehody a zjištění příčin je nanejvýš důležité ohledat místo dopravní nehody a zaznamenat všechny skutečnosti měřením, pořízením záznamů, zajištěním a zadokumentováním stop, což se ne vždy děje a analytik je často odkázán na zprostředkované a často rozporuplné nebo technicky nepřijatelné informace.

Při ohledání místa nehody se zjišťované stopy dělí podle literatury [10] na: stopy na vozidle, stopy vzniklé na vozovce, stopy na okolních předmětech a stopy nebo následky na těle oběti silniční dopravní nehody.

3.2.1 Měření

Měření je nutno provést velmi pečlivě s požadovanou přesností a potřebnými detaily a tím umožnit rekonstrukci objektu nebo situace, jaká byla v době měření. Výsledkem měření je nejčastěji grafická dokumentace. Pro minimalizaci chyb je měření prováděno odborníkem seznámeným s technikou měření, kreslení náčrtů a plánek a opakováním měření. Pro měření dokumentující polohu je nutno vycházet z jednoho nebo více pevných bodů, neboli

„výchozích bodů měření“, a pokud je takový bod daleko, zvolit „pomocný bod měření“ v blízkosti a náležitě zdokumentovat jeho polohu. [8]

Poloha bodu je určena zjištěním jeho souřadnic ve vhodném souřadnicovém systému. Pro určení polohy bodu v rovině jsou třeba dva údaje s využitím souřadnic pravoúhlých ($x; y$) nebo souřadnic polárních ($r; \varphi$), pro určení polohy bodu v prostoru se používá soustava pravoúhlá ($x; y; z$, kdy osy jsou na sebe kolmé a osa z je svislá), soustava kulová (poloha bodu je dána jeho skutečnou vzdáleností od pólu, orientovaným vodorovným úhlem φ a svislým úhlem ϑ) a válcová soustava (souřadnice jsou určeny rovinou π , v níž jsou dány polární souřadnice ρ , orientovaný úhel φ a osa z). [8]

Typy měření

Při měření se rozeznávají čtyři základní typy měření a to měření polohová, polohopisná, měření výšková a měření sklonu. Při polohovém měření se dokumentuje poloha bodu v rovině souřadnicemi nebo ve vztahu k jiným bodům (k výchozímu bodu měření nebo pomocnému bodu měření). Metody používané při polohovém měření (zdroj [8]):

- Metoda ortogonální – základem je měřická přímka (osa x), kde se od počátku odměřují souřadnice pat kolmic, spuštěných ze zaměřovaných bodů na měřickou přímku. Vzdálenost bodů od měřické přímky pak udávají souřadnici y . Šipky vyznačují začátek a směr měření, poslední míry se podtrhují.
- Trojúhelníková metoda – stanovení polohy bodu vzhledem ke dvěma dalším bodům pomocí trojúhelníku, daného délkou tří stran.
- Grafická metoda polární – na vhodně umístěném stativu s měřícím stolem jsou pomocí záměrného pravítka, jež je upevněno na bližším konci v pólu, zaměřovány jednotlivé zjišťované body a současně se měří jejich vzdálenost od pólu, což je v příslušném měřítku nanášeno přímo na plánek pomocí záměrného pravítka.
- Metoda grafického protínání vpřed – principem je sestavení trojúhelníků, daných stranou a dvěma přilehlými úhly. Stranu reprezentuje základna známé délky, úhly se zjišťují graficky pomocí měřického stolu a záměrného pravítka z konců základny.

Dále jsou polohová měření prováděna pomocí přístrojů např. teodolitem, pásmem, elektronickým dálkoměrem, autoredukčním tachymetrem atd. Mezi moderní přístroje patří

tzv. totální stanice, které dokáží měřit nejen vodorovné a svislé úhly, ale navíc jsou vybaveny i elektronickým dálkoměrem. [8] Dalším moderním přístrojem je 3D skener, jež generuje rychlé výsledky, jako je vizualizace skenování v reálném čase, či přímý výstup polygonové sítě. Jedná se o rychlé a jednoduché přístroje, jež se vyrábějí i v lehkých přenosných provedení, zajišťující vysoce přesné měření bez ohledu na zkušenosti obsluhy nebo horší pracovní prostředí (nestabilní prostředí, kolísání teplot, atd.). [11]

Pomocí polohopisných měření je někdy třeba ověřit jediná hodnota, nutná pro výpočty pomocí metod (zdroj [8]):

- Poloměr oblouku – poloměr oblouku „ r “ je možno provést zjištěním poloviny délky tětivy „ a “ a výšky „ h “ příslušné kruhové úseče.
- Měření a vytyčování úhlů – pomocí kompasu, buzoly, stativu fotoaparátu, úhloměru na prkénku a záměrného pravítka atd.
- Nouzová měření polohopisu – při neodkladném měření, aniž je možno opatřit potřebné pomůcky, je nutno použít jakýkoliv vhodný předmět a situaci měřit v délkách tohoto předmětu (větev, laťka, provázek s uzly ap.) a předmět uschovat.

Dalším typem měření je měření výšková, kdy se zjišťuje převážně výška relativní (rozdíl výškových horizontů dvou nebo více měřených bodů), s výškou nadmořskou (absolutní) se téměř nepracuje. Provádí se jednoduchá výšková měření, zejména pomocí profilovací soupravy, pentagonálního hranolu a hadicové vodováhy, a výšková měření pomocí přístrojů, kdy dané metody pracují s různou přesností. Jedná se o barometrické měření s přesností ± 1 m, trigonometrické měření s přesností $\pm 0,1$ až $0,01$ m a nivelace podle stupně přesnosti s přesností ± 1 mm až $0,01$ mm. [8]

Měření sklonu se provádí buď nepřímo pomocí profilovací soupravy, lať s libelou a metru, jinak zjištěného rozdílu výšek a známé délky, nebo přímo s využitím sklonoměrů, kdy směr svahu je určen opticky pozorováním přes průhled nebo zavěšením sklonoměru na lanka mezi dva stejně vysoké podstavce. [8]

3.2.2 Pořízené záznamy

Podle literatury [8] je za neobjektivnější podklad považována fotografická dokumentace, jejíž užitná hodnota stoupá, pokud je zhotovena podle určitých zásad, čímž lze získat údaje kvalitativní a i kvantitativní. Pro zpracování údajů z fotografií se využívá

fotogrammetrie. Při dokumentování dopravních nehod se užívá fotogrammetrie pozemní, kdy je fotogrammetrická komora umístěna na pevném geodeticky zaměřeném bodě. Náležitosti fotografie a metody fotogrammetrie jsou popsány dále.

Fotografie

Mezi základní náležitosti fotografie použitelné pro vypracování znaleckého posudku patří (zdroj [8]):

- řádná zaostřenost snímků pro následné získávání dat, kterou určuje hloubka ostroty, tj. vzdálenost od fotografického stanoviště, v níž budou předměty zobrazeny ostře,
- správná expozice, tedy volba správné clony a doby působení světla na citlivou vrstvu,
- typy snímků od celkových po detailní, výhodný je i snímek z nadhledu,
- dále pořízení snímků:
 - zobrazující celkový pohled na dopravní nehodu, pokud nelze takového snímku dosáhnout odstupem od místa nehody, zhotovuje se panoramatická fotografie,
 - z pohledů jednotlivých účastníků dopravní nehody,
 - pravděpodobné výhledové úhly řidičů vozidel,
 - z pohledů ostatních účastníků a svědků,
 - veškerých deformací a stop,
 - poloh ovládacích prvků vozidla (např. pedály, řadicí páka, ovladače, přepínače, ukazatele na palubové desce),
 - nepoškozených částí vozidel,
- při pořizování snímků směřovat rovinu negativu rovnoběžně s dokumentovanou plochou, tedy směřovat osu objektivu kolmo na tuto plochu,
- při pořizování makrosnímků by mělo být vždy v úrovni předmětu přiloženo měřítko,
- u všech snímků pořídít záznam obsahující údaje čeho se dokumentace týká, kdo snímky zhotovil, datum a místo pořízení, použitý přístroj, objektiv, materiál, číslo fotostanoviště nebo přesně popsané místo, číslo snímku, způsob zaostření a obsah snímku s důležitými detaily,

- použití umělého osvětlení v případě snížené viditelnosti a zaznamenání skutečné viditelnosti v konkrétních podmínkách,
- vyvarování se chyb jako je špatné zaostření, nesprávná expozice, snímky proti slunci, neúplnost zachycení dokumentovaného prostoru, neurčitost pozic snímků, nemožnost porovnání velikostí nebo metrického vyhodnocení, zkreslující pohledy a chybějící nebo neúplné záznamy k snímkům.

Fotogrammetrie

Metody ve fotogrammetrii se dělí podle několika kritérií, které publikace [12] popisuje následovně:

1. Podle počtu vyhodnocovaných snímků
 - a. jednosnímková – z této metody se určují rovinné souřadnice předmětu s využitím jednotlivého snímku, znalostí prvků orientace snímku a dokonalého přístrojového vybavení;
 - b. dvousnímková – u této metody se užívá dvou snímků téhož předmětu měření pořízených z různých stanovišť k určení prostorových souřadnic objektu.
2. Podle způsobu zpracování snímků
 - a. analogová – dnes již nevyužívaná metoda za použití opticko-mechanických zařízení a odborného pracovníka, kdy výstupem je vytvořený modelový stav jako při snímkování;
 - b. analytická – metoda převádí snímkové souřadnice do geodetických za využití počítačů pomocí prostorových transformací;
 - c. digitální – při této metodě se využívají digitální snímky a veškeré zpracování probíhá měřením snímkových souřadnic přímo na počítači. Pro vytvoření prostorového obrazu je však třeba speciální hardware i software.
3. Podle druhu záznamu výstupních hodnot
 - a. grafická – k vyhodnocení se využívá kreslicí stůl, který je připojen k vyhodnocovacímu přístroji, a vykresluje vyhodnocená data v reálném čase v podobě obrázků, map či fotoplánu;
 - b. číselná – tento způsob získaná data vyhodnocuje ve formě vektorových nebo bitmapových souborů dále zpracovatelných na počítači.

3.2.3 Stopy vzniklé na vozovce

Je velmi důležité zajistit a zdokumentovat stopy vozidlového kola zanechané při pohybu na vozovce. Jsou to stopy jízdy, brzdné a blokovací, publikace [9] navíc stopy dělí dále na stopy smykové, ryté stopy vyvolané poškozenými částmi vozidla, stopy vyvolané vlečením předmětů a těl, stopy sunutí (odstrčením různých předmětů). Pomocí těchto stop lze zjistit dráhu pohybu a rychlosti vozidla před nehodou. Stopu jízdy podle této publikace zanechává volně se odvalující se kolo, přičemž kvalita závisí na povrchu vozovky, váze vozidla a na pneumatikách. Brzdná stopa je tedy způsobena otěrem otáčejícího se brzděného kola zanechaným na vozovce. Tato stopa je viditelná jako otisk dezénu pláště rozmazaný ve směru jízdy. Zablokované kolo zanechá nejsnáze zjistitelnou stopu bez viditelného dezénu pláště v podobě tmavého pruhu. Pokud je vozidlo vybaveno ABS, zanechává kombinaci stop jízdy a blokovací, přičemž jsou tyto stopy na tvrdém povrchu patrné pod ostrým úhlem, případně pod šikmým osvětlením. [10, 13]

3.2.4 Stopy na vozidlech

Při ohledání vozidel se zjišťují základní údaje o vozidle, stopy na vozidle, stav základních ovládacích prvků ve vozidle, technický stav vozidla a poruchy na vozidle vztahující se k dopravní nehodě. Je nutné posoudit, zda k poruše došlo následkem dopravní nehody nebo jinak. Stopami na vozidlech se rozumí poškození a deformace na těchto vozidlech. Pomocí těchto stop se určí místo střetu, nárazu, najetí, deformace a poškození. Pro potřeby kriminalistů a znalců v oblasti dopravy je vozidlo odtaženo na určené místo, kde je provedeno podrobnější ohledání za účelem zjištění poškození dvou oblastí vozidla, a to vnější části a interiéru. [10, 14]

Poškození vnějších částí vozidla

Kontrolou parametrů uvedených na obrázku 6 se zjistí odchylky (poškození) od původního stavu vozidla.



1. Typ, rozměr, stav, nahuštění a případné poškození pneumatik.
2. Vůle a stav řízení, případně zamezení volného otáčení kol na řídicí nápravě vlivem poškození při dopravní nehodě.
3. Stav přední masky, kapoty a čelního skla, na kterém je kontrolováno znečištění, rozsah a lokalizace poškození. Dále stav a funkčnost stěračů a ostřikovačů.
4. Stav obou boků vozidla, rozsah případného poškození včetně stavu zpětných zrcátek.
5. Stav zadní části vozidla, rozsah poškození, funkčnost zadní nápravy a volnost otáčení kol.
6. Stav a funkčnost předních světlometů, směrových světel a zadních skupinových svítidel.

Obrázek 6 Parametry poškození vnějších částí vozidla [15, 16]

Poškození interiéru vozidla

Stejně jako u poškození vnějších částí vozidla, i u poškození interiéru se zjišťují odchylky od původního stavu vozidla kontrolou parametrů uvedených na obrázku 7 a dále stopy střepů a biologické stopy jako jsou krev, vlasy atd.



1. Stav bezpečnostních pásů.
2. Stav airbagů.
3. Natočení a případné poškození volantu.
4. Poloha řadicí páky.
5. Stav, poloha a funkčnost sedadel včetně jejich hlavových opěradel.
6. Stav ukazatelů paliva a teploty chladicí kapaliny, počítadla ujeté vzdálenosti a případné zaseknutí rychloměru a otáčkoměru v době nárazu.
7. Poloha ovladačů a přepínačů včetně ověření jejich funkčnosti.
8. Poloha klíčku v zapalování.
9. Stav a funkčnost nožních ovládacích pedálů.

Obrázek 7 Parametry poškození interiéru vozidla [15, 16]

3.2.5 Stopy na okolních předmětech

V tomto případě se okolními předměty rozumí překážka vyskytující se mimo jízdní pruh, jako je např. strom, sloup, svodidla, domy a jiné pevné či deformovatelné překážky. Na těchto překážkách se zaznamenávají stopy pevných látek způsobené zúčastněnými vozidly v podobě otěru laku, nečistot, skla, oddělených částí vozidla a stopy látek kapalných jako je olej, palivo atd. Je třeba dbát zvláštní pozornosti při zajišťování případných biologických stop

(krev, tělní tekutiny, různé části těla) a stop oděvu oběti a jejich místu ve vztahu k vozidlu. [10, 14]

3.2.6 Stopy nebo následky na těle oběti silniční dopravní nehody

Stopy nebo následky na těle oběti ve vztahu k mechanismu nehodové události se podle potřeby mohou zjišťovat přímo na místě nehody nebo následnou lékařskou prohlídkou. Při tomto ohledání se zkoumají poškozené části těla a části oděvu, přičemž je důležitý následný popis místa, rozsahu a charakteru zranění. Při dopravní nehodě, kdy dojde k úmrtí účastníka nehody, je policejními orgány zaznamenáno místo a poloha těla a následné ohledání. Veškeré nalezené stopy na těle oběti silniční dopravní nehody je nutno porovnat se stopami ve vozidle nebo na něm. [10, 14]

Pro hodnocení míry závažnosti zranění se podle rozhodnutí Evropské komise používá stupnice Maximum Abbreviated Injury Scale (MAIS) založená na základě traumatologického hodnocení všech jednotlivých zranění z údajů z nemocnic. V nemocnici je závažnost zranění podle podrobného klasifikačního klíče systému MAIS ohodnoceno. Stupnice má 1 – 6 stupňů, přičemž 1 je drobné, 2 střední, 3 vážné, 4 těžké, 5 kritické zranění a 6 je smrtelné zranění. [17]

Z informací získaných z analýzy dopravních nehod se vyhodnocuje četnost různých druhů nárazů, k jakým zraněním a při jakých rychlostech k nim dochází. Z těchto vyhodnocení se určuje únosnost a zatížitelnost ve formě mezních hodnot pro dané části lidského těla – biomechanická kritéria. [18]

Biomechanická kritéria a limity

„Biomechanika je transdisciplinární obor, který se zabývá mechanickou strukturou, mechanickým chováním a mechanickými vlastnostmi živých organismů a jeho částí, a mechanickými interakcemi mezi nimi a vnějším okolím. Její transdisciplinárnost spočívá jak v integraci metodických a poznatkových prostředků z klasických oborů (morfologie, fyziologie, matematiky, fyzika a biofyzika, kybernetika, technická mechanika, nauka o materiálech, atd.), tak v šíři aplikačních směrů (klinické lékařské obory, technické obory, společenské obory, přírodní vědy, zemědělské obory, ekologie, atd.).“ [19]

Limity pro použitá kritéria v této práci jsou dány předpisem EHK OSN č. 94 – Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska ochrany cestujících při čelním nárazu. Dané limity jsou použity i pro testy Euro NCAP - čelní náraz do deformovatelné bariéry.

Biomechanické kritérium hlavy (HIC, Head Injury Criterion) a zrychlení hlavy
(zdroj [3]):

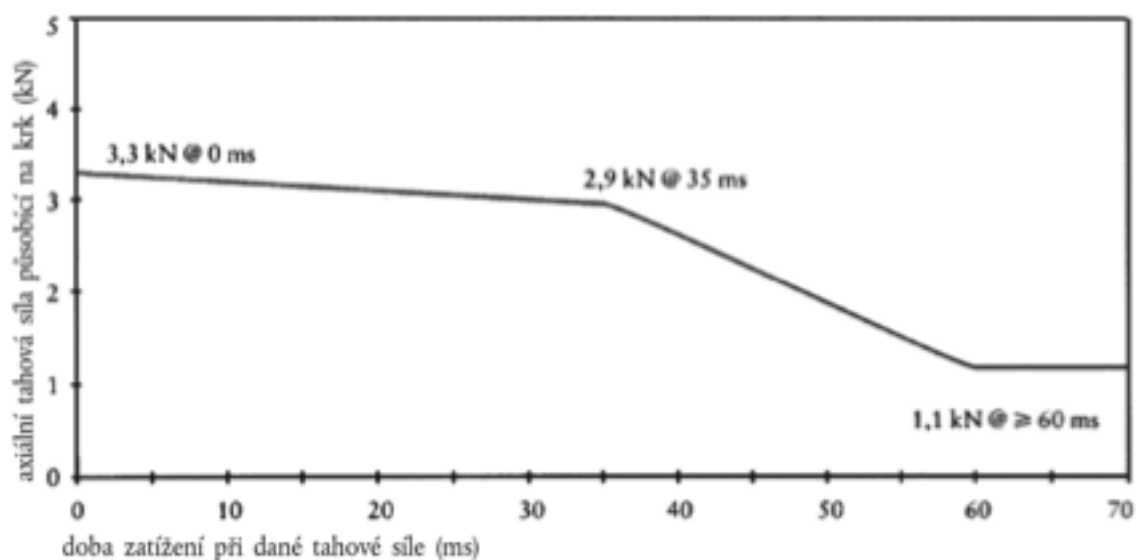
- HIC se považuje za splněné, pokud nedojde v průběhu zkoušky ke kontaktu hlavy s žádnou částí vozidla.
- Pokud dojde k nárazu, tak se HIC vypočte podle vztahu 14:

$$\text{HIC} = (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right]^{2,5} [-] \quad (14)$$

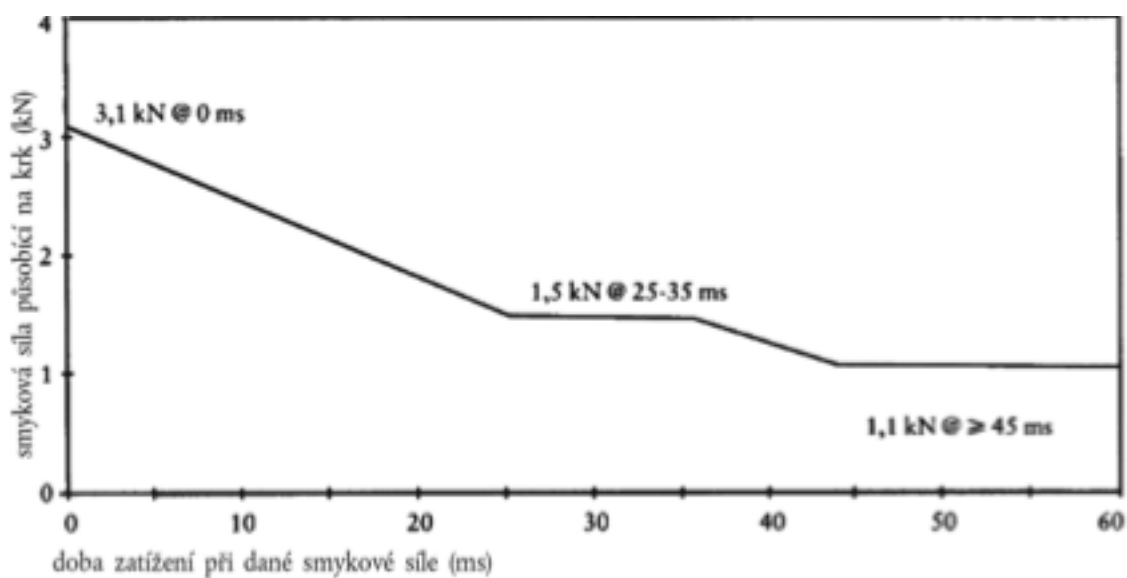
- kde a je zrychlení v jednotkách tíhy g ($1 g = 9,81 \text{ m/s}^2$) v těžišti hlavy a t_1 a t_2 jsou časové okamžiky od počátku kontaktu hlavy do konce záznamu pro maximální HIC v sekundách.
- HIC nesmí přesáhnout hodnotu 1 000 a zrychlení hlavy po dobu 3 ms nepřesáhne hodnotu 80 g.

Kritéria poranění krku (NIC, Neck Injury Criteria) (zdroj [3]):

- NIC je určeno axiální tlakovou silou, axiální tahovou silou a smykovými silami zepředu dozadu na rozhraní mezi hlavou a krkem v kN a dobou trvání těchto sil v ms.
- NIC nesmí přesáhnout hodnotu znázorněné na obrázku 8 a 9
- Ohybový moment krku je určen ohybovým momentem v Nm kolem příčné osy y na rozhraní mezi hlavou a krkem.
- Ohybový moment krku kolem osy y nesmí přesáhnout hodnotu 57 Nm ve vytažení.



Obrázek 8 Kritérium namáhání krku v tahu [3]



Obrázek 9 Kritérium namáhání krku ve smyku [3]

Kritérium stlačení hrudníku (ThCC, Thorax Compression Criterion) a kritérium měkkých tkání (V*C, Viscous Criterion) (zdroj [3]):

- ThCC je určeno maximální hodnota promáčknutí hrudníku v mm měřená snímači deformace hrudníku.
- ThCC nesmí přesáhnout hodnotu 50 mm.

- V^*C je nevyšší hodnota maximální rychlosti promáčknutí na kterémkoliv žebře vypočtené jako okamžitý součin poměrného promáčknutí hrudníku vztaženého na polovinu hrudníku a rychlosti promáčknutí získané derivací promáčknutí podle vztahu 15:

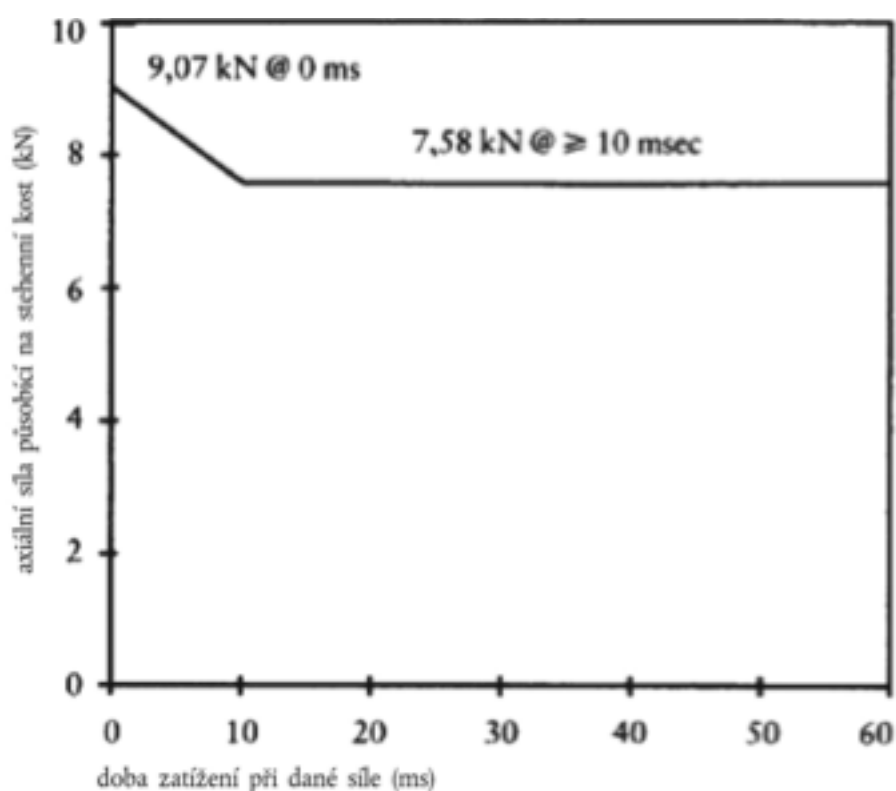
$$V^*C = \text{MAX} \left[\left(\frac{D}{0,140} \right) \cdot \left(\frac{dD}{dt} \right) \right] [\text{m/s}] \quad (15)$$

○ kde D je průhyb žeber [m].

- V^*C nesmí přesáhnout hodnotu 1,0 m/s.

Kritérium síly působící na stehenní kost (FFC, Femur Force Criterion) (zdroj [3]):

- FFC je dáno tlakovým zatížením každé stehenní kosti figuríny v kN a dobou trvání tohoto zatížení v ms.
- FFC nesmí přesáhnout hodnoty znázorněné na obrázku 10.



Obrázek 10 Kritérium síly působící na stehenní kost [3]

Pohyb klouzajících kolenních kloubů (zdroj [3]):

- Tento pohyb nesmí přesáhnout hodnotu 15 mm.

Kritéria tlakové síly působící na holenní kost (TCFC, Tibia Compressive Force Criterion) a index holenní kosti (TI, Tibia Index) (zdroj [3]):

- TCFC je určeno tlakovým zatížením každé holenní kosti figuríny v kN.
- TCFC nesmí přesáhnout hodnoty 8 kN.
- TI se vypočítává pro horní a dolní konec každé holenní kosti, z čehož se získá horní a dolní index TI a vypočte se podle vztahu 16:

$$TI = |M_R/(M_C)_R| + |F_Z/(F_C)_Z| [-] \quad (16)$$

- kde M_R se vypočte podle vztahu 17, M_x a M_y jsou ohybové momenty kolem osy x a y , $(M_C)_R$ je kritický ohybový moment v hodnotě 225 Nm, F_Z je axiální tlaková síla ve směru osy z a $(F_C)_Z$ je kritická tlaková síla ve směru osy z v hodnotě 35,9 kN.

$$M_R = \sqrt{(M_x)^2 + (M_y)^2} \text{ [Nm]} \quad (17)$$

- TI měřený na horním a dolním konci holenních kostí nesmí přesáhnout hodnotu 1,3.

3.3 PASIVNÍ BEZPEČNOST

Provozní bezpečnost vozidel se dělí na aktivní a pasivní, kdy aktivní bezpečnost zahrnuje prvky a systémy předcházející nebo zabraňující dopravní nehodě. Jsou to zejména prvky patřící do skupin brzdných vlastností a směrové stability vozidla. Naproti tomu úkolem prvků pasivní bezpečnosti je zmírnit následky dopravní nehody, jež jsou řešeny konstrukčně (deformačními zónami, zachováním prostoru pro přežití atd.) a zádržnými systémy. Zádržné systémy napomáhají cestujícím bezprostředně po nárazu zabránit kontaktu s tvrdými prvky interiéru a omezovat setrvačnou rychlost těla vlivem prudkého zpomalení při nárazu v mezích, které jsou stanovené biomechanickými limity uvedenými v kapitole 3.2.6.1. Do těchto systémů patří bezpečnostní pásy, omezovače síly, přitahovače síly, airbagy a dětské autosedačky. [20] Pro potřeby této práce bude dále rozebráno pouze konstrukční řešení pasivní bezpečnosti, konkrétně pak deformační zóny.

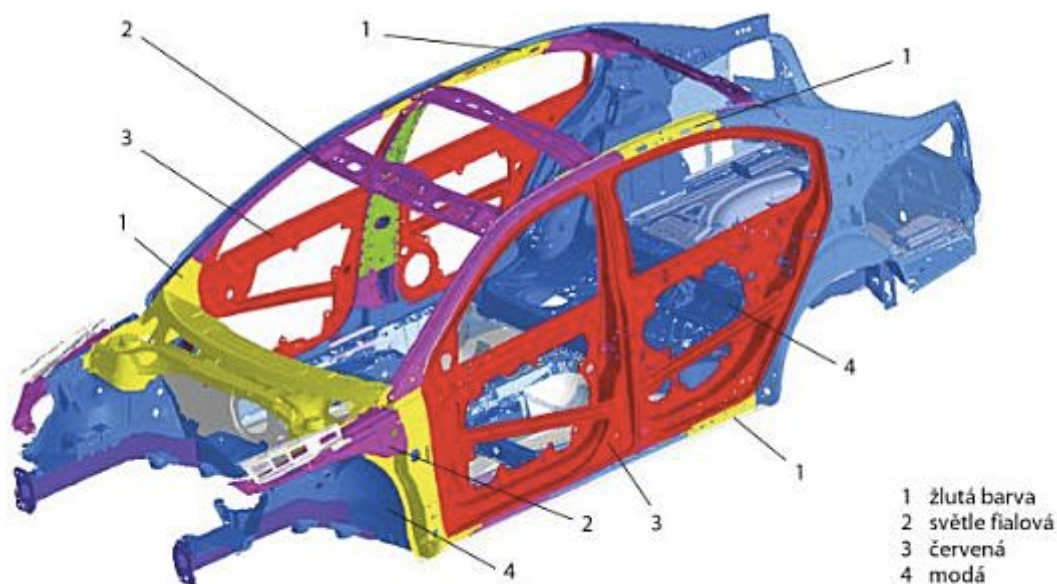
3.3.1 Deformační zóny

Základem deformační zóny jako prvku pasivní bezpečnosti je konstrukce karoserie vozidla schopná pohltit co největší deformační energii při nárazu s cílem zachovat vnitřní

prostor bez výrazných změn za použití tzv. programovatelné struktury karoserie, což znamená použití plechů různé tloušťky, v kritických místech pak použití pevných tuhých příčných i podélných nosníků. [21]

U vozidla Škoda Octavia II je prostor pro posádku řešen jako pevná kostra, kterou tvoří deformovatelné zóny předě i zádě. Tato kostra je ze svařených dutých profilů zdvojených ve stěžejních pevnostních částech. Při konstrukci byly použity tepelně zušlechtěné pevnostní plechy, čímž bylo dosaženo vyšší pevnosti částí karoserie se zachováním nízké hmotnosti vozidla. Rozdělení druhů pevnostních plechů je znázorněno na obrázku 11, kdy žlutou barvou jsou vyznačeny standardní pevnostní plechy na 36 % karoserie s pevností v tlaku 220 – 300 MPa, světle fialovou barvou vysokopevnostní plechy na 16 % s pevností 300 – 550 MPa, červenou barvou ultrapevnostní plechy na 14 % s pevností 550 – 1400 MPa, modrou barvou běžné hlubokotažné plechy na 30 % s pevností tlaku do 220 MPa a zelenou barvou desky Tailored-Blanks na 4 %, což jsou nástřihy plechů s různou tloušťkou laserově svářeny. [22] Ostatní konstrukce karoserií typů vozidel Škoda zkoumaných při nehodách jsou uvedeny v příloze č. 1.

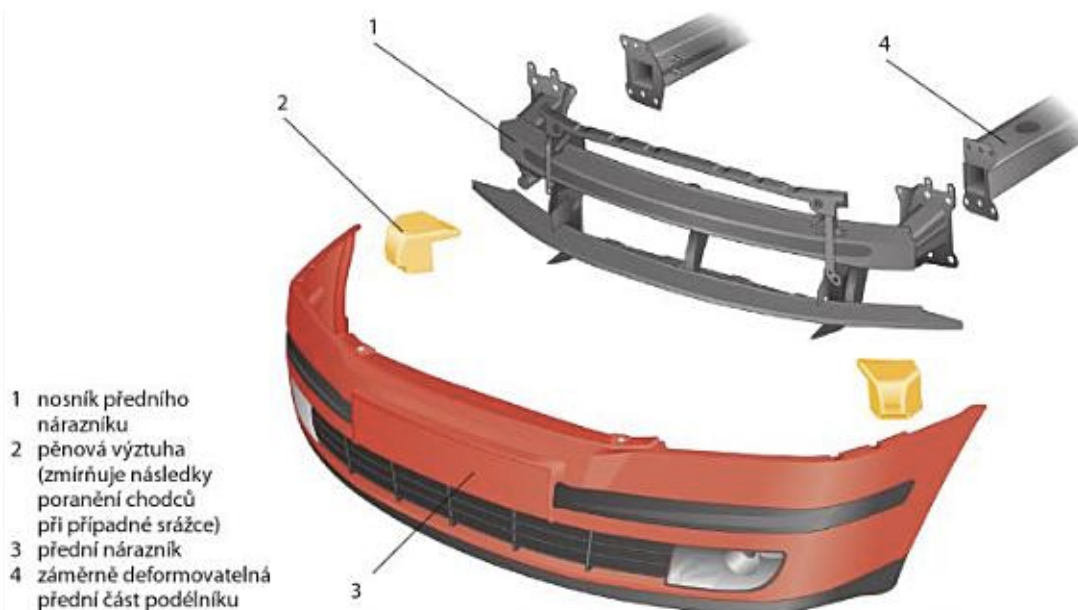
Na boční části vozidla jsou cíleně používány ultrapevnostní plechy, neboť zde není dostatečná prostor pro absorpci deformační energie při nárazu. [21]



Obrázek 11 Struktura plechů [22]

Součásti skeletu jsou řešeny tak, aby při nárazu docházelo k jejich borcení postupně a tím k postupnému předávání kinetické energie nárazu tuhému skeletu. Na obrázku 12 je znázorněn záměrně deformovatelný podélník, jehož účelem je pohlcení největšího množství

kinetické energie vzniklé při čelním nárazu a zmírnění nebo zabránění deformačních účinků na ostatní díly vozidla. [22]



Obrázek 12 Deformovatelný nárazník [22]

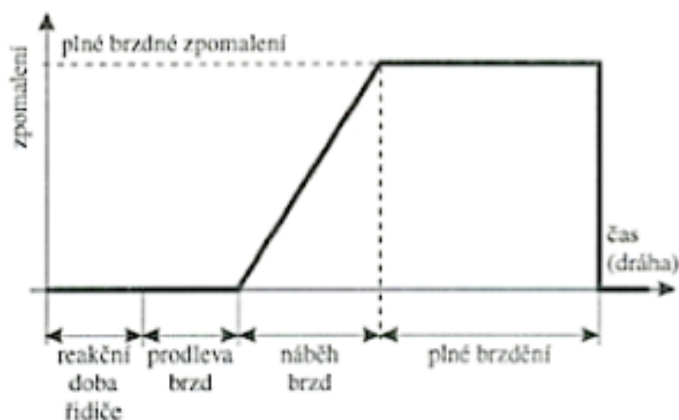
3.4 ANALÝZA NEHOD

Při analýze se musí respektovat skutečnosti dané nehody, tedy vycházet ze zanechaných brzdných stop a k nim odpovídajících zpomalení. U osobních automobilů jsou to hodnoty $6,9 - 9,9 \text{ m/s}^2$ na suché vozovce, za ideálních podmínek kombinace povrchu, brzdového systému a pneumatik mohou sériově vyráběná vozidla dosahovat zpomalování až $11,5 \text{ m/s}^2$. Nejvhodnější metodou zjištění zpomalení je pokusné ověření co nejdříve po nehodě za stejných podmínek. Postup je popsán ve Znaleckém standardu č. II. Pro potřeby této práce bude rozebírán pohyb vozidel v přímé jízdě na rovině. Při pohybu v přímé jízdě může být zpomalení nejvýše rovno maximálnímu dosažitelnému zpomalení podle vztahu 18 [8, 23]:

$$a \leq g \cdot \mu \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (18)$$

Pro důslednou analýzu brzdění je důležité pečlivě shromáždit podklady, vybrat správné vzorce pro výpočet a dosadit do nich reálné hodnoty. Průběh brzdění je znázorněn na obrázku 13. Brzdná dráha je jednou ze základních veličin a je zjišťována z délky brzdných stop na vozovce, které mohou být často dosti nezřetelné a je tedy třeba je pečlivě určit. Je také potřeba určit, které kolo zanechalo konkrétní stopu. U zakřivených stop je nutné je detailně zdokumentovat a určit případnou rotaci vozidla, na kterou stranu se vozidlo stáčelo. Pokud vozidlo zanechá stopy nestejně délky, je třeba zohlednit, zda došlo k nesymetrickému brzdění

a tedy za určitých podmínek ke stáčení vozidla (vliv stupně nesymetrie, kvalita pneumatik, rychlost ap.), nebo došlo k nezanechání stop kola vlivem konkrétního povrchu vozovky, případně stavu, druhu, tvaru či zatížení konkrétní pneumatiky. [8]



Obrázek 13 Průběh brzdění vozidla na rovině v přímé jízdě [8]

3.4.1 Výpočty pohybu vozidla během nehodového děje při přímé jízdě na rovině

Při přímé jízdě na rovině se předpokládá konstantní zpomalení rovné maximálnímu podélnému zpomalení. Další výpočty pro přímou jízdu na rovině jsou podle literatury [8] uvedeny následovně:

- Brzdná dráha s_b do zastavení se vypočte podle vztahu 19

$$\circ s_b = \frac{v^2}{2a} = \frac{at^2}{2} = \frac{vt}{2} \text{ [m]} \quad (19)$$

- Brzdná dráha z rychlosti v_0 do v_x se vypočte podle vztahu 20

$$\circ s_b = \frac{v_0^2 - v_x^2}{2a} = v_0 t - \frac{at^2}{2} = v_x t + \frac{at^2}{2} = \frac{v_0 + v_x}{2} t \text{ [m]} \quad (20)$$

- Doba brzdění do zastavení se vypočte podle vztahu 21

$$\circ t_b = \frac{v}{a} = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \frac{2s}{v} \text{ [s]} \quad (21)$$

- Doba brzdění z rychlosti v_0 do v_x se vypočte podle vztahu 22

$$\circ t_b = \frac{v_0 - v_x}{a} = \frac{2s}{v_0 + v_x} \text{ [s]} \quad (22)$$

- Rychlost v_0 na začátku úseku délky s při brzdění do zastavení se vypočte podle vztahu 23

$$\circ v_0 = \sqrt{2as} = at = \frac{2s}{t} \text{ [m/s]} \quad (23)$$

- Rychlost v_0 na začátku úseku délky s při brzdění do rychlosti v_x se vypočte podle vztahu 24

$$\circ \quad v_0 = \sqrt{2as + v_x^2} = v_x + at = \frac{2s}{t} - v_x \text{ [m/s]} \quad (24)$$

- Rychlost v_l na konci úseku se vypočte podle vztahu 25

$$\circ \quad v_1 = \sqrt{v_0^2 - 2as} = v_0 - at = \frac{2s}{t} - v_0 \text{ [m/s]} \quad (25)$$

- Zpomalování do zastavení se vypočte podle vztahu 26

$$\circ \quad a = \frac{v^2}{2s} = \frac{v}{t} = \frac{2s}{t^2} \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (26)$$

- Zpomalování z rychlosti v_0 do v_x se vypočte podle vztahu 27

$$\circ \quad a = \frac{v_0 - v_x}{t} = \frac{v_0^2 - v_x^2}{2s} = \frac{2s}{t^2} - \frac{2v_x}{t} = \frac{2v_0}{t} - \frac{2s}{t^2} \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (27)$$

3.4.2 Analýza střetu

Časový průběh střetu se rozděluje na dvě fáze, kdy první fáze neboli fáze komprese začíná dotykem těles a končí okamžikem jejich maximální deformace, přičemž se tělesa pohybují společnou rychlostí a druhá fáze – fáze restituace původního tvaru tělesa začíná okamžikem maximální deformace a končí oddělením těchto těles. [24]

V dotykové ploše mezi dvěma tělesy při střetu dochází k plošnému zatížení, jehož výslednice je střetová síla působící ve směru střetové normály, jež je kolmá na dotykovou plochu a prochází jejím těžištěm. Velikost střetové síly se mění v průběhu fází tak, že na začátku první fáze je síla nulová, na konci první a začátku druhé fáze je síla maximální a opět s koncem druhé fáze klesá síla do nulových hodnot. [24]

Pokud střetová normála prochází těžišky obou těles střetu, jedná se o centrický střet, v opačném případě jde o střet excentrický. Přímý centrický ráz vzniká v případě, že nositelka rychlosti těles na začátku střetu je shodná se střetovou normálou, pokud ne, jde o šikmý střet. [24]

Důležité je vzít v potaz pružné vlastnosti těles, které ovlivňují dynamiku střetu, tento vliv je vyjádřen součinitelem restituace k . Jde o poměr změn hybností tělesa v druhé a první fázi střetu. V analýze střetu se uvažují tři případy, a to dokonale pružná tělesa, kdy k je -1 a jde o dokonale pružný střet, pak tělesa z dokonale plastického materiálu, kdy k je 0 a jde o dokonale plastický ráz a v třetím případě střet reálných těles, kdy k je 0 až 1 (nejčastěji v rozmezí $0,05$ až $0,25$) a jde o nedokonale pružný střet vypočtený podle vztahu 28 při neměnné hmotnosti během střetu. [8, 24]

$$k = \frac{v_{A2} - v}{v - v_{A1}} [-] \quad (28)$$

kde v_{A1} je rychlost tělesa A na začátku střetu [m/s], v je rychlost tělesa A v okamžiku ukončení první fáze [m/s] a v_{A2} je rychlost tělesa A v okamžiku ukončení druhé fáze [m/s]. [8]

Praktickými zkouškami publikovaných na výroční konferenci EVU v listopadu 2008 byly zjištěny konkrétní hodnoty pro koeficient restituce přední části vozidla. Příklady jsou uvedené v tabulce 2. [25]

Tabulka 2 Hodnoty koeficientu restituce zjištěné při praktických zkouškách [25]

Rozdíl rychlostí (relativní rychlost)	Míra výskytu	Koeficient restituce
5 až 10 km/h		0,15 – 0,55
10 až 20 km/h	< 60 %	0,10 – 0,35
	> 60 %	0,10 – 0,45
20 až 30 km/h	0 – 30 %	0,00 – 0,15
	30 – 60 %	0,10 – 0,20
	60 – 100 %	0,15 – 0,30

Při analýze střetu je třeba vycházet ze zákona zachování energie, tedy že součet energie kinetické E_k a rotační E_R tělesa před střetem je roven součtu energie kinetické a rotační po střetu a energii deformační E_D . Energie kinetická se vypočte podle vztahu 29, energie rotační podle vztahu 30 a energie deformační se s využitím ekvivalentní energetické rychlosti (EES) vypočte podle vztahu 31. [8]

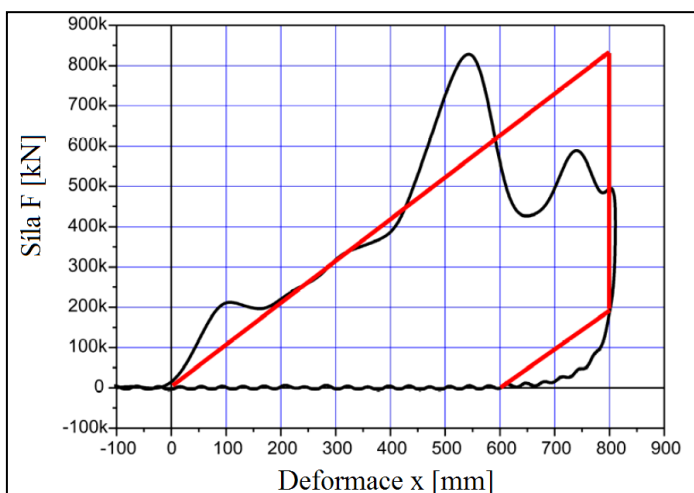
$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \text{ [J]} \quad (29)$$

$$E_R = \frac{1}{2}J\omega^2 \text{ [J]} \quad (30)$$

$$E_D = \frac{1}{2}mEES^2 \text{ [J]} \quad (31)$$

kde m je hmotnost vozidla [kg], v je rychlost vozidla [m/s], J je moment setrvačnosti [kg.m²], ω je úhlová rychlost [rad/s] a EES je ekvivalentní energetická rychlost [m/s].

Z pokusů byla stanovena pro deformační energii lineární závislost střetové síly na deformační charakteristice přední části vozidla znázorněné na obrázku 14 a dána vztahem 32. [24, 26]



Obrázek 14 Závislost deformační síly na deformaci – černá skutečná a červená idealizovaná [27]

$$E_D = W_D = \int F dx = \frac{1}{2} K x^2 [J] \quad (32)$$

kde F je střetová síla [N], K je tuhost přední části vozidla v podélném směru [N/m] a x hloubka deformace [m].

Ke zjištění hloubky deformace se přední část vozidla rozdělí příčně na např. šest částí a z toho se vypočte průměrná hloubka deformace. [26]

Pro určení tuhosti přední části vozidla se může použít podle literatury [26] např. následující postup:

- Vypočte se konstanta tuhosti c podle vztahu 33

$$c = \frac{v_{střet.} - v_o}{x} [1/s] \quad (33)$$

- kde $v_{střet.}$ je rychlost vozidla při nárazu [m/s] a v_o je rychlost, při které ještě nevznikají deformace [m/s].

- Tuhost na počátku plastické deformace podle vztahu 34

$$K_P = \frac{m \cdot v_o \cdot c}{\check{s}_D} [kN/m] \quad (34)$$

- kde $\check{s}_D$ je šířka deformace [m].

- Změna tuhosti vozidla podle vztahu 35

$$\Delta K = \frac{m \cdot c^2}{\check{s}_D} [kN/m/m] \quad (35)$$

- A nakonec výpočet tuhosti přední části podle vztahu 36

$$K = \Delta K \cdot \check{s}_v [kN/m] \quad (36)$$

- kde $\check{s}_v$ je šířka vozidla [m].

Dále se vychází ze zákona zachování hybností, kdy součet hybností soustavy těles před střetem je roven součtu hybností soustavy těles po střetu při nepůsobení žádné vnější síly, a obdobně vycházet ze zákona zachování točivosti, kdy točivost tělesa před střetem je rovna točivosti tělesa po střetu. [8]

Na základě zákona zachování hybností ze vztahu 37 lze odvodit vztah 38 pro rychlost na konci kompresní fáze v_c , která se poté použije ve vztahu 39 pro postřetovou rychlost na konci restituční fáze v' . [25]

$$m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B = (m_A + m_B) \cdot v_c \quad (37)$$

$$v_c = \frac{m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B}{m_A + m_B} \text{ [m/s]} \quad (38)$$

$$v'_A = k \cdot (v_c - v_A) + v_c \text{ [m/s]} \quad (39)$$

kde index $_A$ označuje vozidlo A a dolní index $_B$ vozidlo B, k je koeficient restituce.

Stanovení ekvivalentní energetické rychlosti

K odhadu množství spotřebované kinetické energie vozidla na jeho deformaci slouží EES, které je rovno deformační práci spotřebované k dosáhnutí příslušného stupně deformace vozidla. [24]

Podle literatury [24] jsou metody stanovení hodnoty EES následující:

1. Komparační metoda, která spočívá v porovnání poškození vozidla A s neznámou hodnotou EES s poškozením vozidla B se známou hodnotou EES, přičemž vozidlo A je stejné nebo má srovnatelnou konstrukci jako vozidlo B. Po nalezení vozidla B se stejným charakterem a intenzitou poškození se jeho EES přiřadí vozidlu A.
2. Metoda energetického rastru, která spočívá v rastrovém rozdělení vozidla, kdy ke každému poli rastru je přiřazena hodnota práce potřebná k trvalé deformaci tohoto pole. Do rastrových políček se zakreslí skutečná deformace a spočítají se jejich hodnoty, tím se získá spotřebovaná práce W_D nutná k příslušné deformaci vozidla o hmotnosti m . EES se potom vypočte podle vzorce 40:

$$EES = \sqrt{\frac{2W_D}{m}} \text{ [m/s]} \quad (40)$$

3. Výpočet EES z nárazových zkoušek spočívá ze sestavení závislostí s využitím naměřených hodnot, jako je například průběh sil pro dané vozidlo. EES se tedy

vypočte podle vzorce 41 s využitím hodnot trvalé deformace l , elastické deformace s , hmotnost vozidla m , střetová rychlost, při které nevznikají trvalé deformace - v_0 , střetové rychlosti v , kdy dolní index $_{test}$ je použit pro hodnoty vozidla použitého při nárazové zkoušce.

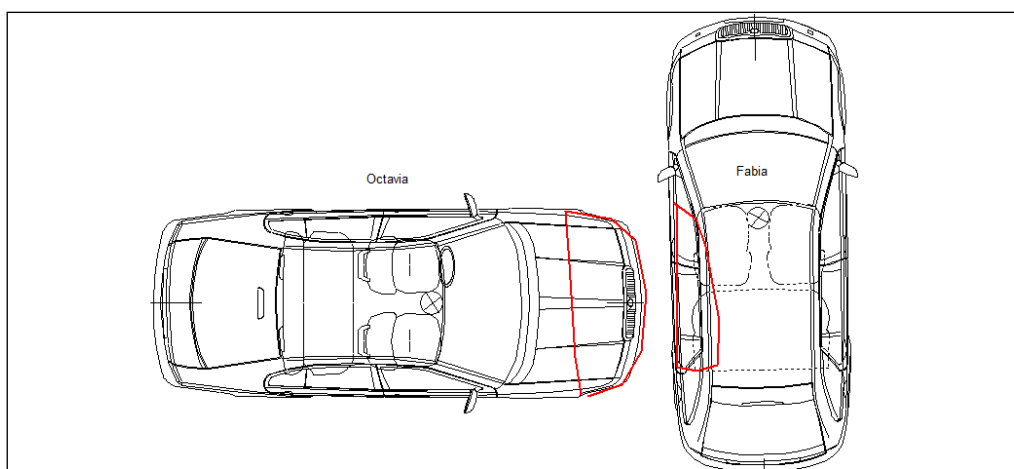
$$EES = \sqrt{\frac{l}{m} \left(\frac{m_{test} v_{test}}{s_{test}} \left[v_0 + (v_{test} - v_0) \frac{l}{l_{test}} \right] \right)} \quad [\text{m/s}] \quad (41)$$

Při střetu dvou vozidel dochází vlivem jejich různé tuhosti k různé deformaci. Za předpokladu lineární závislosti síla – hloubka deformace u obou vozidel platí závislost mezi jejich EES podle vztahu 42, kdy c je konstanta tuhosti představující potřebnou sílu v Newtonech k vytvoření deformace 1 m. [24]

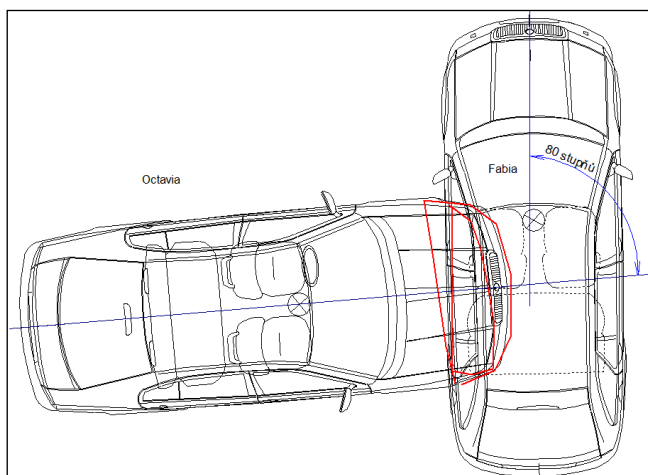
$$\frac{EES_A}{EES_B} = \sqrt{\frac{c_B m_B}{c_A m_A}} \quad (42)$$

Korespondence poškození

Pro správné odvození průběhu nehody slouží korespondence poškození. Tato analýza se provádí, je-li to možné, při ohledání poškozených vozidel nebo častěji z fotodokumentace, protokolů či slovních popisů. Vozidla se rozkreslí podle potřeby z různých pohledů tenkými čarami před poškozením a tlustými čarami deformace viz obrázky 15. Po analýze poškození se nalezne deformace vozidla A způsobená konkrétní částí vozidla B přiřazená k určité etapě pohybu viz obrázky 16. Pro správné vyhodnocení je vhodné užívat měřítko 1:25, nejméně však 1:50. [8] Z korespondence poškození a porovnání stop na vozovce s fotodokumentací se zjistí vzájemná střetová poloha vozidel a následující údaje: bod rázu (střetu) BR, předstřetové směry φ_A a φ_B , postřetové směry φ'_A a φ'_B a hloubka deformace x .



Obrázek 15 Korespondence poškození [23]



Obrázek 16 Střetová poloha vozidel [23]

Stanovení postřetové úhlové rychlosti a postřetové rychlosti

Podle literatury [28] jedním ze způsobů stanovení postřetové úhlové rychlosti ω' a postřetové rychlosti v' je aritmetický průměr nebo rozmezím z následujících metod, kdy jsou známy hodnoty hmotnosti vozidla m [kg], postřetová dráha vozidla s' [m], předstřetový směr φ [rad], postřetový směr φ' [rad], úhel natočení $\Delta\varphi$ [rad], koncová rychlost v_k pokud není nulová [m/s], koncová úhlová rychlost ω_k pokud není nulová [rad/s], rozvor vozidla R_V [m], součinitel adheze μ a gravitační zrychlení g [m/s²]:

MARQUARD

$$\bullet \quad v' = \sqrt{2 \cdot k_S \cdot \mu \cdot g \cdot s' + v_k^2} \text{ [m/s]} \quad (43)$$

$$\circ \quad \text{koeficient } k_S = 0,17w^3 - 0,448w^2 - 0,034 \cdot w + 1 \quad (44)$$

$$\circ \quad \text{koeficient } w = \frac{\psi \cdot R_V}{2 \cdot s'} \quad (45)$$

$$\bullet \quad \omega' = \sqrt{k_\psi \cdot \mu \cdot g \cdot R_V \cdot \frac{m}{J} + \omega_k^2} \text{ [rad/s]} \quad (46)$$

$$\circ \quad J = 0,1269 \cdot m \cdot L \cdot R_V \text{ [kg.m}^2\text{]} \quad (47)$$

$$\circ \quad \text{koeficient } k_\psi = 0,328w^3 - 0,772w^2 + 1,072 \cdot w \quad (48)$$

BURG

$$\bullet \quad v' = \sqrt{2 \cdot a \cdot s' + v_k^2} \text{ [m/s]} \quad (49)$$

$$\circ \quad a = \mu \cdot g \cdot [f_H + (1 - f_H) \cdot \sin \psi_m] \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (50)$$

$\circ$ kde f_H součinitel odporu kol: 0,1 pro volně se otáčející se všechny kola; 0,25 pro zablokované jedno kolo; 0,5 pro zablokovaná dvě kola

jedné nápravy; 0,7 pro zablokováná zadní kola; 1 pro zablokováná všechna kola

$$\circ \sin\psi_m = \sin\left(\frac{\psi}{2}\right) \text{ pro rotaci do } 60^\circ \quad (51)$$

$$\circ \sin\psi_m = 0,5 \text{ pro rotaci nad } 60^\circ$$

$$\bullet \omega' = \sqrt{\frac{m \cdot w_R \cdot g \cdot R_V}{J}} \cdot \psi \text{ [rad/s]} \quad (52)$$

◦ kde w_R je hodnota 0,15 při konečné poloze vozidla $\pm 20^\circ$ od osy původního směru, v ostatních případech hodnota 0,35

McHENRY

$$\bullet v' = 1,7 \cdot \left[\frac{\mu \cdot g \cdot \psi}{\omega'} - \frac{J \cdot \omega' \cdot (1 - f_H)}{m \cdot R_V} \right] \text{ [m/s]} \quad (53)$$

$$\circ f_H = \frac{f_{H1} + f_{H2} + f_{H3} + f_{H4}}{4} \quad (54)$$

◦ $f_{H1} - 4 \dots$ parametr blokace jednotlivých kol vozidla v hodnotě 0 pro neblokované kolo nebo v hodnotě 1 pro kolo blokové

$$\bullet \omega' = \sqrt{\frac{\mu \cdot g \cdot \psi^2}{\frac{J}{m \cdot R_V} \cdot \psi \cdot (1 - f_H) + \frac{1,7}{1,7}}} \text{ [rad/s]} \quad (55)$$

Stanovení předstřetových rychlostí

Počtení analýza

Při výpočtu předstřetové rychlosti u čelního střetu vozidla A a vozidla B s částečným překrytím s využitím zpětného odvíjení děje a zákonu zachování energie a zákonu zachování hybnosti je postup podle literatury [26] následující:

- Vstupní hodnoty jsou hmotnosti vozidel m_A a m_B [kg], postřetové směry φ'_A a φ'_B [rad], rozvory vozidel R_{VA} a R_{VB} [m], délka vozidel L_A a L_B [m], postřetová úhlová rychlost ω'_A a ω'_B [rad/s], postřetová rychlost v'_A a v'_B [m/s] a energetický ekvivalent rychlosti EES_A a EES_B [m/s]
- Výpočet momentu setrvačnosti pro osobní automobily podle vztahu 47
- α_A a α_B = úhel mezi osou x a postřetovými směry φ'_A a φ'_B
- Přepočet postřetových rychlostí na složky osy x podle vztahu 56:

$$\circ v'_x = v' \cdot \cos(\alpha) \text{ [m/s]} \quad (56)$$

- Výpočet hodnoty P podle vztahu 57:

$$\circ P = m_A v'_{Ax} + m_B v'_{Bx} \quad (57)$$

- Výpočet hodnoty Q podle vztahu 58:

$$Q = m_A v_A'^2 + m_B v_B'^2 + J_A \omega_A'^2 + J_B \omega_B'^2 + m_A EES_A^2 + m_B EES_B^2 \quad (58)$$

- Dosazení do vztahu pro předstřetovou rychlost v_B podle vztahu 59:

$$v_B = \frac{-\left(\frac{2Pm_B}{m_A}\right) \pm \sqrt{\left(\frac{2Pm_B}{m_A}\right)^2 - 4\left(m_B + \frac{m_B^2}{m_A}\right) \cdot \left(\frac{P^2}{m_A} - Q\right)}}{2\left(m_B + \frac{m_B^2}{m_A}\right)} \text{ [m/s]} \quad (59)$$

- dále se počítá s v_B , které vyšlo kladné

- Dosazení do vztahu pro předstřetovou rychlost v_A podle vztahu 60:

$$v_A = \frac{m_A v_A'^2 + m_B v_B'^2 + m_B v_B^2}{m_A} \text{ [m/s]} \quad (60)$$

Při výpočtu předstřetové rychlosti u kolmého nebo šikmého střetu vozidla A a vozidla B s využitím zpětného odvíjení děje je postup následující:

- Vstupní hodnoty jsou hmotnosti vozidel m_A a m_B [kg], předstřetové směry φ_A a φ_B [rad], postřetové směry φ'_A a φ'_B [rad] a postřetové rychlosti v'_A a v'_B [m/s].

- Dosazení do vztahu pro předstřetovou rychlost v_A podle vztahu 61:

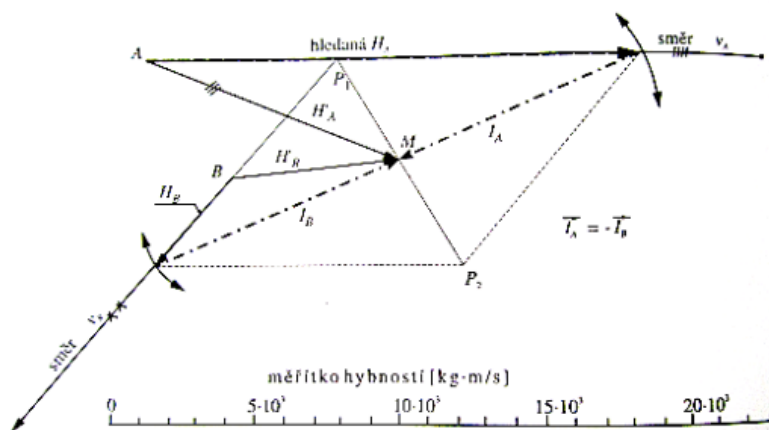
$$v_A = \frac{m_A \cdot v'_A \cdot \sin(\varphi_B - \varphi'_A) + m_B \cdot v'_B \cdot \sin(\varphi_B - \varphi'_B)}{m_A \cdot \sin(\varphi_B - \varphi_A)} \text{ [m/s]} \quad (61)$$

- Dosazení do vztahu pro předstřetovou rychlost v_B podle vztahu 62:

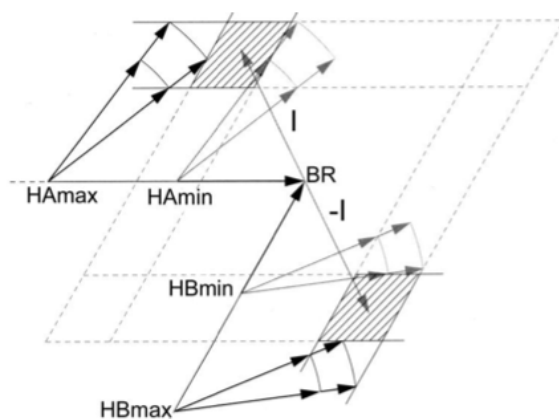
$$v_B = \frac{m_A \cdot v'_A \cdot \sin(\varphi'_A - \varphi_A) + m_B \cdot v'_B \cdot \sin(\varphi'_B - \varphi_A)}{m_B \cdot \sin(\varphi_B - \varphi_A)} \text{ [m/s]} \quad (62)$$

Grafická analýza

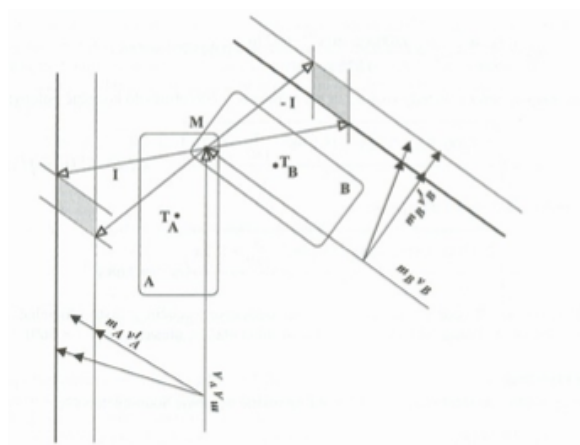
Grafické analýzy střetu jsou založeny na I. impulsové větě (zákon zachování hybnosti). Ověření a optimalizace výsledků jsou prováděny pomocí II. impulsové věty a deformační práce. Mezi základní metody pro kolmé a šikmé střety patří sestavení diagramu rovnováhy hybnosti a impulsů (DRHI) viz obrázek 17, při použití rozmezí vstupních hodnot se sestavuje modifikovaný diagram rovnováhy hybnosti a impulsů (MDRHI) viz obrázek 18, k zúžení rozsahu řešení z MDRHI, za předpokladu, že impuls rázové síly na rameni vyvolá změnu úhlové rychlosti, se využije metody rhomboidního řezu viz obrázek 19 a 20 a pro další zúžení rozsahu se doplní metodou energetického prstence, jež je založena na výpočtu velikosti impulsu rázové síly nikoliv ze změn hybnosti jako předcházející, ale ze změny deformační energie vozidla se zahrnutím součinitele restituace viz obrázek 21. [8]



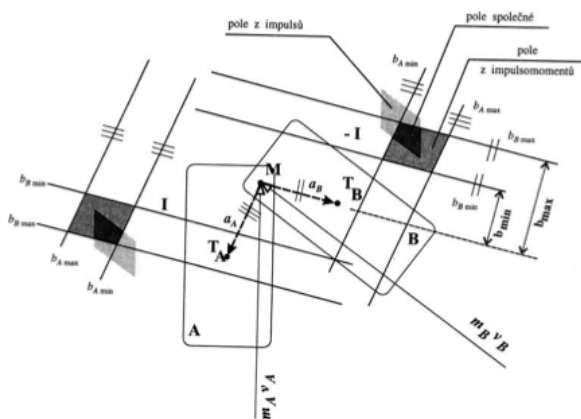
Obrázek 17 Metoda DRHI [8]



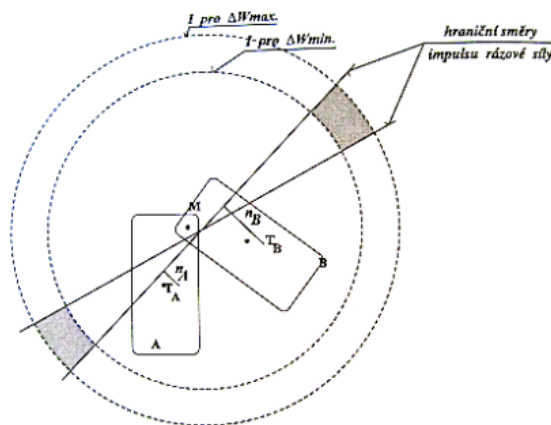
Obrázek 18 Metoda MDRHI [26]



Obrázek 19 Metoda rhomboidního řezu - část 1. [8]



Obrázek 20 Metoda rhomboidního řezu - část 2. [8]



Obrázek 21 Metoda energetického prstence [8]

Kontrolní hodnoty při analýze střetu

Při výpočtu rychlosti vozidel před střetem a výpočtu EES je výhodné vypočítat také kontrolní hodnoty střetu, které mohou pomoci při kontrole správnosti některých výpočtů. Mezi tyto kontrolní hodnoty patří podle literatury [24] například:

- Výpočet bodu rázu (střetu)
 - vztahy 63 a 64 pro složky souřadnicové soustavy x, y ramena rázové síly r se směrovým úhlem ramena rázové síly ρ jsou:
 - $r_x = r \cdot \cos(\psi + \rho)$ (63)
 - $r_y = r \cdot \sin(\psi + \rho)$ (64)
 - vztah 65 pro rychlost v bodě rázu před střetem:
 - $\vec{v}_b = \vec{v} + \vec{\omega} \cdot \vec{r}$ [m/s] (65)
 - vyřešením součinu vzniknou vztahy 66 a 67:
 - $v_{bx} = v \cdot \cos v + \omega \cdot r_y$ [m/s] (66)
 - $v_{by} = v \cdot \sin v + \omega \cdot r_x$ [m/s] (67)
 - velikost rychlosti v bodě rázu před střetem podle vztahu 68:
 - $\Delta v_b = \sqrt{v_{bx}^2 + v_{by}^2}$ [m/s] (68)
 - vztah 69 směrového úhlu rychlosti:
 - $\Delta v_b = \arctan \frac{v_{by}}{v_{bx}}$ [m/s] (69)
 - vztah 70 pro rychlost v bodě rázu po střetu:
 - $\vec{v}'_b = \vec{v}' + \vec{\omega}' \cdot \vec{r}$ [m/s] (70)
 - vyřešením součinu vzniknou vztahy 71 a 72:
 - $v'_{bx} = v' \cdot \cos v' + \omega' \cdot r_y$ [m/s] (71)
 - $v'_{by} = v' \cdot \sin v' + \omega' \cdot r_x$ [m/s] (72)
 - velikost rychlosti v bodě rázu po střetu podle vztahu 73:
 - $\Delta v'_b = \sqrt{v'_{bx}^2 + v'_{by}^2}$ [m/s] (73)
 - vztah 74 směrového úhlu rychlosti:
 - $\Delta v'_b = \arctan \frac{v'_{by}}{v'_{bx}}$ [m/s] (74)
 - vztah 75 pro rozdíl rychlosti bodu rázu jednotlivých vozidel po střetu:
 - $\Delta v'_b = v'_{b2} - v'_{b1}$ [m/s] (75)

- Hodnota $\Delta v'_b$ je při střetu dvou osobních vozidel bez skluzu mezi 2 až 7 km/h, při speciální konstrukci nárazníku může tato hodnota dosahovat až 12 km/h.
- Součinitel tření v rovině střetu
 - Hodnota tohoto součinitele je rozdílná podle typu střetu, zda došlo ke skluzu (hodnota od 0,4 do 0,6 *- částečný skluz, či hodnoty nižší u plného skluzu) nebo střet bez skluzu (hodnota větší jak 0,6).
 - Při výpočtu střetu se skluzem je stanovení tohoto součinitele s natočením roviny střetu důležité a ovlivňují výsledek výpočtu.
 - Avšak tyto hodnoty se nemusí bezpodmínečně dodržovat při výpočtu střetu bez skluzu, kdy tento součinitel nemá vliv na výsledek.
- Celková deformační energie
 - Deformační energie na základě zákona o zachování energie je dána rozdílem mezi energií před srážkou a po srážce vyjádřená vzorcem 76, přičemž tento rozdíl musí být kladný:
 - $E_D = E_{před} - E_{po} \text{ [J]}$ (76)
 - $E_{před} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + \frac{1}{2} J_1 \omega_1^2 + \frac{1}{2} J_2 \omega_2^2 \text{ [J]}$ (77)
 - $E_{po} = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 + \frac{1}{2} J_1 \omega_1'^2 + \frac{1}{2} J_2 \omega_2'^2 \text{ [J]}$ (78)
- Kontrolní parametr střetu – parametr GEV
 - Tento parametr je dán poměrem změny rychlosti bodu rázu Δv k EES podle vztahu 79. Výsledné hodnoty 0,9 až 1,2 značí střet bez skluzu, hodnoty 0,75 až 0,9 značí střet s částečným skluzem a hodnoty do 0,75 značí střet s výrazným skluzem.
 - $GEV = \frac{\Delta v}{EES} [-]$ (79)

3.4.3 Grafická analýza silničních nehod

Mezi grafické analýzy silničních nehod patří: korelace pohybů v různých směrech, oblast zakrytého výhledu, grafická analýza možnosti odvrácení střetu, grafická analýza předjíždění, určení úhlu pohledu, graf přiměřené rychlosti, kombinovaná grafická analýza. [8]

Pro potřeby této práce nebudou jednotlivé grafické analýzy detailně popsány.

3.4.4 Používané softwary k analýze nehod

Jak je uvedeno v literatuře [29], rozvoj výpočetní techniky a počítačových programů v devadesátých letech minulého století byl za vznikem a vývojem softwarů jakožto podpůrných prostředků pro znaleckou činnost. V současné době jsou nejvyužívanějšími softwary PC-Crash a Virtual CRASH, jež jsou užívány pro simulaci dopravních nehod zobrazující výsledky ve 2D plánech, 3D pohledech, diagramech a v protokolech. Dále jsou užívány také softwary CARAT a Impulz expert, avšak tyto dva softwary jsou v České republice méně využívány.

Pro řešení nehod v této práci bylo využito programu Virtual CRASH verze 2.2.

4 POROVNÁNÍ NÁRAZOVÝCH TESTŮ S VYBRANÝMI NEHODAMI

V této kapitole budou rozebrány nárazové zkoušky vozidla Octavia II do deformovatelné bariéry se 40% překrytím v rychlostech 40 km/h, 56 km/h a 64 km/h. Dále budou rozebrány nehody, jež byly vybrány podle svého charakteru poškození a přibližovaly se nejvíce charakteru poškození vozidel z nárazových zkoušek. Pro ukázkou výsledných tuhostí byla přidána také nehoda s bočním střetem.

4.1 ROZBOR ZKOUŠEK A VYBRANÝCH NEHOD

4.1.1 Čelní nárazová zkouška ve 40km/h se 40% překrytím

Popis zkoušky

Podle protokolu o zkoušce podle specifikace zákazníka – Čelní náraz 40km/h, 40% překrytí bylo použito vozidlo Škoda Octavia II s levostranným řízením, motorem 1,9 TDI, manuální 5 stupňovou převodovkou, rokem výroby 2003 a s hmotností 1653 kg. Byly použity dvě figuríny Hybrid III pro řidiče a spolujezdce. Specifikace bariéry, zkušebního prostoru a vozidla jsou založeny na homologační zkoušce EHK OSN č. 94. Nárazová rychlost při zkoušce byla naměřena na 40,59 km/h. [30]

Poškození vozidel

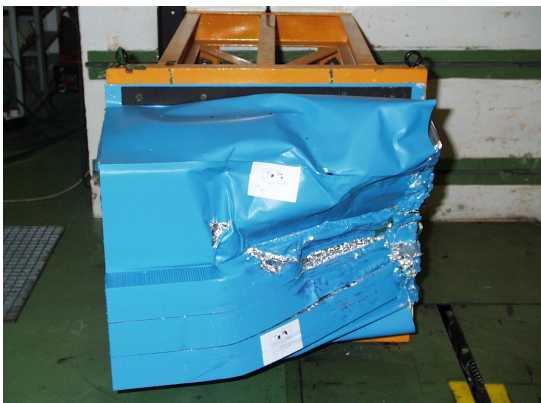
Poškození vozidla je ukázáno na obrázcích 22 a 23 a poškození bariéry na obrázcích 23 a 24.



Obrázek 22 Poškození vozidla zepředu [30]



Obrázek 23 Poškození vozidla a bariéry shora [30]



Obrázek 24 Poškození bariéry zepředu [30]

Hloubka deformace vozidla byla odečtena rozdělením přední části příčně na šest částí a z toho byla vypočtena průměrná hodnota. Dále byla vypočtena rychlost na konci kompresní fáze podle vztahu 38, postřetová rychlost na konci restituční fáze dle vztahu 39 a tyto hodnoty byly použity pro výpočet kinetické energie postřetové, která se poté odečetla od kinetické energie předstřetové, z čehož se získala hodnota pro celkovou deformační energii. Ze známé orientační hodnoty EES pro vozidlo zjištěné porovnáním poškození z katalogu EES se ze vztahu 31 vypočetla deformační energie pro vozidlo, která se odečetla od celkové deformační energie. Ze zbylé deformační energie pro bariéru se vypočetla podle vztahu 40 hodnota EES pro bariéru. Ze zjištěných jednotlivých deformačních energií byly vypočteny podle vztahu 32 tuhosti pro vozidlo a bariéru. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3 Hodnoty pro čelní náraz ve 40km/h se 40% překrytí

	Vozidlo		Bariéra	
	MIN	MAX	MIN	MAX
Hmotnost m [kg]	1653	1653	70000	70000
Rychlost předstřetová v [m/s]	11.28	11.28	0.00	0.00
Rychlost předstřetová v [km/h]	40.59	40.59	0.00	0.00
Hloubka deformace x [m]	0.378	0.378	0.113	0.113
Rychlost na konci kompresní fáze v_c [m/s]	0.26			
Rychlost postřetová v' [m/s]	-0.84	-0.84	0.00	0.00
Rychlost postřetová v' [km/h]	-3	-3	0	0
Kinetická energie před střetem $E_{K\text{ před}}$ [J]	105069			
Kinetická energie po střetu $E_{K\text{ post}}$ [J]	585			
Deformační energie E_D [J]	104484			
Rozdělené deformační energie E_D [J]	82650	92088	12396	21834
EES [m/s]	10.00	10.56	0.42	0.56
EES [km/h]	36	38	2	2
Tuhost přední části K [kN/m]	1157	1289	1942	3420

Zatížení figurín

Pokud by bylo při zkoušce dosaženo větších biomechanických hodnot než jsou maximálně povolené limity podle kapitoly 3.2.6.1, mohlo by dojít u osádky k závažným zraněním.

Hodnoty HIC, 3 ms, maximální ohybový moment krku k ose y, ThPC, V*C a FFC naměřené u řidiče a spolujezdce nepřekračují maximální povolené hodnoty. [30] Z hodnot naměřených při zkoušce nebylo možno určit míru závažnosti zranění pro figuríny ani po konzultaci se soudním lékařem.

4.1.2 Homologační zkouška – EHK OSN č. 94

Popis a analýza zkoušky

Podle protokolu o zkoušce podle předpisu 96/79/EHS Směrnice rady o ochraně cestujících v motorových vozidlech při čelním nárazu bylo použito vozidlo Škoda Octavia II s levostranným řízením, motorem 1,9 TDI/77kW, 5 stupňovou mechanickou převodovkou, pneumatikami 205/55 R16 Bridgestone vyrobené v roce 2003 s hmotností 1764 kg. Byly použity dvě figuríny Hybrid III pro řidiče a spolujezdce. Nárazová rychlost při zkoušce byla naměřena na 56,04 km/h. [30]

Poškození vozidla a bariéry

Poškození vozidla je ukázáno na obrázcích, 25 a 26 a poškození bariéry na obrázku 27.



Obrázek 25 Poškození vozidla zepředu [30]



Obrázek 26 Poškození vozidla levý bok [30]



Obrázek 27 Poškození bariéry shora [30]

Hloubka deformace vozidla byla odečtena rozdělením přední části příčně na šest částí a z toho byla vypočtena průměrná hodnota. Dále byla vypočtena rychlost na konci kompresní fáze podle vztahu 38, postřetová rychlost na konci restituční fáze dle vztahu 39 a tyto hodnoty byly použity pro výpočet kinetické energie postřetové, která se poté odečetla od kinetické energie předstřetové, z čehož se získala hodnota pro celkovou deformační energii. Ze známé hodnoty EES pro vozidlo zjištěné porovnáním poškození z katalogu EES se ze vztahu 31 vypočetla deformační energie pro vozidlo, která se odečetla od celkové deformační energie. Ze zbylé deformační energie pro bariéru se vypočetla podle vztahu 40 hodnota EES pro bariéru. Ze zjištěných jednotlivých deformačních energií byly vypočteny podle vztahu 32 tuhosti pro vozidlo a bariéru. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 4 Hodnoty pro homologační zkoušku EHK OSN č. 94

	Vozidlo		Bariéra	
	MIN	MAX	MIN	MAX
Hmotnost m [kg]	1764	1764	70000	70000
Rychlost předstřetová v [m/s]	15.57	15.57	0.00	0.00
Rychlost předstřetová v [km/h]	56.04	56.04	0.00	0.00
Hloubka deformace x [m]	0.586	0.586	0.154	0.154
Rychlost na konci kompresní fáze v_c [m/s]	0.38			
Rychlost postřetová v' [m/s]	-1.14	-1.14	0.00	0.00
Rychlost postřetová v' [km/h]	-4	-4	0	0
Kinetická energie před střetem $E_{K\text{ před}}$ [J]	213727			
Kinetická energie po střetu $E_{K\text{ post}}$ [J]	1138			
Deformační energie E_D [J]	212589			
Rozdělené deformační energie E_D [J]	177013	191168	21421	35577
EES [m/s]	14.17	14.72	0.55	0.71
EES [km/h]	51	53	2	3
Tuhost přední části K [kN/m]	1031	1113	1806	3000

Zatížení figurín

Pokud by bylo při zkoušce dosaženo větších biomechanických hodnot než jsou maximálně povolené limity podle kapitoly 3.2.6.1, mohlo by dojít u osádky k závažným zraněním a vozidlo by nebylo způsobilé k získání homologace a tudíž k provozu na pozemních komunikacích.

Hodnoty HIC, 3 ms, maximální ohybový moment krku k ose y, NIC v tahu, NIC ve smyku, ThPC, V*C, FFC, kritérium holenní kosti, TI a posuv kolenního kloubu naměřené u řidiče a spolujezdce nepřekračují maximální povolené hodnoty. [30] Z hodnot naměřených při zkoušce nebylo možno určit míru závažnosti zranění pro figuríny ani po konzultaci se soudním lékařem.

4.1.3 Nárazová zkouška Euro NCAP – čelní náraz

Popis zkoušky

Podle protokolu o zkoušce Euro NCAP - čelní náraz bylo použito vozidlo Škoda Octavia II s pravostranným řízením, motorem 1,6 MPI a s hmotností 1514,5 kg. Byly použity dvě figuríny Hybrid III pro řidiče a spolujezdce a figuríny dětí P3 na zadním sedadle za řidičem a P1,5 na zadním sedadle za spolujezdcem. Nárazová rychlost při zkoušce byla naměřena na 64,28 km/h s 3 mm přes 40% překrytí. [30]

Poškození vozidla a bariéry

Poškození vozidla je ukázáno na obrázcích 28 a 29 a poškození bariéry na obrázku 29.



Obrázek 28 Poškození vozidla zepředu [30]



Obrázek 29 Poškození vozidla a bariéra shora [30]

Hloubka deformace vozidla byla odečtena rozdělením přední části příčně na šest částí a z toho byla vypočtena průměrná hodnota. Dále byla vypočtena rychlost na konci kompresní fáze podle vztahu 38, postřetová rychlost na konci restituční fáze dle vztahu 39 a tyto hodnoty byly použity pro výpočet kinetické energie postřetové, která se poté odečetla od kinetické energie předstřetové, z čehož se získala hodnota pro celkovou deformační energii. Ze známé hodnoty EES pro vozidlo zjištěné porovnáním poškození z katalogu EES se ze vztahu 31 vypočetla deformační energie pro vozidlo, která se odečetla od celkové deformační energie. Ze zbylé deformační energie pro bariéru se vypočetla podle vztahu 40 hodnota EES pro bariéru. Ze zjištěných jednotlivých deformačních energií byly vypočteny podle vztahu 32 tuhosti pro vozidlo a bariéru. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5 Hodnoty pro čelní náraz nárazové zkoušky Euro NCAP

	Vozidlo		Bariéra	
	MIN	MAX	MIN	MAX
Hmotnost m [kg]	1514.5	1514.5	70000	70000
Rychlost předstřetová v [m/s]	17.86	17.86	0.00	0.00
Rychlost předstřetová v [km/h]	64.28	64.28	0.00	0.00
Hloubka deformace x [m]	0.678	0.678	0.180	0.180
Rychlost na konci kompresní fáze v_c [m/s]	0.38			
Rychlost postřetová v' [m/s]	-1.37	-1.37	0.00	0.00
Rychlost postřetová v' [km/h]	-5	-5	0	0
Kinetická energie před střetem $E_{K\text{ před}}$ [J]	241427			
Kinetická energie po střetu $E_{K\text{ post}}$ [J]	1420			
Deformační energie E_D [J]	240007			
Rozdělené deformační energie E_D [J]	210347	224604	15403	29659
EES [m/s]	16.67	17.22	0.47	0.65
EES [km/h]	60	62	2	2
Tuhost přední části K [kN/m]	915	977	951	1831

Zatížení figurín

Pokud by bylo při zkoušce dosaženo větších biomechanických hodnot než jsou maximálně povolené limity podle kapitoly 3.2.6.1, mohlo by dojít u osádky k závažným zraněním a tedy k špatnému hodnocení vozidla podle Euro NCAP.

Hodnoty HIC, 3 ms, maximální ohybový moment krku k ose y, NIC v tahu, NIC ve smyku, ThPC, V*C, FFC, kritérium holenní kosti, TI a posuv kolenního kloubu naměřené u řidiče a spolujezdce nepřekračují maximální povolené hodnoty. Hodnoty HIC a 3 ms naměřené u dětí na zadních sedadlech nepřekračují maximální povolené hodnoty. [30] Z hodnot naměřených při zkoušce nebylo možno určit míru závažnosti zranění pro figuríny ani po konzultaci se soudním lékařem.

Vozidlo Octavia II podle hodnocení Euro NCAP získalo 4 hvězdy z 5 za ochranu dospělé posádky, 4 hvězdy z 5 za ochranu dětské posádky a 2 hvězdy ze 4 za ochranu chodců. Grafické znázornění ochrany dospělé posádky je zobrazeno na obrázku 30. [31]



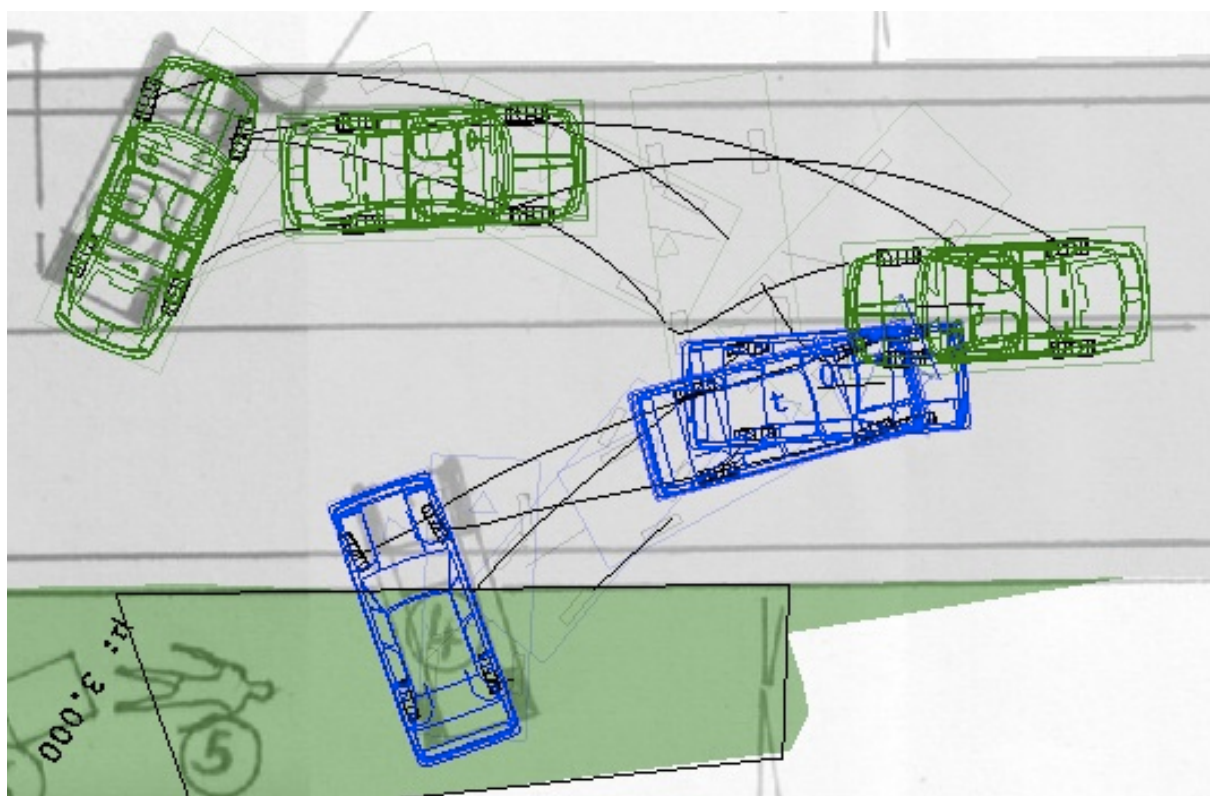
Obrázek 30 Ochrana dospělé posádky při zkoušce Euro NCAP [31]

Celkově bylo vozidlo hodnoceno jako velmi silné a stabilní v ochraně posádky. [31]

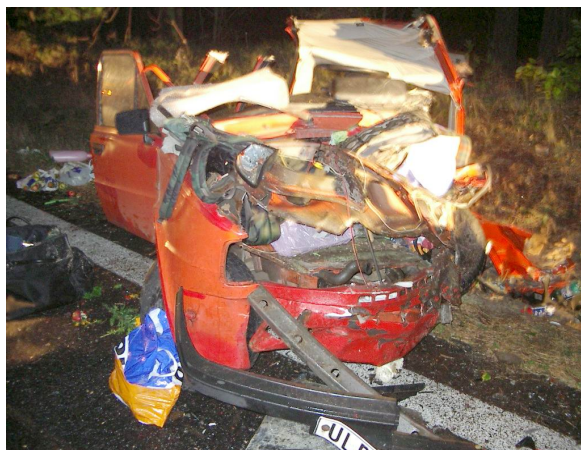
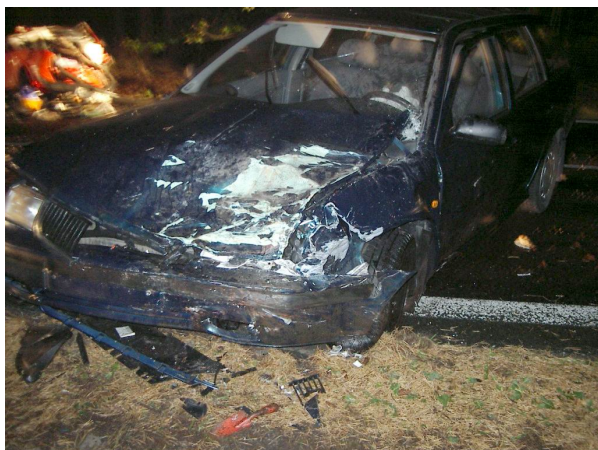
4.1.4 Nehoda vozidla Octavia I s vozidlem Škoda 105

Za pomoci programu Virtual CRASH 2.2 byla analyzována nehoda čelního střetu vozidla Škoda Octavia Combi LXI, 1,6 (dále jen Octavia I) s vozidlem Škoda 105L (dále jen Š105) znázorněná na obrázku 31 na přímém úseku vozovky mimo obec. Vstupní hodnoty pro výpočty a hodnoty získané z programu Virtual CRASH 2.2 jsou zapsány v tabulce 6, jedná se o předstřetovou rychlost a postřetovou rychlost. Poškození vozidel je ukázáno na obrázku 32 a 33.

Ve vozidle Octavia I byl přítomen řidič, který utrpěl při nehodě zranění dále nespecifikována. Ve vozidle Š105 byl řidič, který utrpěl smrtelná zranění, na zadním sedadle za řidičem osoba, jež také utrpěla smrtelná zranění, další osoba na zadním sedadle, jež utrpěla polytrauma – lacerace sleziny, bránice, dystopie žaludku, perforace tenkého střeva, perforace žlučových cest a jiné a pes bez specifikovaných zranění.



Obrázek 31 Střetová poloha vozidel Octavia I (zelená) a Š105 (modrá)



Obrázek 32 Poškození vozidla Octavia I zepředu [23] Obrázek 33 Poškození vozidla Š105 zepředu [23]

Hloubka deformací vozidel byla odečtena rozdělením předních částí příčně na šest částí a z toho byla vypočtena průměrná hodnota. Vypočetla se společná energie kinetická před střetem a po střetu a odečtem se získala hodnota pro celkovou deformační energii. Ze známé hodnoty EES pro vozidla zjištěné porovnáním poškození z katalogu EES a spočítané programem Virtual CRASH a ze zjištěné deformace se ze vztahu 31 vypočetla deformační energie pro jednotlivá vozidla, která se poté použila pro výpočet tuhostí podle vztahu 32. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6.

Tabulka 6 Hodnoty pro nehodu vozidel Octavia I a Š105

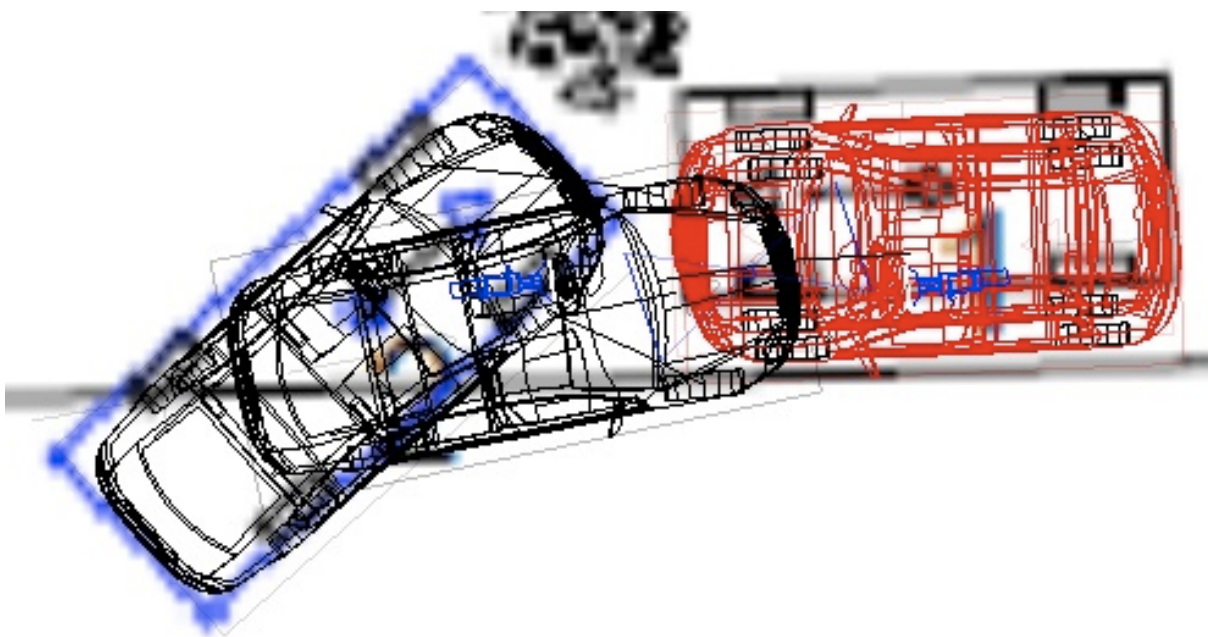
	MIN	MAX	MIN	MAX
	Octavia I		Š105	
Hmotnost vozidla m [kg]	1450	1450	1130	1130
Rychlost předstřetová v [km/h]	72	72	30	30
Rychlost předstřetová v [m/s]	20.04	20.04	8.33	8.33
Hloubka deformace x [m]	0.420	0.420	0.830	0.830
Rychlost postřetová v' [km/h]	30	30	30	30
Rychlost postřetová v' [m/s]	8.19	8.19	8.33	8.33
Kinetická energie před střetem $E_{K \text{ před}}$ [J]	330446			
Kinetická energie po střetu $E_{K \text{ post}}$ [J]	87893			
Deformační energie E_D [J]	242553			
Rozdělené deformační energie E_D [J]	68528	113281	129272	174025
EES [m/s]	9.72	12.50	15.13	17.55
EES [km/h]	35	45	54	63
Tuhost přední části K [kN/m]	777	1284	375	505

4.1.5 Nehoda vozidla Octavia II s vozidlem Fabia II

Za pomoci programu Virtual CRASH 2.2 byla analyzována nehoda čelního střetu vozidla Škoda Octavia II 1,6 MPI, rok výroby 2009 (dále jen Octavia II) s vozidlem Škoda

Fabia 1,2 HTP, rok výroby 2007 (dále jen Fabia II) znázorněná na obrázku 34 na přímém úseku na suché vozovce mimo obec. Vstupní hodnoty pro výpočty a hodnoty získané z programu Virtual CRASH 2.2 jsou zapsány v tabulce 7, jedná se o předstřetovou rychlost a postřetovou rychlost. Poškození vozidel je ukázáno na obrázku 35 a 36.

Ve vozidle Octavia II byl přítomen řidič, který utrpěl při nehodě těžká zranění dále nespecifikována a vedle řidiče spolujezdec, jež utrpěl zranění ve formě zhmoždění zápěstí na levé ruce, zlomený palec a nártní kůstky na levé noze, zlomená tři žebra a nespecifikované poranění hrudního koše. Ve vozidle Fabia II byl řidič, který utrpěl drobná zranění a vedle řidiče spolujezdec, jež utrpěl těžká zranění, také dále nespecifikována.



Obrázek 34 Střetová poloha vozidel Fabia II (červená) a Octavia II (černá)



Obrázek 35 Poškození vozidla Fabia II shora [23]



Obrázek 36 Poškození vozidla Octavia II zepředu[23]

Hloubka deformací vozidel byla odečtena rozdělením předních částí příčně na šest částí a z toho byla vypočtena průměrná hodnota. Vypočetla se společná energie kinetická před

střetem a po střetu a odečtem se získala hodnota pro celkovou deformační energii. Ze známé hodnoty EES pro vozidla zjištěné porovnáním poškození z katalogu EES a spočítané programem Virtual CRASH a ze zjištěné deformace se ze vztahu 31 vypočetla deformační energie pro jednotlivá vozidla, která se poté použila pro výpočet tuhostí podle vztahu 32. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 7.

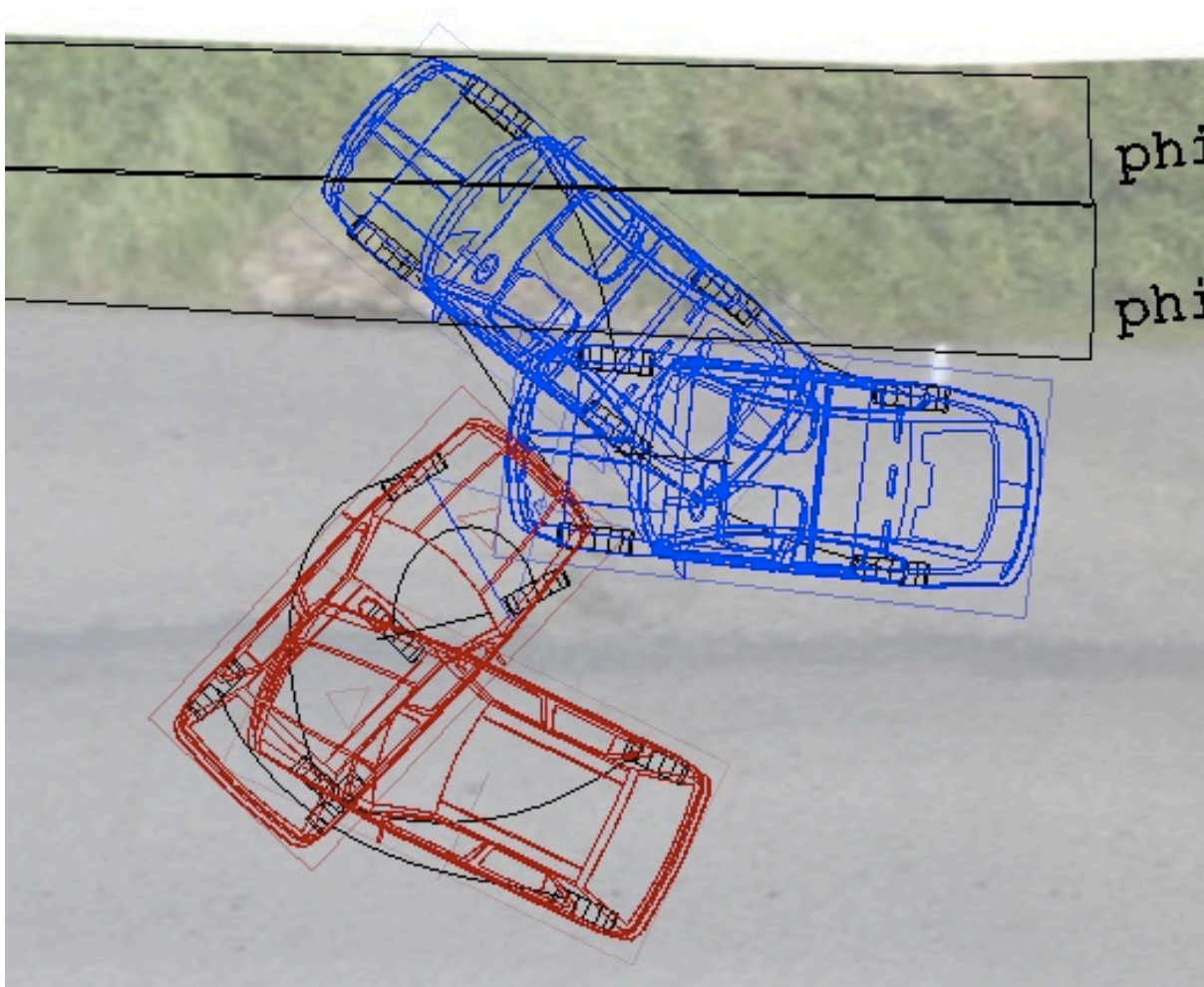
Tabulka 7 Hodnoty pro nehodu vozidla Octavia II a Fabia II

	MIN	MAX	MIN	MAX
	Octavia II		Fabia II	
Hmotnost vozidla m [kg]	1220	1220	1135	1135
Rychlost předstřetová v [km/h]	54	54	71	71
Rychlost předstřetová v [m/s]	15.00	15.00	19.72	19.72
Hloubka deformace x [m]	0.540	0.540	0.620	0.620
Rychlost postřetová v' [km/h]	14	14	7	7
Rychlost postřetová v' [m/s]	3.98	3.98	1.98	1.98
Kinetická energie před střetem $E_{K\text{ před}}$ [J]	357988			
Kinetická energie po střetu $E_{K\text{ post}}$ [J]	11872			
Deformační energie E_D [J]	346117			
Rozdělené deformační energie E_D [J]	146710	182274	163843	199406
EES [m/s]	15.51	17.29	16.99	18.75
EES [km/h]	56	62	61	67
Tuhost přední části K [kN/m]	1006	1250	852	1037

4.1.6 Nehoda vozidla Octavia I s vozidlem Felicia

Za pomoci programu Virtual CRASH 2.2 byla analyzována nehoda vozidla Škoda Octavia I 1,9 TDI, rok výroby 2000 (dále jen Octavia I) s vozidlem Škoda Felicia (dále jen Felicia) znázorněná na obrázku 37 na přímém úseku na suché vozovce mimo obec. Vstupní hodnoty pro výpočty a hodnoty získané z programu Virtual CRASH 2.2 jsou zapsány v tabulce 8, jedná se o předstřetovou rychlost a postřetovou rychlost. Poškození vozidel je ukázáno na obrázku 38 a 39.

Ve vozidle Octavia I byl přítomen řidič, který utrpěl při nehodě drobná zranění, konkrétně pak pohmoždění pravé paže, drobné oděrky na čele vlevo a pravého kolena. Ve vozidle Felicia byl řidič, u nějž nebylo zaznamenáno žádné zranění.



Obrázek 37 Střetová poloha vozidel Octavia I (modrá) a Felicia (červená)



Obrázek 38 Poškození vozidla Octavia I seshora [30] **Obrázek 39** Poškození vozidla Felicia zepředu [30]

Hloubka deformací vozidel byla odečtena rozdělením předních částí příčně na šest částí a z toho byla vypočtena průměrná hodnota. Vypočetla se společná energie kinetická před střetem a po střetu a odečtem se získala hodnota pro celkovou deformační energii. Ze známé hodnoty EES pro vozidla zjištěné porovnáním poškození z katalogu EES a spočítané programem Virtual CRASH a ze zjištěné deformace se ze vztahu 31 vypočetla deformační

energie pro jednotlivá vozidla, která se poté použila pro výpočet tuhostí podle vztahu 32. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 8.

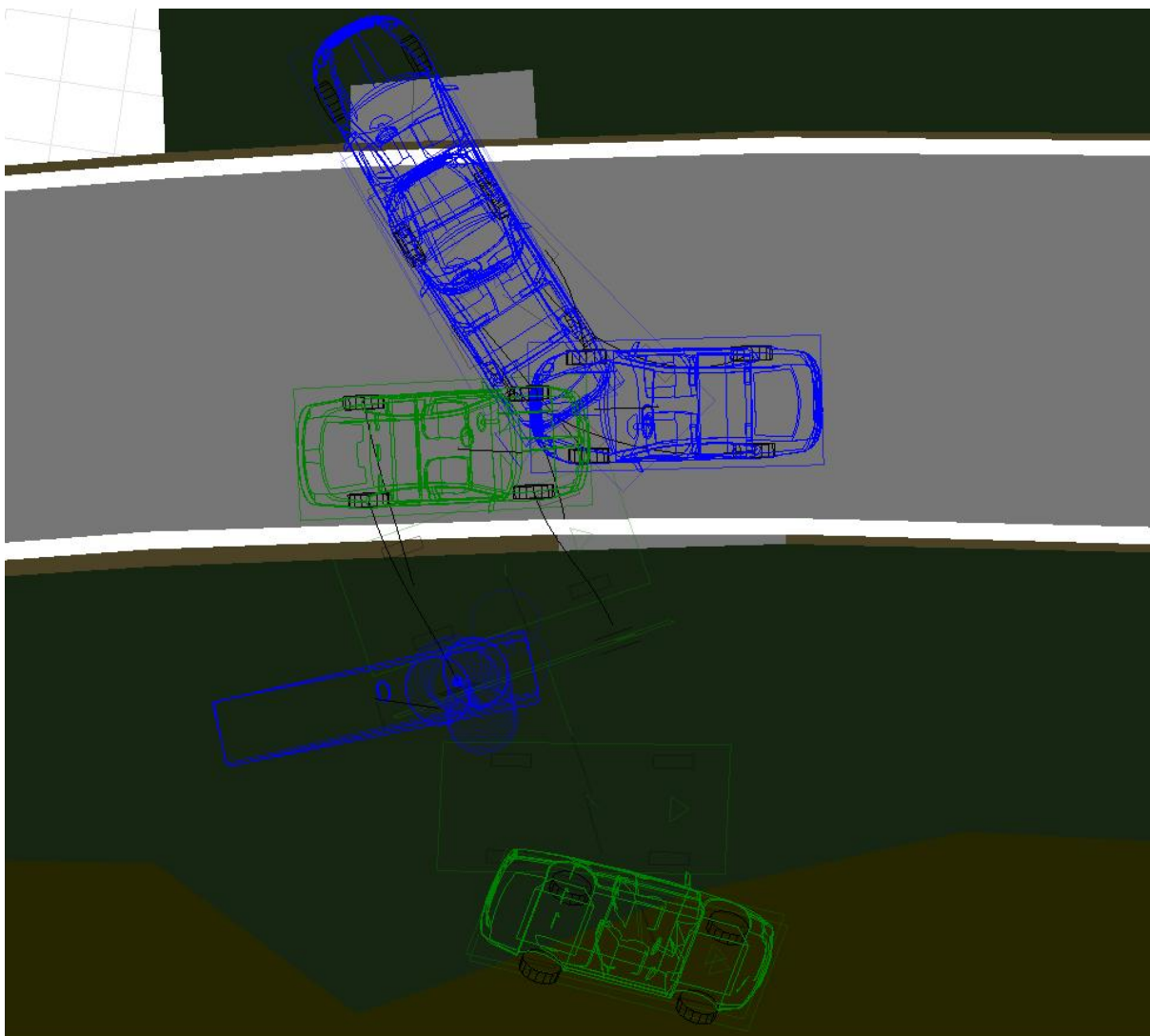
Tabulka 8 Hodnoty pro nehodu vozidel Octavia I a Felicia

	MIN	MAX	MIN	MAX
	Octavia I		Felicia	
Hmotnost vozidla m [kg]	1355	1355	1040	1040
Rychlost předstřetová v [km/h]	31	31	33	33
Rychlost předstřetová v [m/s]	8.61	8.61	9.17	9.17
Hloubka deformace x [m]	0.230	0.230	0.330	0.330
Rychlost postřetová v' [km/h]	17	17	8	8
Rychlost postřetová v' [m/s]	4.63	4.63	2.24	2.24
Kinetická energie před střetem $E_{K\text{ před}}$ [J]	93932			
Kinetická energie po střetu $E_{K\text{ post}}$ [J]	17145			
Deformační energie E_D [J]	76787			
Rozdělené deformační energie E_D [J]	20910	32673	44115	55877
EES [m/s]	5.56	6.94	8.07	10.37
EES [km/h]	20	25	29	37
Tuhost přední části K [kN/m]	791	1235	810	1026

4.1.7 Nehoda vozidla Octavia I s vozidlem Octavia II

Za pomoci programu Virtual CRASH 2.2 byla analyzována nehoda čelního střetu vozidla Škoda Octavia I 1,6 MPI, rok výroby 2005 (dále jen Octavia I) s vozidlem Škoda Octavia II 1,9 TDI PD, rok výroby 2004 (dále jen Octavia II) znázorněná na obrázku 40 na namrzlé vozovce v zatáčce mimo obec. Vstupní hodnoty pro výpočty a hodnoty získané z programu Virtual CRASH 2.2 jsou zapsány v tabulce 9, jedná se o předstřetovou rychlost a postřetovou rychlost. Poškození vozidel je ukázáno na obrázku 41 a 42.

Ve vozidle Octavia I byl přítomen řidič, který utrpěl při nehodě drobná zranění, konkrétně pak pohmoždění pravého kolena, oděrky obou kolen, oděrky obou rukou a předloktí a vedle řidiče byl spolujezdec, jež utrpěl vážná zranění, konkrétně pak oděrky nad levým okem, zlomeninu příčného výběžku obratle L4 vlevo, zlomeninu zadní hrany acetabula vpravo a zlomeninu hlavice femuru vpravo. Ve vozidle Octavia II byl řidič, u nějž došlo k drobným zraněním, přesněji pak k otřesu mozku, podvrtnutí krční páteře a oděrky na hrboly pánevních kostí oboustranně.



Obrázek 40 Střetová poloha vozidel Octavia I (zelená) a Octavia II (modrá)



Obrázek 41 Poškození vozidla Octavia I zepředu[30] **Obrázek 42** Poškození vozidla Octavia II seshora[30]

Hloubka deformací vozidel byla odečtena rozdělením předních částí příčně na šest částí a z toho byla vypočtena průměrná hodnota. Vypočetla se společná energie kinetická před střetem a po střetu a odečtem se získala hodnota pro celkovou deformační energii. Ze známé hodnoty EES pro vozidla zjištěné porovnáním poškození z katalogu EES a spočítané

programem Virtual CRASH a ze zjištěné deformace se ze vztahu 31 vypočetla deformační energie pro jednotlivá vozidla, která se poté použila pro výpočet tuhostí podle vztahu 32. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 9.

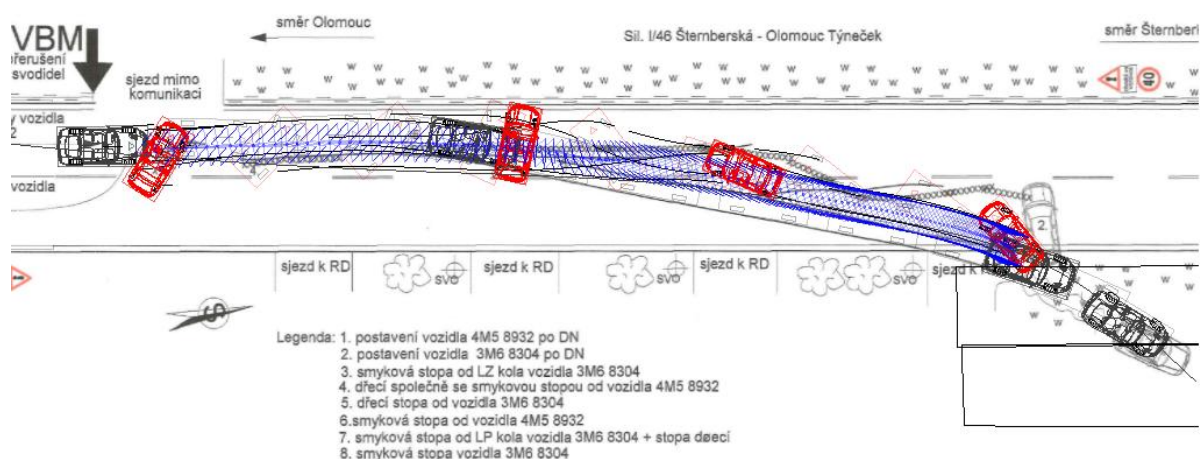
Tabulka 9 Hodnoty pro nehodu vozidel Octavia I a Octavia II

	MIN	MAX	MIN	MAX
	Octavia I		Octavia II	
Hmotnost vozidla m [kg]	1410	1410	1395	1395
Rychlost předstřetová v [km/h]	51	51	59	59
Rychlost předstřetová v [m/s]	14.17	14.17	16.51	16.51
Hloubka deformace x [m]	0.590	0.590	0.510	0.510
Rychlost postřetová v' [km/h]	18	18	19	19
Rychlost postřetová v' [m/s]	4.95	4.95	5.17	5.17
Kinetická energie před střetem $E_{K\text{ před}}$ [J]	331640			
Kinetická energie po střetu $E_{K\text{ post}}$ [J]	35913			
Deformační energie E_D [J]	295727			
Rozdělené deformační energie E_D [J]	135995	182995	112731	159731
EES [m/s]	13.89	16.11	12.71	15.13
EES [km/h]	50	58	46	54
Tuhost přední části K [kN/m]	781	1051	867	1228

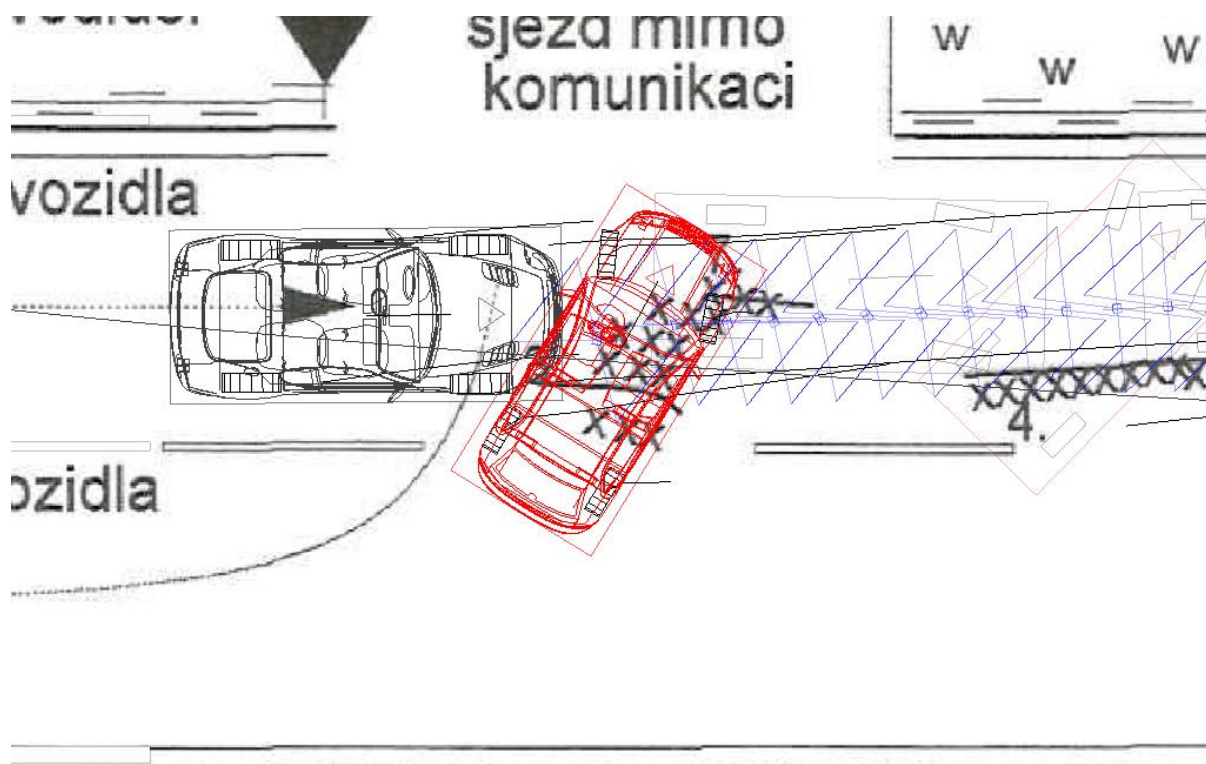
4.1.8 Nehoda boční střet vozidla Mercedes-Benz s vozidlem Fabia I

Za pomoci programu Virtual CRASH 2.2 byla analyzována nehoda bočního střetu vozidla Mercedes-AMG SLS AMG 197 (dále jen Mercedes) s vozidlem Škoda Fabia (dále jen Fabia I) znázorněná na obrázku 43 a 44 na přímém úseku vozovky v obci. Vstupní hodnoty pro výpočty a hodnoty získané z programu Virtual CRASH 2.2 jsou zapsány v tabulce 10, jedná se o předstřetovou rychlost a postřetovou rychlost. Poškození vozidel je ukázáno na obrázku 45 a 46.

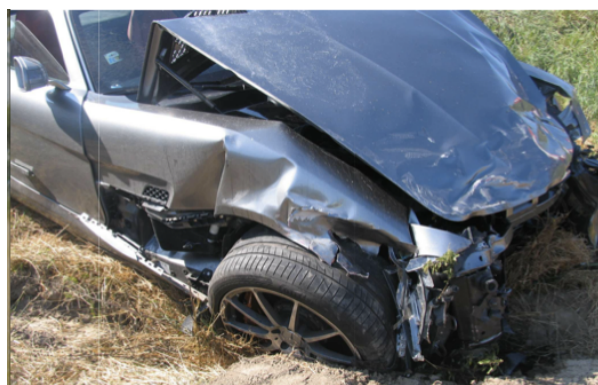
Ve vozidle Mercedes byl přítomen řidič, který utrpěl drobná zranění. Ve vozidle Fabia I byl řidič, u nějž došlo k smrtelným zraněním a spolujezdec, jež utrpěl těžká zranění, blíže nespecifikována.



Obrázek 43 Střetová poloha vozidel Mercedes (černá) a Fabia I (červená)



Obrázek 44 Detail střetové polohy vozidel Mercedes (černá) a Fabia I (červená)



Obrázek 45 Poškození vozidla Mercedes z boku [23]



Obrázek 46 Poškození vozidla Fabia I z boku [23]

Hloubka deformací vozidel byla odečtena rozdělením předních částí příčně na šest částí a z toho byla vypočtena průměrná hodnota. Vypočetla se společná energie kinetická před střetem a po střetu a odečtem se získala hodnota pro celkovou deformační energii. Ze známé hodnoty EES pro vozidla zjištěné porovnáním poškození z katalogu EES a spočítané programem Virtual CRASH a ze zjištěné deformace se ze vztahu 31 vypočetla deformační energie pro jednotlivá vozidla, která se poté použila pro výpočet tuhostí podle vztahu 32. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 10.

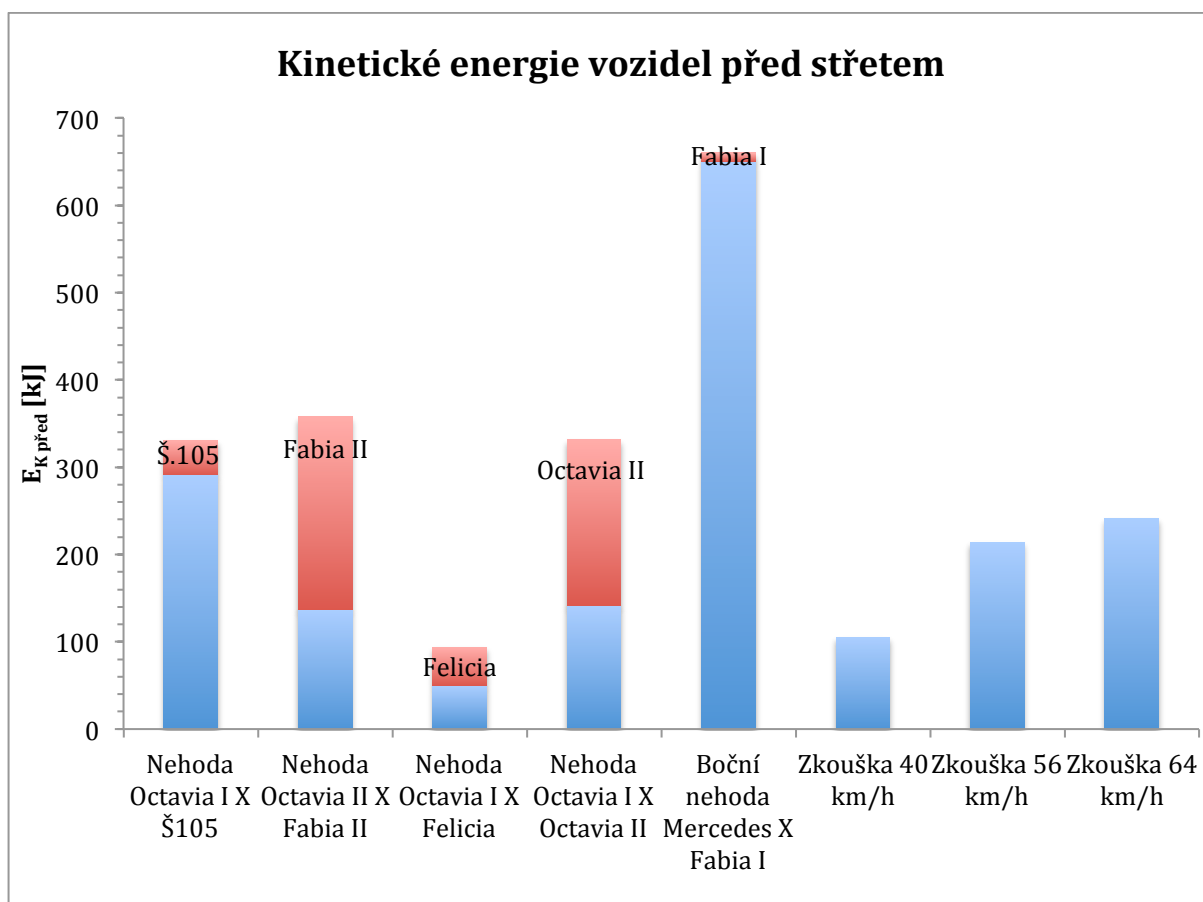
Tabulka 10 Hodnoty pro nehodu vozidel Mercedes a Fabia I

	MIN	MAX	MIN	MAX
	Mercedes		Fabia I	
Hmotnost vozidla m [kg]	1695	1695	1150	1150
Rychlost předstřetová v [km/h]	100	100	15	15
Rychlost předstřetová v [m/s]	27.71	27.71	4.07	4.07
Hloubka deformace x [m]	0.320	0.320	0.640	0.640
Rychlost postřetová v' [km/h]	58	58	65	65
Rychlost postřetová v' [m/s]	16.19	16.19	17.96	17.96
Kinetická energie před střetem $E_{K \text{ před}}$ [J]	660074			
Kinetická energie po střetu $E_{K \text{ post}}$ [J]	407628			
Deformační energie E_D [J]	252447			
Rozdělené deformační energie E_D [J]	109927	144454	107992	142520
EES [m/s]	11.39	13.06	13.70	15.74
EES [km/h]	41	47	49	57
Tuhost K [kN/m]	2147	2821	527	696

4.2 POROVNÁNÍ ZKOUŠEK S NEHODAMI

4.2.1 Porovnání kinetických energií vozidel před střetem

Na obrázku 47 je vidět rozložení kinetických energií před střetem, kdy tato energie je pro deformovatelné bariéry použité při zkouškách nulová. Grafické znázornění je založené na hodnotách z předchozích kapitol.



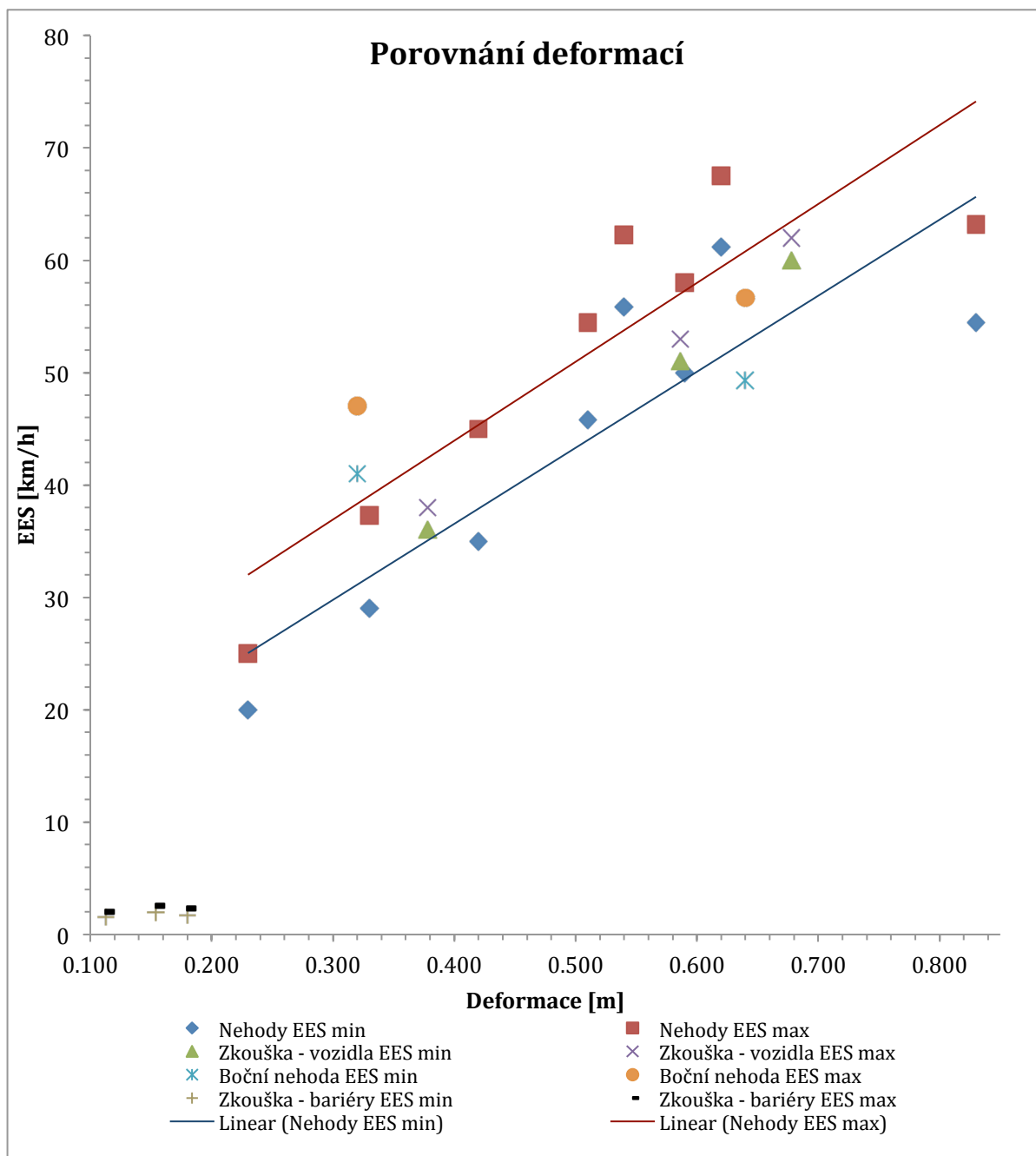
Obrázek 47 Kinetické energie vozidel před střetem

4.2.2 Porovnání deformací

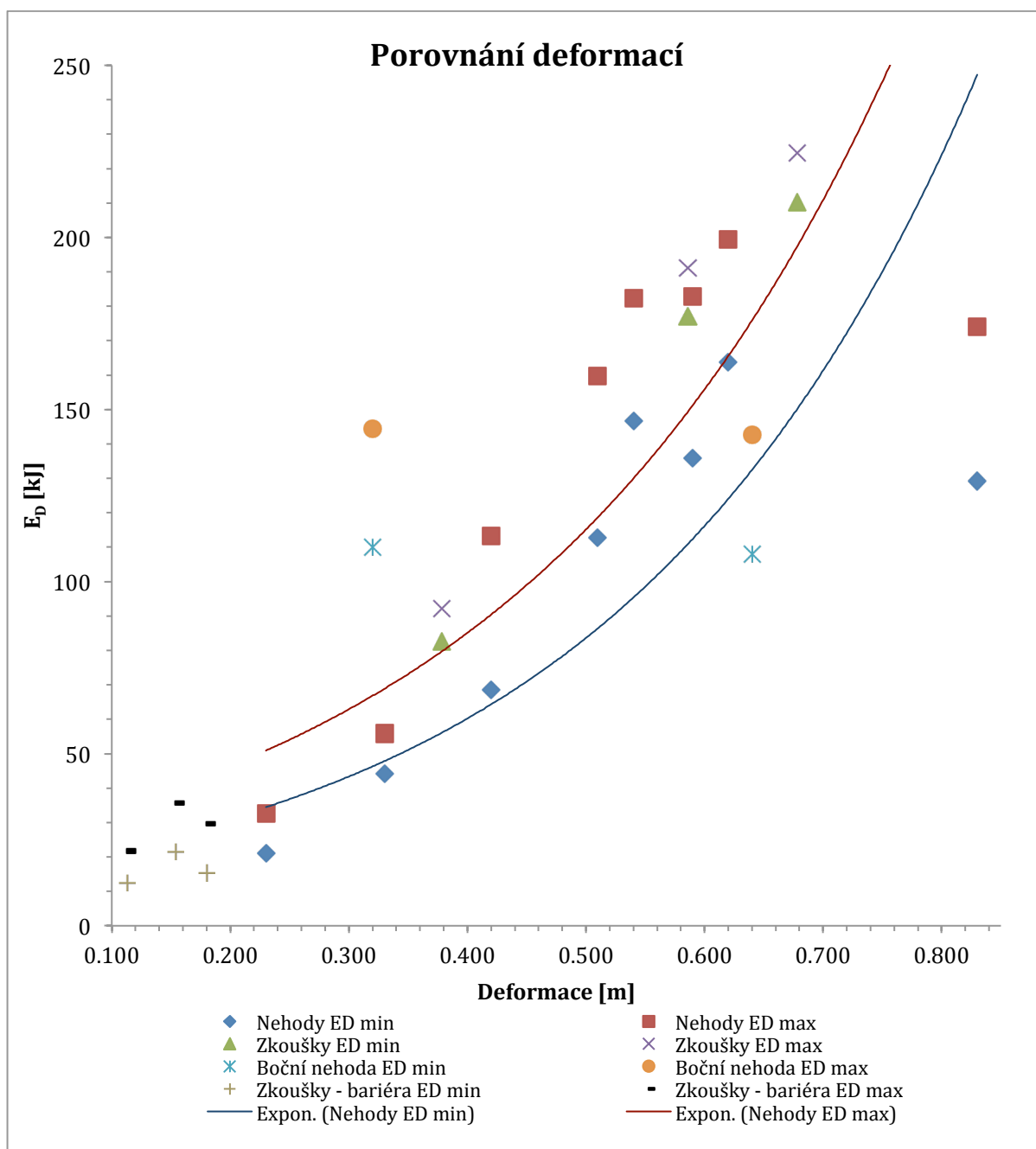
Na obrázku 48 lze vidět závislost EES na deformaci přední části vozidla. Výsledné proložení nehod z části ovlivňuje vozidlo Š105, jež dosahuje při EES kolem 60 km/h velké deformace, což je způsobeno absencí motoru a dalšího příslušenství a tím snížení tuhosti. Tento vliv je patrný i na dalším obrázku 49 s porovnáním deformace a deformační energie k tomu spotřebované, na kterém je patrné, že pro tak rozsáhlou deformaci nebylo potřeba tolik energie jako u ostatních vozidel. Dále na obrázku 48 lze vidět, že data vozidel z nárazových zkoušek leží v oblasti dat vozidel z nehod, což naznačuje, že pro vozidla nárazové zkoušky odpovídají skutečnosti, což je potvrzeno i na druhém obrázku 49 podle deformačních energií. Zde odpovídají i deformační energie deformovatelných bariér průběhu růstu hloubky deformace s rostoucí deformační energií. Pro ukázky byly do grafu zaneseny také minimální a maximální hodnoty EES a deformační energie v závislosti na hloubce deformace pro nehodu s bočním střetem.

Obrázky 48 a 49 jasně ukazují, jak je výsledek ovlivněn hodnotami EES a hloubky deformace. Právě v odečtu hodnoty hloubky deformace mohlo dojít k největšímu množství

chyb a nepřesností, jelikož častokrát chybí kvalitní fotodokumentace, z níž by bylo možné takový odečet provést.



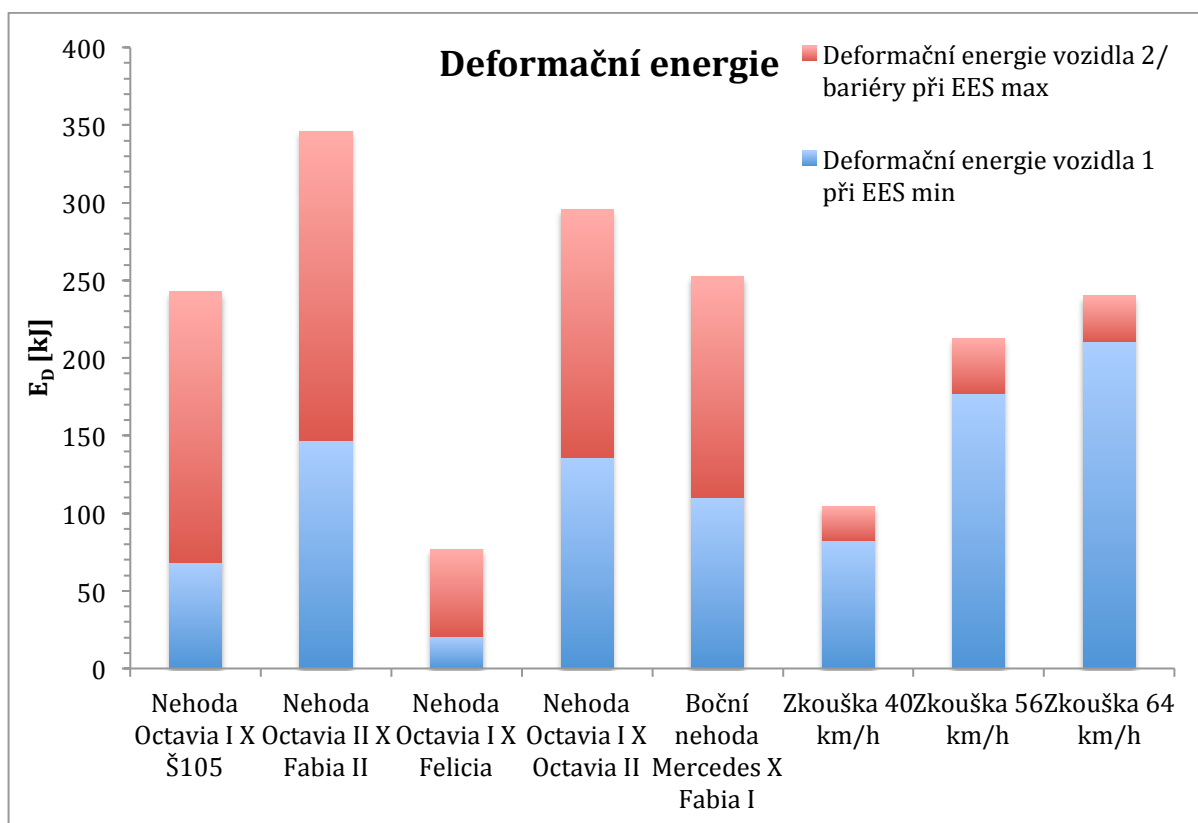
Obrázek 48 Porovnání deformací s EES



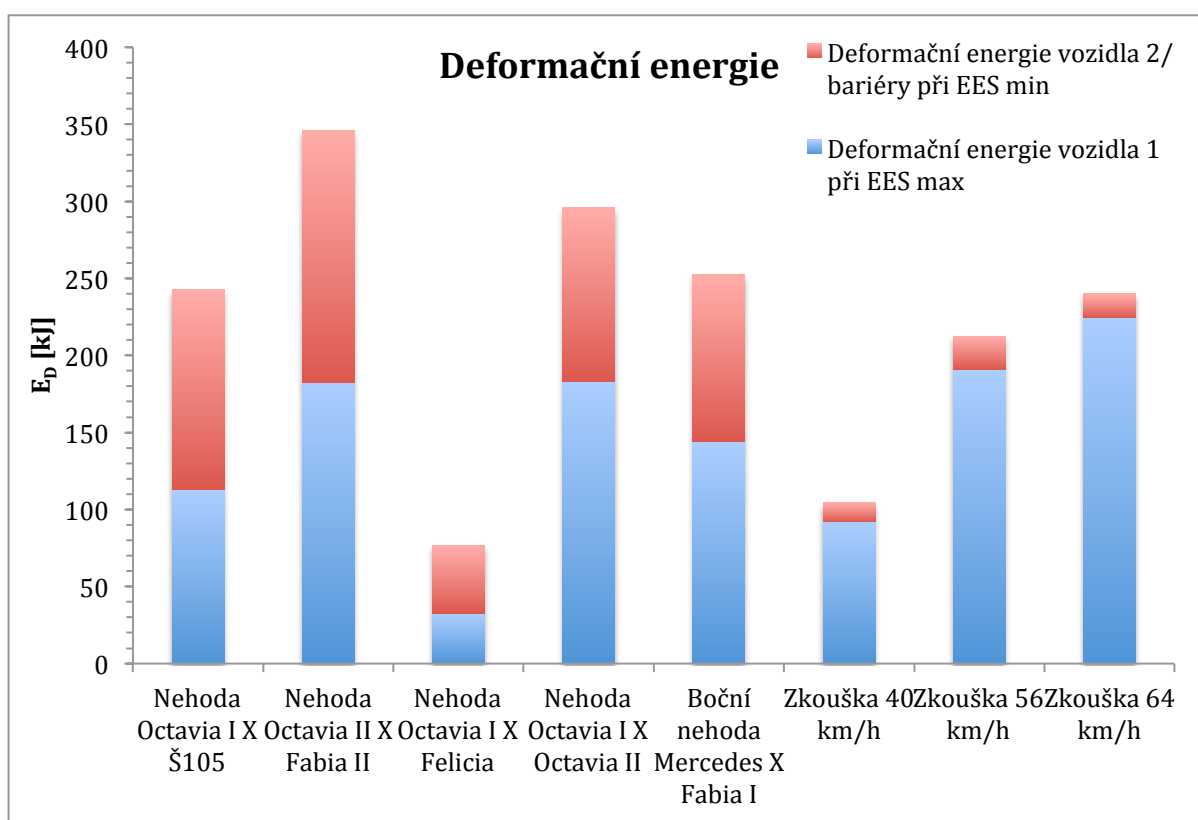
Obrázek 49 Porovnání deformací s deformačními energiemi

4.2.3 Porovnání deformačních energií spotřebovaných při nárazu

Rozdíl mezi minimální hodnotou EES a maximální hodnotou EES je vidět na obrázku 50 a 51. Tento rozdíl se projeví v množství spotřebované energie při deformaci, podle čehož se i následně změní hodnota tuhosti. Rozdíl EES 10 km/h u vozidla může způsobit rozdíl tuhosti až 500 kN/m. Dobře je tento jev vidět u bariér, kdy při stejné hodnotě deformace se minimum a maximum deformační energie výrazně projeví v hodnotě tuhosti.



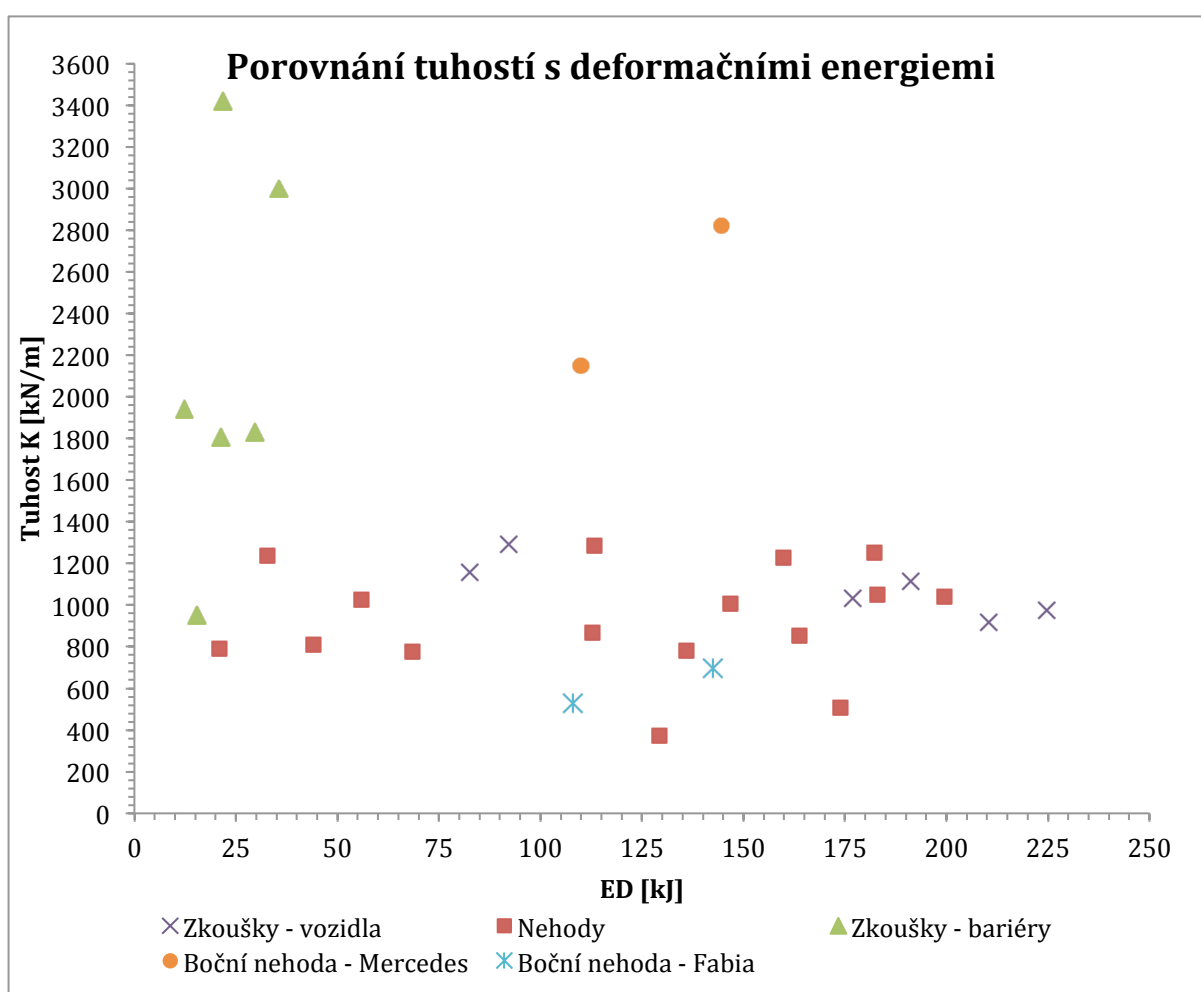
Obrázek 50 Porovnání deformačních energií – hodnoty vozidla 1 minimální, vozidla 2/bariéry maximální



Obrázek 51 Porovnání deformačních energií – hodnoty vozidla 1 maximální, vozidla 2/bariéry minimální

4.2.4 Porovnání tuhostí předních částí vozidel a tuhostí deformovatelných bariér

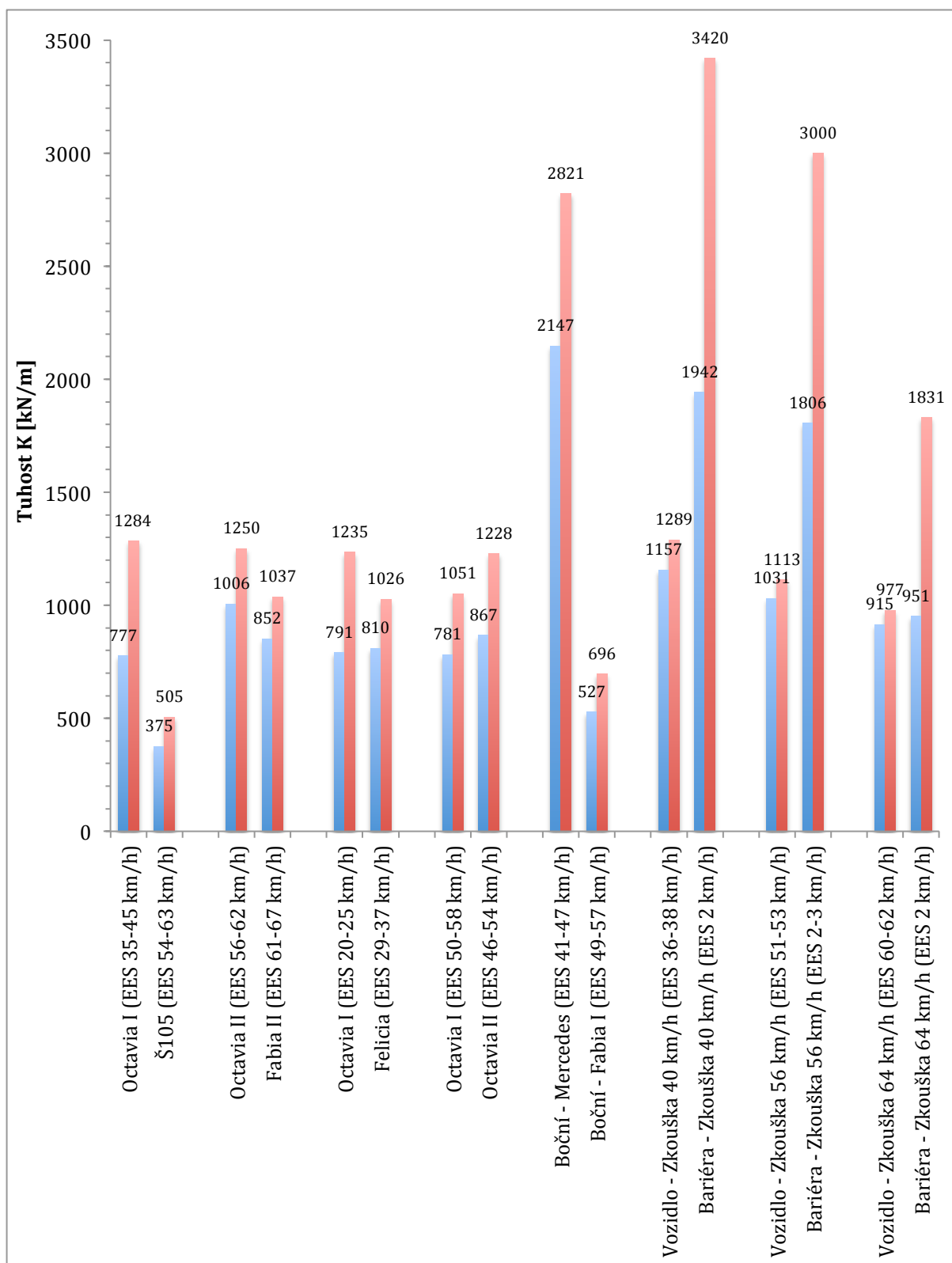
Jak je patrné na obrázku 52, tuhosti vozidel použitých při zkouškách jsou v oblasti tuhostí vozidel zkoumaných při nehodách. Tuhosti bariér jsou mnohonásobně vyšší, což je ovlivněno také tím, že při zkouškách dochází k nárazu vozidla do deformovatelné bariéry ukotvené na nedeformovatelném a nepohyblivém tělese a následně k nárazu do tohoto tělesa o celkové hmotnosti 70 000 kg. Vysokých hodnot tuhosti dosáhlo i vozidlo Mercedes při bočním střetu, které narazilo do boku vozidla Fabia I, která naopak dosáhla nízkých hodnot tuhosti, což je způsobeno právě nárazem do měkčí části vozidla. U čelních střetů je patrné, že tuhost má klesající tendenci s rostoucí deformační energií.



Obrázek 52 Porovnání tuhostí s deformačními energiemi

I na obrázku 53 lze vidět klesající tendenci tuhosti při rostoucích deformačních energiích a vyšších EES. Jediný protiklad k tomuto je u nehody vozidel Octavia I a Felicia, kdy Felicia při větších hodnotách EES a vyšších deformačních energiích dosahuje větší tuhosti než Octavia I, což je ale způsobeno charakterem nárazu přední části vozidla Felicia na levý přední roh vozidla Octavia I, tedy nedošlo k plnému využití deformačních zón, jak by tomu

bylo při čelním nárazu. U bariér jsou hodnoty EES malé právě díky jejich vysoké hmotnosti, a také je zde zřetelný rozdíl v tuhostech kvůli rozdílům v deformačních energiích. Pro názornost jsou uvedeny dílčí hodnoty pro každý zkoumaný objekt.



Obrázek 53 Porovnání tuhostí jednotlivých vozidel a bariér

4.2.5 Porovnání zranění

Jak lze vidět v tabulce 11, při podobných hodnotách EES u nehody bočního střetu vozidel Fabia I a Mercedes jsou následky pro osádku ve vozidle Fabia I mnohem horší než u nehody čelního střetu vozidel Octavia I a Octavia II, kdy Octavia II dosahuje podobných hodnot EES jako zmiňovaná Fabia I s pro řidiče pouze drobnými zraněními na rozdíl od smrtelných zranění řidiče Fabie I, což je způsobeno krátkou deformační dráhou boční strany vozidla oproti přední části vozidla, z čehož plyne, že je zvýšené riziko závažnějších poranění při bočních nárazech. K dalším smrtelným zraněním došlo též u nehody Š105 a Octavia I, kdy dva pasažéři ve Š105 podlehlí svým zraněním. U této nehody je třeba vzít v potaz konstrukci vozidla a vybavení bezpečnostními prvky, které se již nedá srovnat s dnešními moderními vozidly.

Tabulka 11 Porovnání zranění z nehod s EES

Vozidla	EES [km/h]	Řidič	Spolujezdec	Osoba na zadním sedadle za řidičem	Osoba na zadním sedadle za spolujezdcem
Octavia I	35-45	Nespecifikovaná zranění	-	-	-
Š105	54-63	Smrtelná zranění	-	Smrtelná zranění	Polytrauma
Octavia II	56-62	Těžká zranění	Drobná zranění a nespecifikované poranění hrudního koše	-	-
Fabia II	61-67	Drobná zranění	Těžká zranění	-	-
Octavia I	20-25	Drobná zranění	-	-	-
Felicia	29-37	Bez záznamu o zranění	-	-	-
Octavia I	50-58	Drobná zranění	Vážná zranění	-	-
Octavia II	46-54	Drobná zranění	-	-	-
Boční Mercedes	41-47	Drobná zranění	-	-	-
Boční Fabia I	49-57	Smrtelná zranění	Těžká zranění	-	-

5 ZÁVĚR

V této práci byly rozebrány nárazové zkoušky vozidla Octavia II do deformovatelné bariéry se 40% překrytím v rychlostech 40 km/h, 56 km/h a 64 km/h. Dále byly rozebrány čtyři nehody, které byly vybrány podle svého charakteru poškození a přibližovaly se nejvíce

charakteru poškození vozidel z nárazových zkoušek a pro porovnání tuhostí byla přidána také nehoda s bočním střetem.

Porovnáním jednotlivých zkoušek a nehod bylo zjištěno, že je velmi důležité přesně stanovit hodnotu EES a hloubku deformace x . I malé změny v řádech jednotek hodnoty EES [m/s] nebo v řádech setin hodnoty deformace [m] mění tuhost vozidla při nižších hodnotách EES o stovky kN/m a při vyšších hodnotách EES o desítky kN/m. Z tohoto vyplývá, jak je důležité zhotovit kvalitní fotodokumentaci z nehod, jelikož právě pořízení kvalitní fotodokumentace má největší vliv na analýzu dopravní nehody. Dalším důležitým faktorem je i uvažovaná hmotnost, kterou častokrát z pohledu znalce nelze přesně zjistit.

Ke kvalitnější analýze dané problematiky je tedy nutné, aby byla k dispozici kvalitní fotodokumentace obsahující údaje, v jakém měřítku jsou jednotlivé snímky a kde budou snímky kolmé na podélnou osu vozidla ze střední výšky vozidla zabírající celé vozidlo z levé a pravé strany, snímky s detailem deformace opět kolmé k podélné rovině osy vozidla a ze střední výšky vozidla, dále snímky kolmé na příčnou osu vozidla zobrazující deformaci ze střední výšky vozidla, a pokud podmínky dovolují, nejvhodnější snímek pro tuto analýzu zobrazující deformovanou část v půdorysovém zobrazení, tedy pohled shora. Dále podklady z nehod obsahující hmotnosti účastníků nehody a jejich zranění.

Výpočty hodnot pro bariéru jsou z většího hlediska ovlivněny hmotností bariéry, která je 70 000 kg a výše zmíněným nárazem vozidla do deformovatelné části bariéry i do nedeformovatelného tělesa, což může způsobovat mnohem vyšší výsledné tuhosti, než kterých dosahují vozidla zkoumaná z nehod i vlastních zkoušek. Na druhou stranu, ač bariéry neodpovídají tuhostí reálným vozidlům, zkoušeným vozidlům při zkouškách způsobují takové poškození, které odpovídá střetu dvou protijedoucích vozidel s podobným EES. Pro jednoznačnější výsledky by však bylo nutno vybrat větší vzorek zkoumaných vozidel a zkoušek.

Zkoušky EHK OSN č. 94 i Euro NCAP – čelní náraz počítají se 40% překrytím, ale z množství nehod, ze kterých byl vybírán reprezentativní vzorek ke zkoumání, kdy se ke 40% překrytí blížilo jen minimum. Je tedy otázka, zda by zkoušky měly být prováděny v současné podobě a za daných podmínek a parametrů, nebo uvažovat o úpravě některých podmínek těchto zkoušek, jako je například použití 20% překrytí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Global NCAP - Promoting Safer Cars in the UN Decade of Action* [online]. 2012 [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://www.globalncap.org/Pages/HomeMain.aspx>
- [2] Postop zajištění shodnosti výroby. In: *Postop zajištění shodnosti výroby* [online]. 2001 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/1D3C00DF-C99D-4E25-9EA9-F6B1D13BD697/0/id030501p11.rtf>
- [3] Předpis č. 94 Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN) – Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska ochrany cestujících při čelním nárazu. In: *Úřední věstník Evropské unie* [online]. 2010 [cit. 2013-01-20]. Dostupné z: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:130:0050:0100:CS:P> DF
- [4] Our tests. *Euro NCAP – For safer cars crash test safety rating* [online]. 2013 [cit. 2013-01-20]. Dostupné z: <http://www.euroncap.com/tests.aspx>
- [5] How Do Euro NCAP Results Correlate with Real-Life Injury Risks? A Paired Comparison Study of Car-to-Car Crashes. In: *Technical papers* [online]. 2002 [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: http://www.euroncap.com/files/TIP_paper_2002---ea163391-0c67-4ad8-ae24-a176e39352f8.pdf
- [6] EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) FRONTAL IMPACT TESTING PROTOCOL: Frontal Impact. Version 6.0. In: *Protocols* [online]. 2012 [cit. 2013-01-31]. Dostupné z: <http://www.euroncap.com/files/Euro-NCAP-Frontal-Protocol-Version-6.0---0-7981ae7b-44f3-4c12-adea-6a0a736ec180.pdf>
- [7] ZMEŠKAL, O., NOVOTNÝ, R. *Fyzika – sbírka příkladů, Mechanika*. 1. Brno: FCH VUT, 2007. 94 s. ISBN 978-80-214-3378-6
- [8] BRADÁČ, A. a kol. *Soudní inženýrství*. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, 1997. 719 str. ISBN 80-7204-057-X
- [9] SAJDL, J. *Kammova kružnice přilnavosti*. [online] 2013 [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/kammova-kruznice-prilnavosti>
- [10] MUSIL, J. a kol. *Kriminalistika*. Praha: Naše vojsko, 1990. 265 s. ISBN 28-061-90
- [11] Přenosné 3D skenery. *3d-skenovani.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.3d-skenovani.cz/prenosne-3d-skenery>
- [12] BÖHM, Jozef. *Fotogrammetrie*. [online]. 2002 [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://igdm.vsb.cz/igdm/materialy/Fotogrammetrie.pdf>

- [13] ZELINKA A.: *Zajišťování stop na vozovce při nehodách vozidel vybavených ABS*, Odborná konference doktorského studia s mezinárodní účastí, Brno 2003.
- [14] VIČÍK, P. *Analýza dopravních nehod*. Brno: Vysoké učení technique v Brně, Facula strojního inženýrství, 2011. 60 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Marián Laurinec.
- [15] NOVOTNÝ, Václav. *Analýza dokumentace skutečných poškození vozidel při dopravních nehodách*: diplomová práce. Brno, 2010. Vysoké učení technické v Brně. Ústav soudního inženýrství. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
- [16] Katalog Octavia. *Ke stažení* [online]. 2012 [cit. 2013-01-16]. Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz/sitecollectiondocuments/skoda-auto/ke-stazeni/octavia-katalog.pdf>
- [17] Komise pracuje na strategii pro snížení počtu těžkých zranění v silniční dopravě – časté dotazy. *EUROPA - PRESS RELEASES* [online]. 2013, MEMO/13/232 [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-13-232_cs.htm
- [18] MATĚJKA M. *Návrh koncepce osobního automobilu s nekonvenčními prvky pasivní bezpečnosti*, Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta, 2012. 56 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Milan Graja, CSc.
- [19] Definice oboru. In: *Biomech.ftvs.cuni.cz* [online]. 2012 [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpbk/kompendium/biomechanika/zaklady_definice.php
- [20] VOSTREJŽ, J. *Vliv moderních prvků pasivní bezpečnosti na ochranu posádky vozidla*. Brno: Vysoké učení technique v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2012. 95 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Bc. Marek Semela, Ph. D.
- [21] VLK, František. *Karoserie motorových vozidel: ergonomika, biomechanika, struktura, pasivní bezpečnost, kolize, materiály*. 1. vydání. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2000. ISBN 80-238-5277-9
- [22] SCHWARZ, Jiří. *Automobily Škoda Octavia II*. 2. vydání. Praha: Grada Publishing, 2010. ISBN 978-80-247-2962-6
- [23] Archiv Ing. Bc. Marka Semely, Ph.D.
- [24] KASANICKÝ, G., KOHÚT, P, LUKÁŠIK, M., *Teória pohybu a rázu při analýze a simulácii nehodového deja*. Žilina : Žilinská univerzita v Žilině, 2001. 349 s. ISBN 80-7100-597-5
- [25] COUFAL T., VÉMOLA A.: *Mechanika čelního nárazu vozidla*, Sborník příspěvků na mezinárodní vědecké konference soudního inženýrství, Brno 2011
- [26] SEMELA, M., *Analýza dopravních nehod II*, Vysoké učení technique v Brně, Ústav soudního inženýrství, Brno 2012, první vydání, 83 s. ISBN 978-80-214-4560-4

- [27] COUFAL T., VÉMOLA A.: *Zpomalení působící na posádku vozidla při čelním nárazu*, Sborník příspěvků na mezinárodní vědecké konference soudního inženýrství, Brno 2011
- [28] SEMELA, M., *Analýza dopravních nehod I*, Vysoké učení technique v Brně, Ústav soudního inženýrství, Brno 2012, první vydání, 83 s. ISBN 978-80-214-4559-8
- [29] DIBELKA, J. *Analýza dopravních nehod – Softwarové simulace*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, 2012. 62s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.
- [30] Archiv Škoda AUTO a.s.
- [31] Skoda Octavia. *Euro NCAP – For safer cars crash test safety rating* [online]. 2004 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www.euroncap.com/tests/skoda_octavia_2004/206.aspx
- [32] ANDRT, Jaroslav. *Údržba a opravy automobilů Škoda 105 S, 105 L, 105 GL, 120, 120 L, 120 LS, 120 GLS*. Praha: Nakladatelství technické literatury, n.p., 1994. ISBN 80-901975-3-1
- [33] JALOWIECKY, Jerzy. *Škoda 105/120/125/130*. Vydání druhé. Brno: Computer Press, 2000. 272 s. ISBN 80-7226-747-7
- [34] CEDRYCH, Mario René. *Automobily Škoda Felicia*. Třetí vydání. Praha: Grada Publishing, 1998. 528 s. ISBN 80-7169-718-4
- [35] CEDRYCH, Mario René, SCHWARZ, Jiří. *Automobily Škoda Fabia*. Čtvrté vydání. Praha: Grada Publishing, 2006. 354 s. ISBN 80-247-1664-X
- [36] SCHWARZ, Jiří. *Automobily Škoda Fabia II*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2008. 352 s. ISBN 978-80-247-2155-2
- [37] PLŠEK, Bořivoj. *Škoda Octavia*. 3. vydání. Brno: Computer Press, 2010. 224 s. ISBN 978-80-251-3123-7

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

EHK	Evropská hospodářská komise
OSN	Organizace spojených národů
m [kg]	hmotnost,
t [s]	čas,
a [m/s^2]	zrychlení popř. zpomalení,
g [m/s^2]	gravitační zrychlení,
s [m]	dráha,
R_v [m]	rozvor vozidla,
L [m]	délka vozidla,
v [m/s]	rychlost,
φ [rad]	směr,
$\Delta\varphi$ [rad]	úhel natočení,
J [$kg \cdot m^2$]	moment setrvačnosti,
ω [rad/s]	úhlová rychlost,
F [N]	síla,
E_K [J]	kinetická energie,
k [-]	součinitel restituce,
c [1/s]	konstanta tuhosti,
K [N/m]	tuhost,
EES [m/s]	ekvivalentní energetická rychlost,
E_D [J]	deformační energie,
x [m]	hloubka deformace,
μ [-]	součinitel adheze.
GEV [-]	kontrolní parametr rázu,
HIC	biomechanické kritérium hlavy,
NIC	kritéria poranění krku,
ThCC	kritérium stlačení hrudníku,
V^*C	kritérium měkkých tkání,
FFC	kritérium síly působící na stehenní kost,
TCFC	kritéria tlakové síly působící na holenní kost,
TI	index holenní kosti,
DRHI	Diagram rovnováhy hybností a impulsů,
MDRHI	Modifikovaný diagram rovnováhy hybností a impulsů.

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obrázek 1 Rozměry deformovatelné bariéry [3]
- Obrázek 2 Ochrana posádky [4]
- Obrázek 3 Čelní náraz do deformovatelné bariéry [4]
- Obrázek 4 Tíhová síla a radiální reakce [8]
- Obrázek 5 Kammova třecí kružnice [9]
- Obrázek 6 Parametry poškození vnějších částí vozidla [15, 16]
- Obrázek 7 Parametry poškození interiéru vozidla [15, 16]
- Obrázek 8 Kritérium namáhání krku v tahu [3]
- Obrázek 9 Kritérium namáhání krku ve smyku [3]
- Obrázek 10 Kritérium síly působící na stehenní kost [3]
- Obrázek 11 Struktura plechů [22]
- Obrázek 12 Deformovatelný nárazník [22]
- Obrázek 13 Průběh brzdění vozidla na rovině v přímé jízdě [8]
- Obrázek 14 Závislost deformační síly na deformaci – černá skutečná a červená idealizovaná [27]
- Obrázek 15 Korespondence poškození [23]
- Obrázek 16 Střetová poloha vozidel [23]
- Obrázek 17 Metoda DRHI [8]
- Obrázek 18 Metoda MDRHI [26]
- Obrázek 19 Metoda rhomboidního řezu - část 1. [8]
- Obrázek 20 Metoda rhomboidního řezu - část 2. [8]
- Obrázek 21 Metoda energetického prstence [8]
- Obrázek 22 Poškození vozidla zepředu [30]
- Obrázek 23 Poškození vozidla a bariéry shora [30]
- Obrázek 24 Poškození bariéry zepředu [30]
- Obrázek 25 Poškození vozidla zepředu [30]
- Obrázek 26 Poškození vozidla levý bok [30]
- Obrázek 27 Poškození bariéry shora [30]
- Obrázek 28 Poškození vozidla zepředu [30]
- Obrázek 29 Poškození vozidla a bariéry shora [30]
- Obrázek 30 Ochrana dospělé posádky při zkoušce Euro NCAP [31]
- Obrázek 31 Střetová poloha vozidel Octavia I (zelená) a Š105 (modrá)

Obrázek 32 Poškození vozidla Octavia I zepředu [23]

Obrázek 33 Poškození vozidla Š105 zepředu [23]

Obrázek 34 Střetová poloha vozidel Fabia II (červená) a Octavia II (černá)

Obrázek 35 Poškození vozidla Fabia II shora [23]

Obrázek 36 Poškození vozidla Octavia II zepředu[23]

Obrázek 37 Střetová poloha vozidel Octavia I (modrá) a Felicia (červená)

Obrázek 38 Poškození vozidla Octavia I seshora [30]

Obrázek 39 Poškození vozidla Felicia zepředu [30]

Obrázek 40 Střetová poloha vozidel Octavia I (zelená) a Octavia II (modrá)

Obrázek 41 Poškození vozidla Octavia I zepředu[30]

Obrázek 42 Poškození vozidla Octavia II seshora[30]

Obrázek 43 Střetová poloha vozidel Mercedes (černá) a Fabia I (červená)

Obrázek 44 Detail střetové polohy vozidel Mercedes (černá) a Fabia I (červená)

Obrázek 45 Poškození vozidla Mercedes zboku [23]

Obrázek 46 Poškození vozidla Fabia I zboku [23]

Obrázek 47 Kinetické energie vozidel před střetem

Obrázek 48 Porovnání deformací s EES

Obrázek 49 Porovnání deformací s deformačními energiemi

Obrázek 50 Porovnání deformačních energií – hodnoty vozidla 1 minimální, vozidla 2/bariéry maximální

Obrázek 51 Porovnání deformačních energií – hodnoty vozidla 1 maximální, vozidla 2/bariéry minimální

Obrázek 52 Porovnání tuhostí s deformačními energiemi

Obrázek 53 Porovnání tuhostí jednotlivých vozidel a bariér

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Specifikace jednotlivých částí deformovatelné bariéry [3]

Tabulka 2 Hodnoty koeficientu restituce zjištěné při praktických zkouškách [25]

Tabulka 3 Hodnoty pro čelní náraz ve 40km/h se 40% překrytí

Tabulka 4 Hodnoty pro homologační zkoušku EHK OSN č. 94

Tabulka 5 Hodnoty pro čelní náraz nárazové zkoušky Euro NCAP

Tabulka 6 Hodnoty pro nehodu vozidel Octavia I a Š105

Tabulka 7 Hodnoty pro nehodu vozidle Octavia II a Fabia II

Tabulka 8 Hodnoty pro nehodu vozidel Octavia I a Felicia

Tabulka 9 Hodnoty pro nehodu vozidel Octavia I a Octavia II

Tabulka 10 Hodnoty pro nehodu vozidel Mercedes a Fabia I

Tabulka 11 Porovnání zranění z nehod s EES

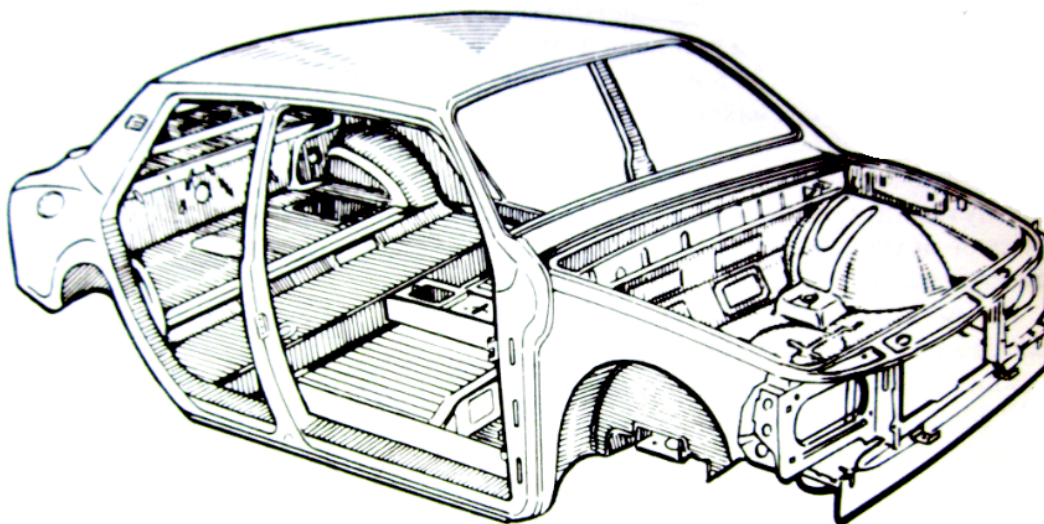
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Deformační zóny typů vozidel Škoda k vybraným nehodám

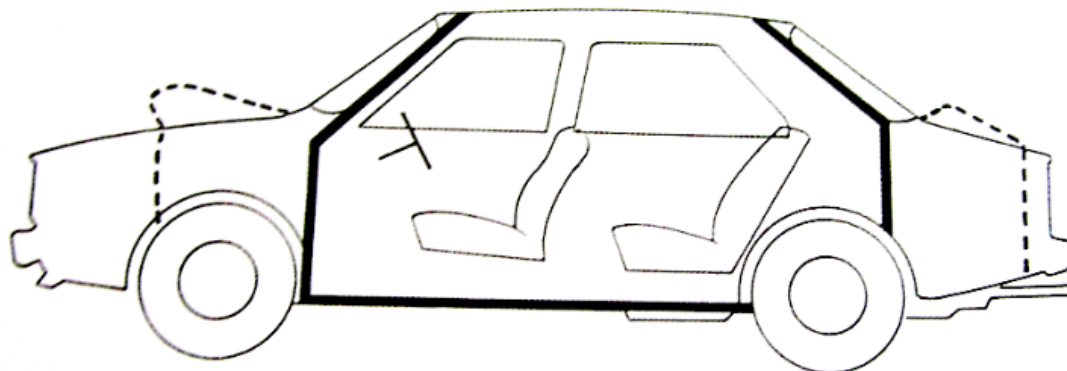
DEFORMAČNÍ ZÓNY TYPŮ VOZIDEL ŠKODA K VYBRANÝM NEHODÁM

Škoda 105

Karoserie vozidla Škoda 105 je řešena jako samostatný skelet. Výlisky karoserie jsou vyrobeny z ocelového karosářského plechu. Nosná část karoserie na obrázku 1 je svářená z třech hlavních kompletů – přední, střední a zadní části. Nárazníky jsou výlisky z ocelového plechu, pochromované. Dveře rámečkové konstrukce jsou svářené z dvou částí – dolní je z dvou plechových výlisků, na obvodě obroubený. Horní část je z válcovaného profilu. Přední a zadní část karoserie je vyrobena z plechů vybrané tloušťky, aby při nárazu dobře pohlcovaly velké množství energie a část karoserie obklopující posádku je vyrobena z tužších částí, viz obrázek 2. [32, 33]



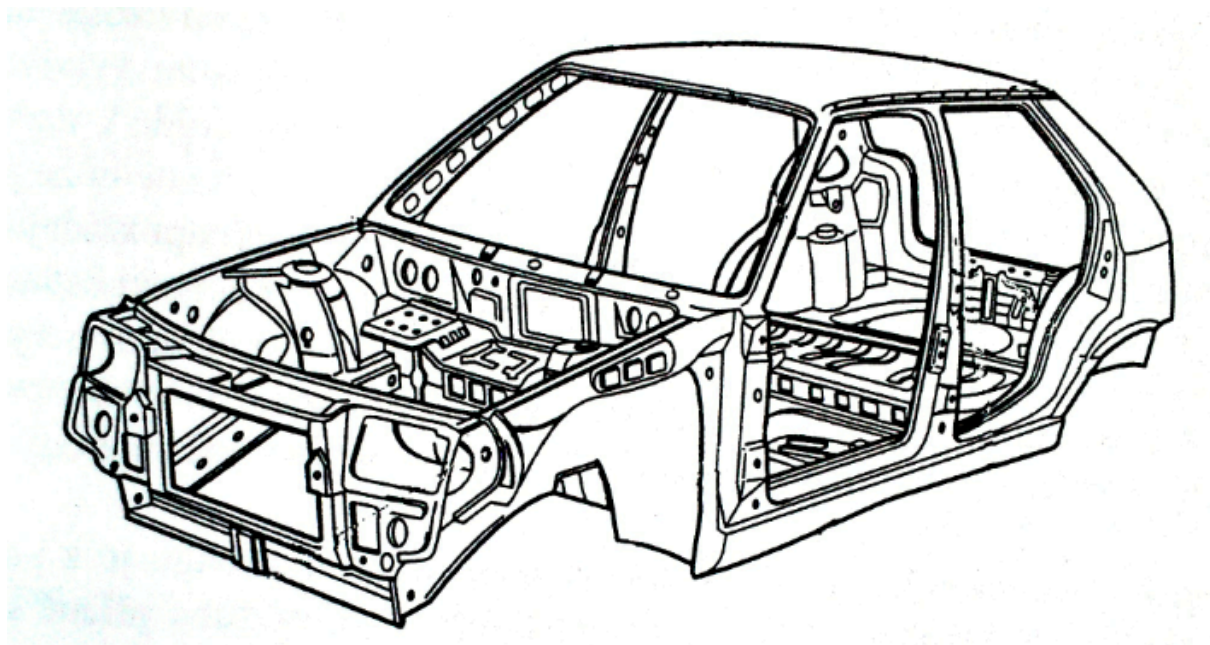
Obrázek 1 Nosná část karoserie vozidla Škoda 105 [32]



Obrázek 2 Zdeformování karoserie vozidla Škoda 105 po nárazu [33]

Škoda Felicia

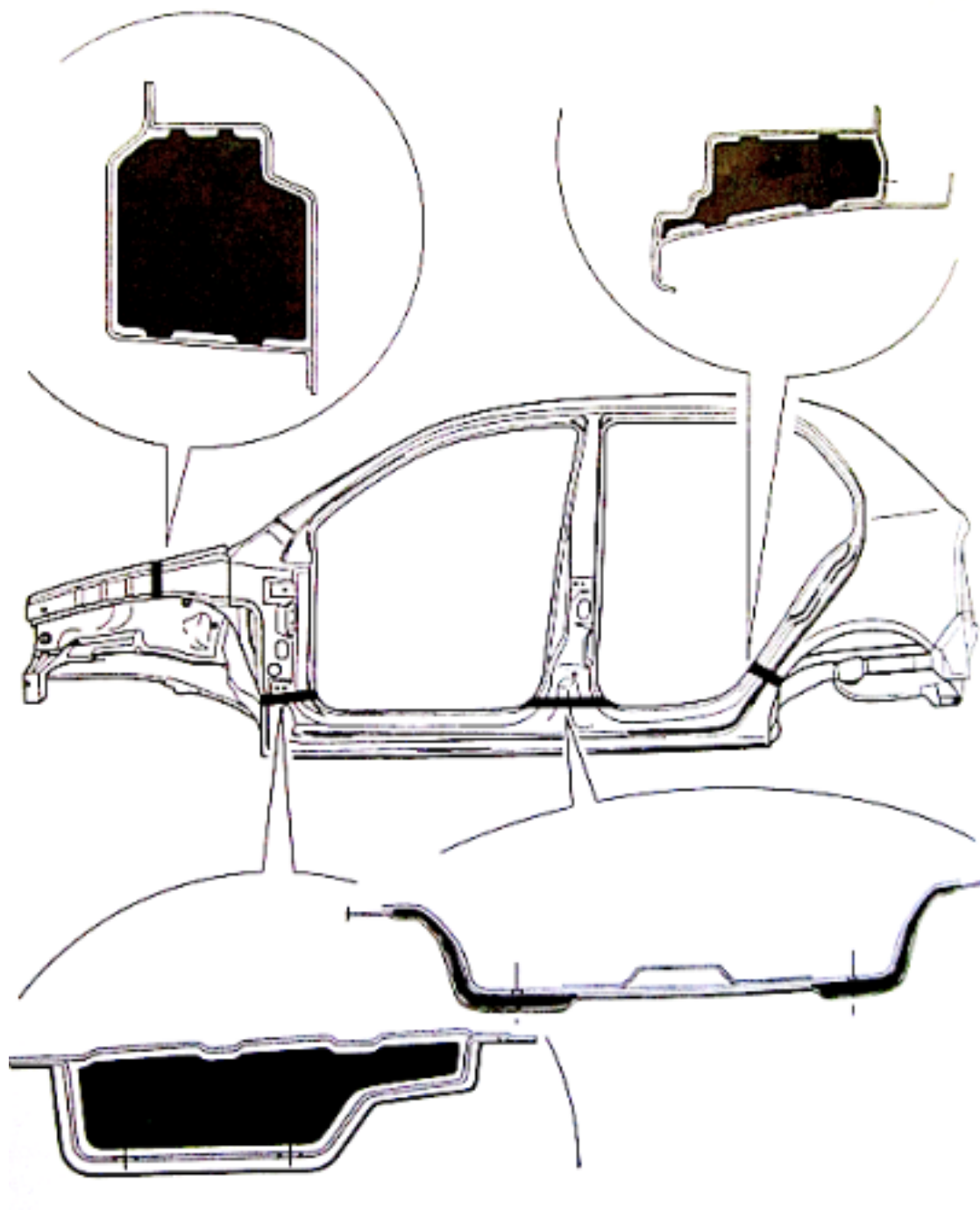
Skelet karoserie vozidla Felicia viz obrázek 3 je svařen z profilovaných plechových výlisků. Prostor pro posádku je tvořen tužší částí. Ve stěžejních pevnostních partiích jsou duté profily zdvojeny. [34]



Obrázek 3 Skelet karoserie vozidla Felicia [34]

Škoda Fabia I

Nosnou část karoserie vozidla Fabia I tvoří profilované výlisky. Část dutin uzavřených nosných profilů jsou naplněny vypěněnou hmotou, která profil vyztužuje, má protihlukové vlastnosti a zároveň zabraňuje korozi zevnitř, viz obrázek 4. Prostor pro posádku je řešen jako velmi tuhá kostra ze svářených dutých profilů, které jsou ve stěžejních pevnostních partiích zdvojeny. Tuto kostru tvoří součástky programovatelně deformovatelné v zóně předělu a zádě. To zajišťuje co největší absorbování energie nárazu. Deformovatelné součásti skeletu umístěné v přední partii vozidla podélně nad předními koly a dále jako příčka nesoucí konzolu volantu pod čelním sklem uvnitř přístrojové desky jsou vrubované, aby se v případě nárazu bortily postupně a tím předávaly kinetickou energii nárazu tuhému prvku skeletu postupně. K ochraně při bočním nárazu slouží zdvojené trubkové výztuhy ve všech bočních dveřích. [35]

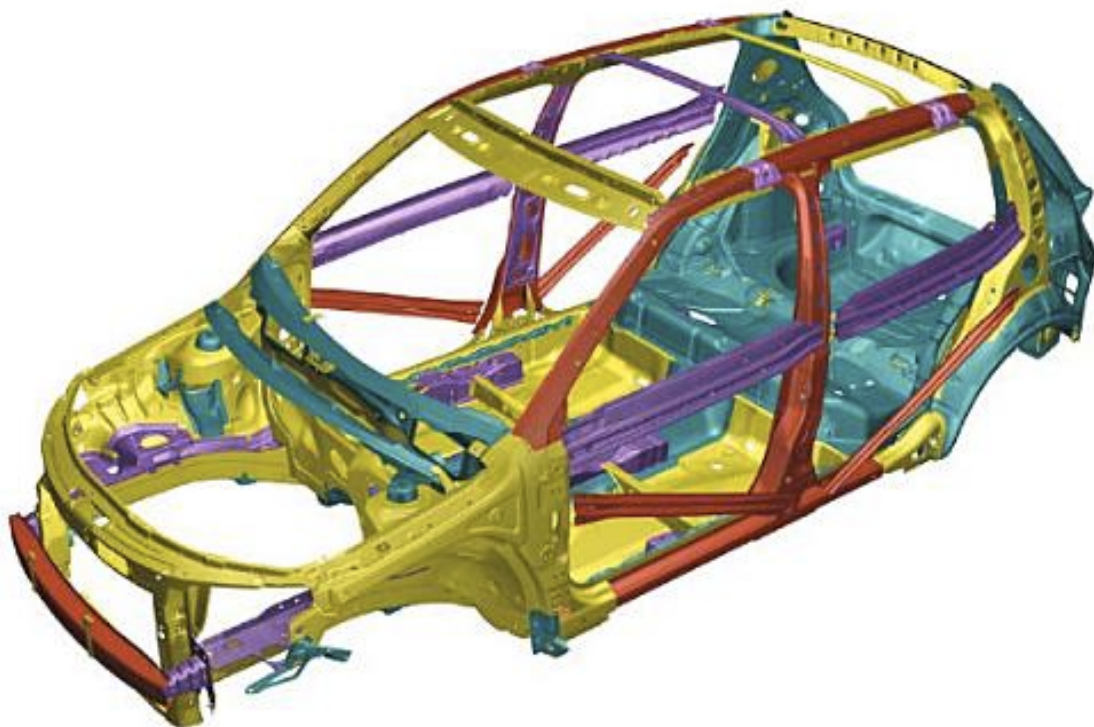


Obrázek 4 Nosné profily skeletu naplněné vypěněnou hmotou vozidla Fabia I [35]

Škoda Fabia II

U vozidla Škoda Fabia II je prostor pro posádku řešen jako velmi tuhá kostra, kterou tvoří deformovatelné zóny předě i zádě, jež absorbují největší část energie nárazu. Tato kostra je ze svařených dutých profilů zdvojených ve stěžejních pevnostních částech. Při konstrukci karoserie byla použita moderní vysokopevnostní ocel. Rozdělení druhů pevnostních plechů je znázorněno na obrázku 5, kdy žlutozelenou barvou jsou vyznačeny standardní pevnostní plechy s pevností v tlaku 180 – 300 MPa, fialovou barvou vysokopevnostní plechy s pevností

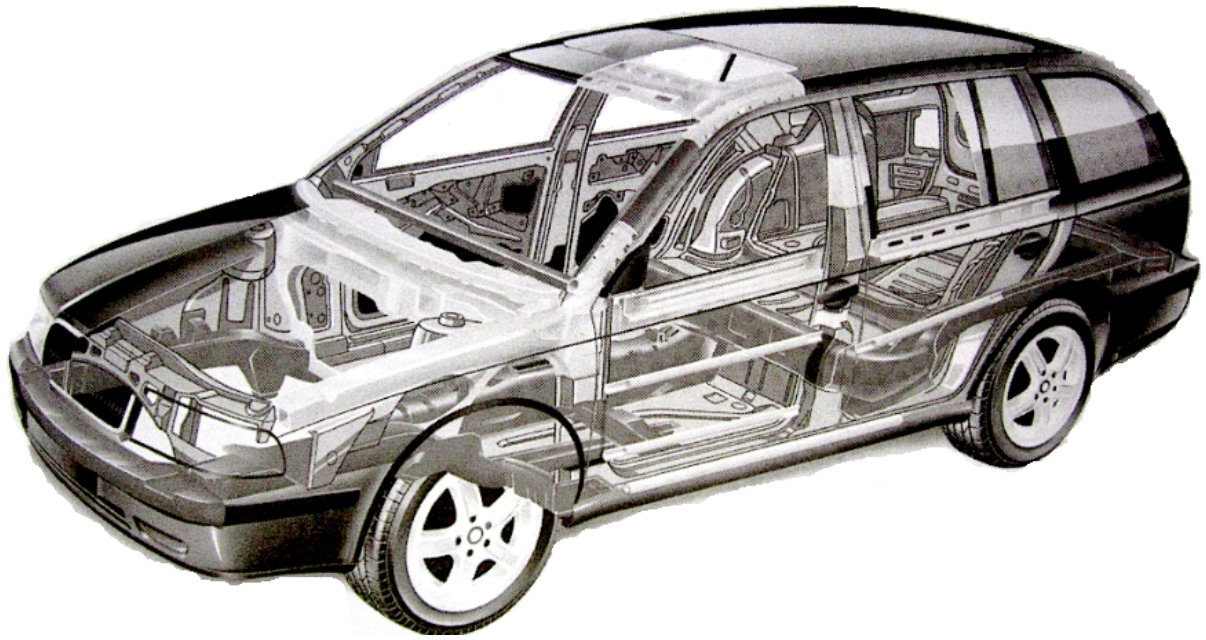
300 – 500 MPa, hnědočervenou barvou ultrapevnostní plechy s pevností 50 – 1400 MPa a zelenomodrou barvou běžné hlubokotažné plechy s pevností tlaku do 180 MPa. Na boční části vozidla jsou cíleně používány tepelně zušlechťené plechy, jež poskytují vysokou míru bezpečnosti cestujícím. [36]



Obrázek 5 Struktura karoserie vozidla Fabia II [36]

Škoda Octavia I

Zvýšení bezpečnosti posádky vozu je dosaženo zesílením součástí skeletu tím, že v přední partii je zesílení svarů předního podélníku, zesílení svarů nápravnice a zvětšení držáku nápravnice. Dále je toho dosaženo zesílením středního sloupku karoserie, což zvyšuje odolnost proti bočnímu nárazu a zesílením rohů karoserie přidáním výztuh. Na obrázku 6 je zobrazena karoserie vozidla Octavia I, kde světle zobrazené části jsou vyrobeny ze speciální vysokopevnostní oceli. [37]



Obrázek 6 Karoserie vozidla Octavia I [37]