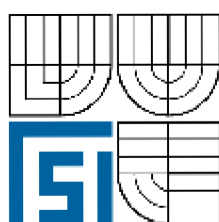


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## OCHRANA CHODCŮ A BEZPEČNOST CESTUJÍCÍCH VE VOZIDLE

PEDESTRIANS PROTECTION AND CAR PASSENGERS SAFETY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JAN ŠVANCARA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. PAVEL RAMÍK

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Akademický rok: 2008/2009

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Švancara

který/která studuje v bakalářském studijním programu

obor: Strojní inženýrství (2301R016)

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 bakalářské práce:

### **Ochrana chodců a bezpečnost cestujících ve vozidle**

v anglickém jazyce:

### **Pedestrians Protection and Car Passengers Safety**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náplní práce je zpracovat přehled technických opatření sloužících k ochraně chodců při srážce s vozidlem a ochraně cestujících v interiéru vozidla, včetně souvisejících simulací, zkoušek a metod jejich hodnocení.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je ukázat a shrnout současná technická řešení pro ochranu chodců i ochranu cestujících ve vozidle, zejména

- prováděné zkoušky, předepsané podmínky a postup zkoušení
- způsobů hodnocení výsledků zkoušek, příklady získaných výsledků
- souvislost těchto zkoušek s počítačovými simulacemi
- konstrukční opatření ke zvýšení aktivní a pasívní bezpečnosti cestujících ve vozidle
- opatření ke zvýšení bezpečnosti chodců
- příklady získaných výsledků, směry dalšího vývoje v budoucnu, připravovaná technická řešení

Seznam odborné literatury:

- [1] Euro NCAP Online Documentation [online], 2009, poslední revize 16.10.2008. Dostupné z: <<http://www.euroncap.com>>
- [2] VLK, F. Karosérie motorových vozidel. Nakladatelství a vydavatelství Vlk, Brno, 2000
- [3] Bezpečnost pro všechny [online], 2008, poslední revize 12.10.2008. Dostupné z: <<http://www.bezpecnostprovsechny.cz/index.php?p=500>>
- [4] TRW Passive safety web page [online], 2008, poslední revize 14.10.2008. Dostupné z: <<http://www.trw.com>>

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Ramík

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 20.11.2008

L.S.

---

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **Anotace**

Tato bakalářská práce se zabývá ochranou chodců a bezpečností cestujících ve vozidlech. Popisuje jednotlivé prvky ochrany a zabývá se testy, které mají ověřit úroveň poskytované ochrany. Dává příklady budoucího směru vývoje technologií pro zlepšení ochrany chodců a cestujících ve vozidlech.

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the protection of pedestrian and passenger safety in vehicles. It describes the different elements of protection and deals with tests to verify the level of protection. It gives examples of the future direction of development of technologies to improve the protection of pedestrians and passengers in vehicles.

## **Klíčová slova**

Bariérové zkoušky vozidel, pasivní a aktivní bezpečnost, Crash test, Euro NCAP, čelní náraz, boční náraz, boční náraz na sloup, střet auta s chodcem, airbag, aktivní kapota, impaktor.

## **Key words**

Barrier test vehicles, passive and active safety, Crash test, Euro NCAP, frontal impact, car to car side impact, pole side impact, pedestrian with car impact, active hood, impactor.

## **Poděkování**

Za rady, pomoc a cenné připomínky při zpracování bakalářské práce tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Pavlu Ramíkovi. Dále chci poděkovat své rodině za trpělivost a podporu při studiu na vysoké škole.

### **Bibliografická citace VŠKP dle ČSN ISO 690**

ŠVANCARA, J. *Ochrana chodců a bezpečnost cestujících ve vozidle*.  
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 37 s.  
Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Ramík.

## **Prohlášení o původnosti práce**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval zcela samostatně a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu a jiné podklady.

V Brně 18.5.2009

.....  
podpis

Obsah	Strana
1. Úvod.....	8
2. Ochrana chodců .....	8
2.1 Bezpečnost vozidla a ochrana chodců .....	8
2.2 Prováděné zkoušky .....	8
2.3 Impaktory hlavy a dolní končetiny.....	9
2.4 Popis a podmínky zkoušek prováděných pomocí impaktorů.....	11
2.5 Způsob vyhodnocení zkoušky.....	12
2.6 Souvislost zkoušek s počítačovými simulacemi.....	14
2.7 Opatření ke zvýšení bezpečnosti chodců.....	14
2.7.1 Aktivní kapota a spoiler.....	15
2.7.2 Vnější airbagy.....	17
2.7.3 Pre-crash sensing.....	18
2.7.4 Noční vidění.....	19
3. Bezpečnost cestujících ve vozidle.....	20
3.1 Rozdělení bezpečnosti.....	20
3.2 Aktivní bezpečnost.....	21
3.3 Pasivní bezpečnost.....	22
3.3.1 Karoserie.....	22
3.3.2 Konstrukční opatření ke zvýšení bezpečnosti u karoserie AUDI.....	23
3.3.3 Bezpečnostní sloupek volantu.....	24
3.3.4 Zadržné systémy.....	25
3.3.5 Airbagy.....	26
3.4 Crash testy EURO NCAP.....	27
3.4.1 Čelní náraz.....	28
3.4.2 Boční náraz.....	29
3.4.3 Boční náraz na kůl (Pole side impact).....	30
3.4.4 Whiplash .....	32
3.4.5 Ochrana dětí.....	32
3.5 Souvislost s počítačovými simulacemi.....	33
4. Závěr.....	34
Zdroje.....	35
Seznam použitých zkratk.....	36

## 1. Úvod

Automobil by nás měl dovést na místo určení nejen spolehlivě, ale i bezpečně. Bezpečnost automobilu je tedy jedním z hlavních kritérií při koupi nového vozu a to se také odráží ve snaze výrobců své bezpečnostní systémy inovovat a investice jednotlivých výrobců či koncernů tomu odpovídají. Například automobilka Renault ročně vynaloží 100 miliónů eur na vývoj v oblasti bezpečnosti.

Pro objektivní a opakovatelné posouzení bezpečnosti byly založeny nezávislé testovací laboratoře, jako je např. Euro NCAP, německý ADAC, australský ANCAP a další. Metodika zkoušení se více či méně liší u jednotlivých laboratoří, cíl je ale zřejmý: dát zákazníkovi jasné měřítko mezi vozy jednotlivých tříd v oblasti bezpečnosti.

## 2. Ochrana chodců

### 2.1 Bezpečnost vozidla a ochrana chodců

Bezpečnost vozidla dělíme na aktivní a pasivní. Donedávna se automobilky zaměřovaly zejména na ochranu posádky a stranou zůstávali jiní a více zranitelní účastníci silničního provozu. Mám na mysli například chodce, motocyklisty, cyklisty a podobně. Je zřejmé, že pokud chceme zvýšit bezpečnost chodce, musíme se vydat cestou ochrany chodců pomocí prvků aktivní či pasivní bezpečnosti automobilu.

### 2.2 Prováděné zkoušky

Při testu dle Euro NCAP se provádí zkouška střetu vozidla s chodcem při rychlosti 40 km/h. Při testu se používají tzv. impaktory, což jsou, zjednodušeně řečeno, modely jednotlivých částí těla, které bývají vystaveny střetu s vozidlem. Podle nejnovější metodiky (dříve se prováděl test nárazu hlavy dítěte, impaktor o hmotnosti 2,5 kg) se provádí testy nárazu hlavy dospělého člověka (impaktor o hmotnosti 4,8 kg), a testy rizika poranění dolních končetin.



Obr. 1 Ukázka výsledku testu srážky automobilu s chodcem [1]



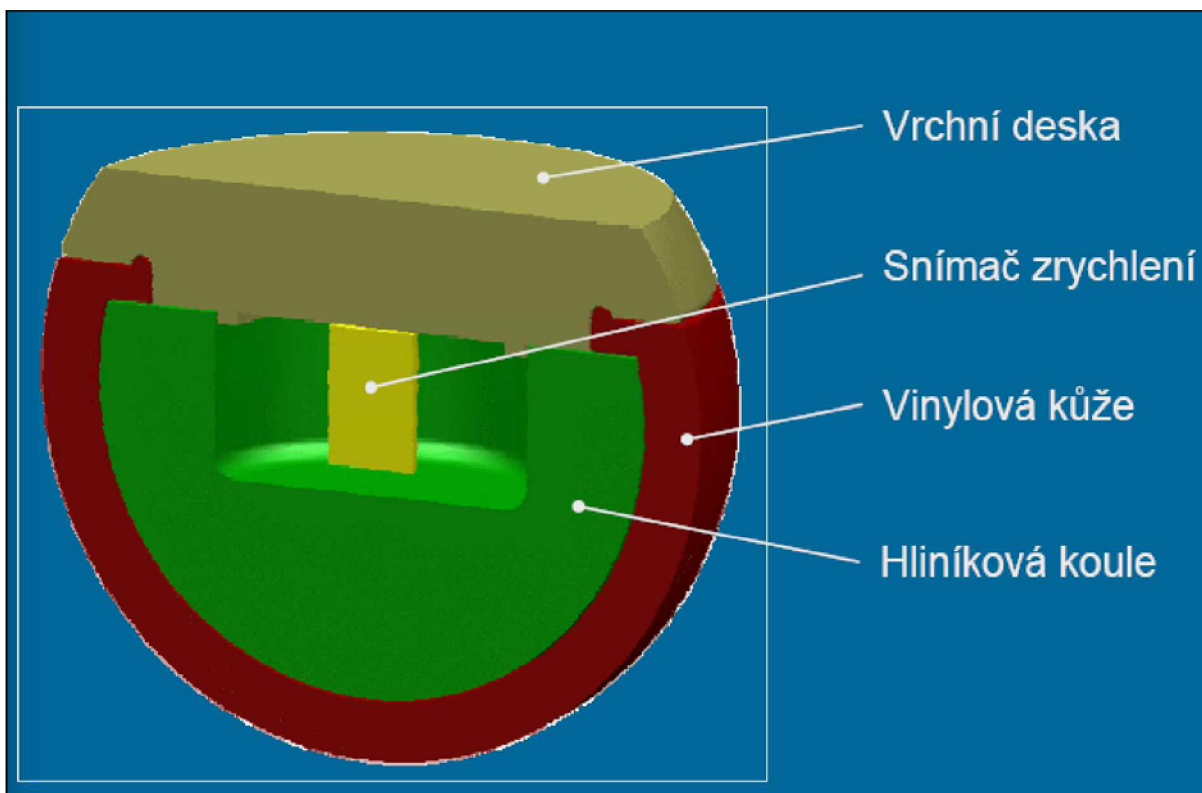
## 2.3 Impaktory hlavy a dolní končetiny

Jak bylo uvedeno, impaktory jsou testovací zařízení která simulují část těla. Impaktor hlavy (Obr. 2) je vlastně hliníková koule, ve které je ukryt snímač zrychlení a je pokryt vinylovou kůží, uvnitř je umístěn třiosý (nebo tři jednoosé) snímač zrychlení.

Rozměry a vlastnosti (tab. 1) jsou dle normy EEVC WG17.

Impaktor dolních končetin (Obr. 3) je rozdělen do několika částí: na stehenní a holenní část a na kolenní element, který zajišťuje pevné spojení stehenní a holenní části. Základ impaktoru tvoří tuhá válcová část o průměru 70 mm, jenž představuje kost. Všechny tyto části by měly být pokryty 25 mm tenkou pěnou, která nahrazuje svalovinu, tato je pokryta neoprenovou pryží, která supluje kůži člověka a je pokryta z obou stran 0,5 mm silnou nylonovou látkou. Celková tloušťka kůže by se měla pohybovat kolem 6 mm. Hmotnost stehenní části je stanovena na  $8,6 \pm 0,1$  kg a holenní části na  $4,8 \pm 0,1$  kg. Celková hmotnost impaktoru je tedy  $13,4 \pm 0,2$  kg.

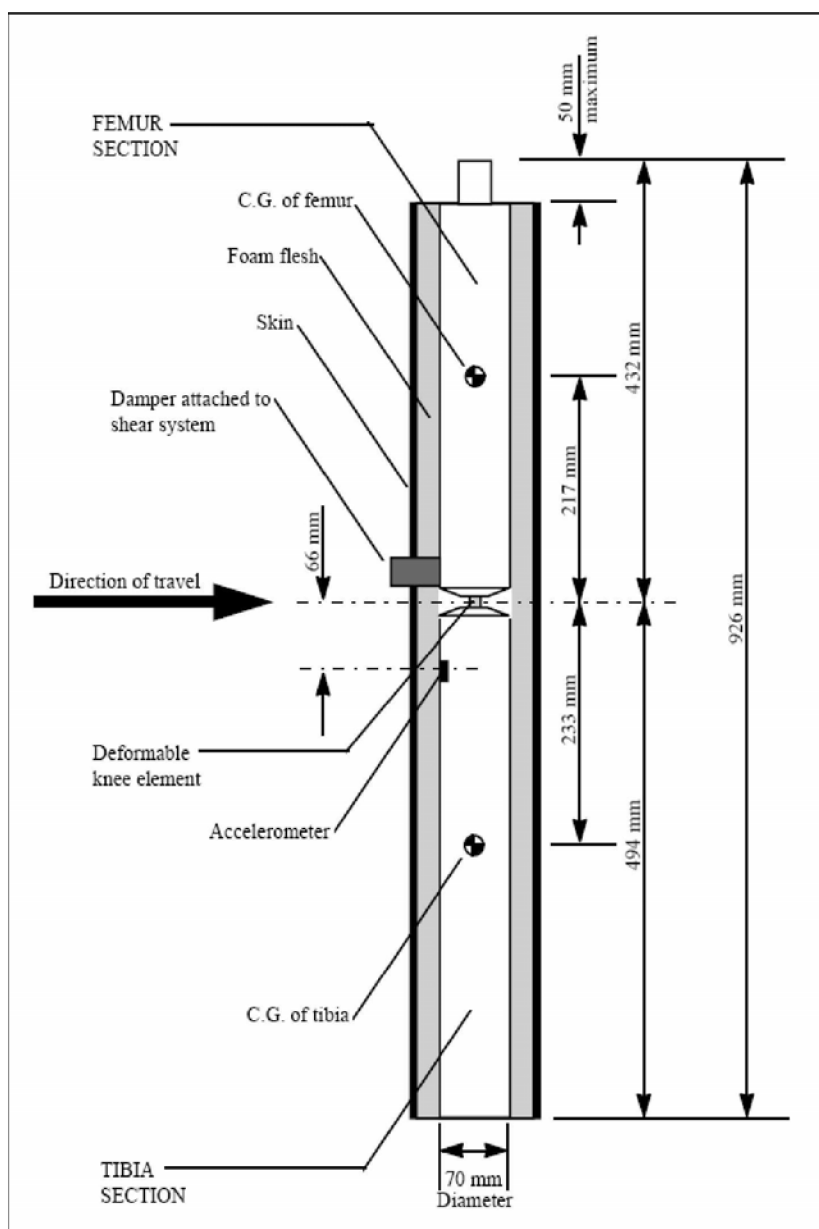
Impaktory musí být certifikovány v souladu s normou EEVC WG17, a to buď před každým testem, nebo nejvíce po 20 nárazech, které absolvuje, anebo po 1 roce od poslední provedené certifikace.



Obr. 2 Impaktor hlavy [6]

	Hmotnost [kg]	Průměr [mm]	Tloušťka kůže [mm]	Moment setrvačnosti [kg* m <sup>2</sup> ]	Dopadová energie [J]
Impaktor dětské hlavy	2,5±0,005	130±1	11±0,5	0,0036±0,0003	154
Impaktor dospělé hlavy	4,8±0,1	160±1	13,9±0,5	0,0125±0,001	295

Tab. 1 Impaktory hlavy [6]



Na obrázku 3 je vidět konstrukce impaktoru dolní končetiny: Především umístění tenzometrů ( C.G. of femur, tibia) a umístění akcelerometru, jehož osa citlivosti je kolmo k nárazu.

Obr. 3 Impaktor dolních končetin [1]

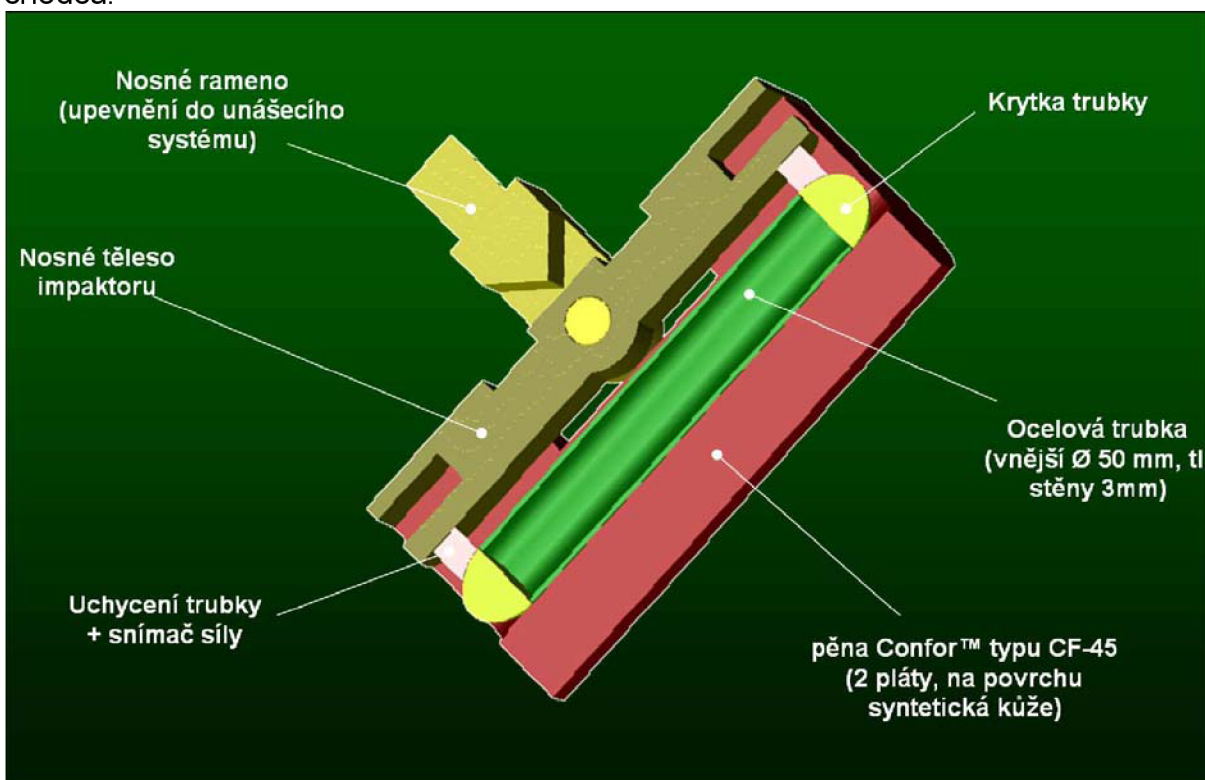
Impaktor stehna je složen ze tří částí, a to: nosného ramena, nosného tělesa a přední části (obr. 4). Impaktor stehna je složen z nosného ramene, nosného tělesa, ocelové trubky, ve které jsou na zadní stěně umístěny tenzometry měřící ohybový moment. Trubka je opatřena pěnou, která je na povrchu pokryta syntetickou kůží. Pomocí nosného ramene se impaktor upevňuje do vystřelovacího zařízení (obr. 6). Hmotnost impaktoru se určuje pomocí grafů (daných normou), ve kterých se, zjednodušeně řečeno, vyhledá pomocí geometrie automobilu. Hmotnost impaktoru se pohybuje mezi 10-17 kg. Impaktor se dovažuje pomocí přídatných závaží.

## 2.4 Popis a podmínky zkoušek prováděných pomocí impaktorů

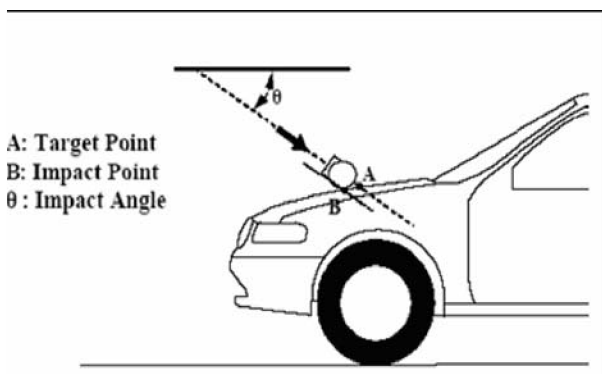
Podmínky zkoušek jsou přesně popsány v [1] podle normy EEVC WG17. Zde budou uvedena jen nejdůležitější fakta.

Testuje se ve třech oblastech: náraz impaktoru dolní končetiny na nárazník, náraz impaktoru stehna na spodní hranu kapoty a konečně test kapoty pomocí impaktoru hlavy. U vozidel ze světlou výškou nárazníku nad 500 mm se navíc provádí test nárazu stehna na nárazník.

Impaktory jsou vystřelovány rychlostí  $11,2 \pm 0,2$  m/s na určená místa. Jsou vybrána zejména taková místa, kde se předpokládá vyšší možnost zranění. U kapoty například místa závěsu, místa vyztužení, vyšší místa v motorovém prostoru a podobně. U zkoušek nárazu impaktoru hlavy se sleduje zrychlení a jeho časový průběh, z toho se poté určí a graficky zobrazí (Obr. 1) nebezpečná místa kapoty. Úhel dopadu u impaktoru dětské hlavy by měl být v rozmezí  $50^\circ \pm 0,2^\circ$  a u dospělé hlavy  $65^\circ \pm 2^\circ$  měřených od vodorovné vztážené roviny (k zemi, obr. 5). Při zkoušce musí mít vozidlo aktivovány veškeré bezpečnostní systémy, které slouží k ochraně chodců.



Obr. 4 Impaktor stehna [6]



Obr. 5 Znárodnění úhlu impaktoru při zkoušce [1]

Obr. 6 Vystřelení a uchycení impaktoru stehna [6]

## 2.5 Způsob vyhodnocení zkoušky

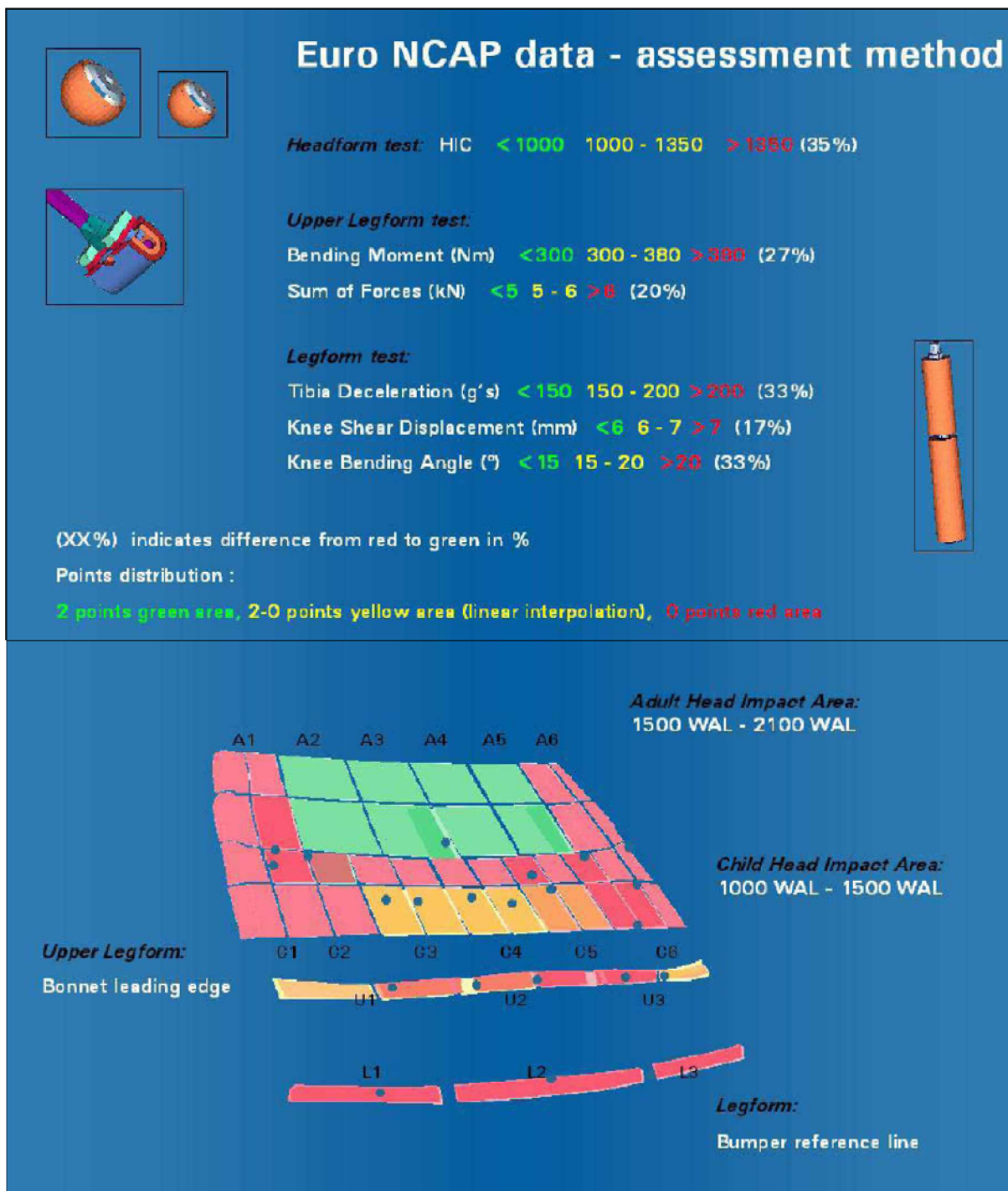
Jak již bylo uvedeno, jsou normou EEVC přesně stanoveny podmínky, za jakých se zkouška provádí, také místa dopadu impaktorů nejsou náhodná. Způsoby vyhodnocení a prezentace výsledků je také předepsány.

U testu pomocí impaktoru hlavy je hlavním posuzovaným faktorem Head Injury Criterium (dále jen HIC). Je dán následujícím vztahem:

$$HIC = (t_2 - t_1) \left( \frac{\int_{t_1}^{t_2} A_R dt}{(t_2 - t_1)} \right)^{2.5} \quad [-]$$

kde  $(t_2 - t_1)$  je časový interval, kde se hodnota HIC nachází v maximu, tento je maximálně 15 ms. Hodnota HIC by na žádném místě kapoty neměla přesáhnout 1000, tato hodnota značí 20% pravděpodobnost vážného zranění hlavy (někde se uvádí 15% šance úmrtí). Výpočet HIC se provádí softwarově. Jednotlivým naměřeným hodnotám jsou poté přiděleny body v jednotlivých zónách a graficky zobrazeny (Obr. 7).

U testů pomocí impaktoru nohy a stehna se vyhodnocují dvě veličiny. Je to síla a ohybový moment. Síla se určuje pomocí dvou snímačů sil (horního a dolního), moment se určuje pomocí dvou tenzometrů. Maximální ohybový moment je omezen na 300 Nm a maximální okamžitý součet ze snímačů sil by neměl přesáhnout přes 5 kN.

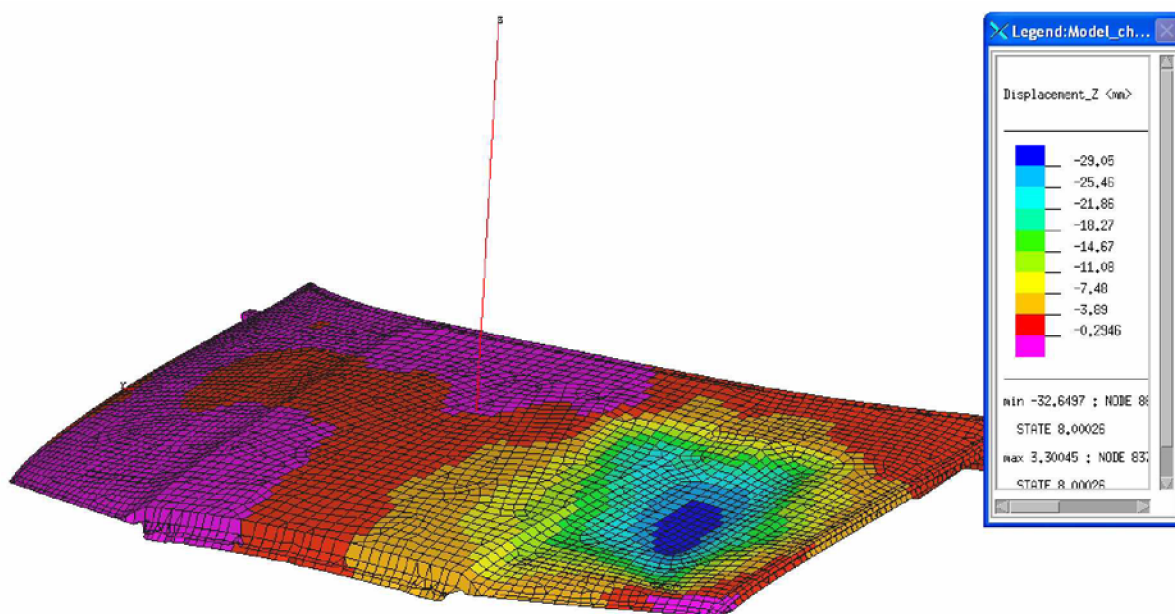


Obr. 7 Vyhodnocení a grafické znázornění výsledku testu pomocí impaktorů [1]

## 2.6 Souvislost zkoušek s počítačovými simulacemi

Je zřejmé, že přímé testy po každé změně v konstrukci automobilu nejsou možné ať už z důvodu vysokých nákladů, či časové náročnosti. Proto se využívá v hojné míře počítačových simulací. Níže jej zjednodušeně popíši.

V CAD softwaru (např. ProEngineer, Catia, Inventor atd.) se vytvoří věrný model impaktoru a testované součásti. Poté se model impaktoru převede do preprocesorového (např. ANSA) softwaru, ve kterém se vytvoří síť. Následně se určí materiálové konstanty jednotlivých částí (jsou dostupné v normě EEVC EG17). Stejný sled úkonů následuje u kapoty, nárazníku. Dále následuje zadání vstupních parametrů (interakce mezi jednotlivými díly kapoty atd.). Následuje vybrání nejnebezpečnějších míst (u kapoty např. místa vyztužení, místo blízke některé součásti v motorovém prostoru apod.) a nastavení úhlu dopadu (u kapoty 50° ke vztažné rovině- zemi). Poté se provedou vlastní výpočty a zhodnocení hodnoty HIC, popřípadě u testů pomocí impaktorů nohy momenty, síly, průhyby dosažené při pokusu (Obr. 8).



Obr. 8 Grafické znázornění průhybů kapoty [6]

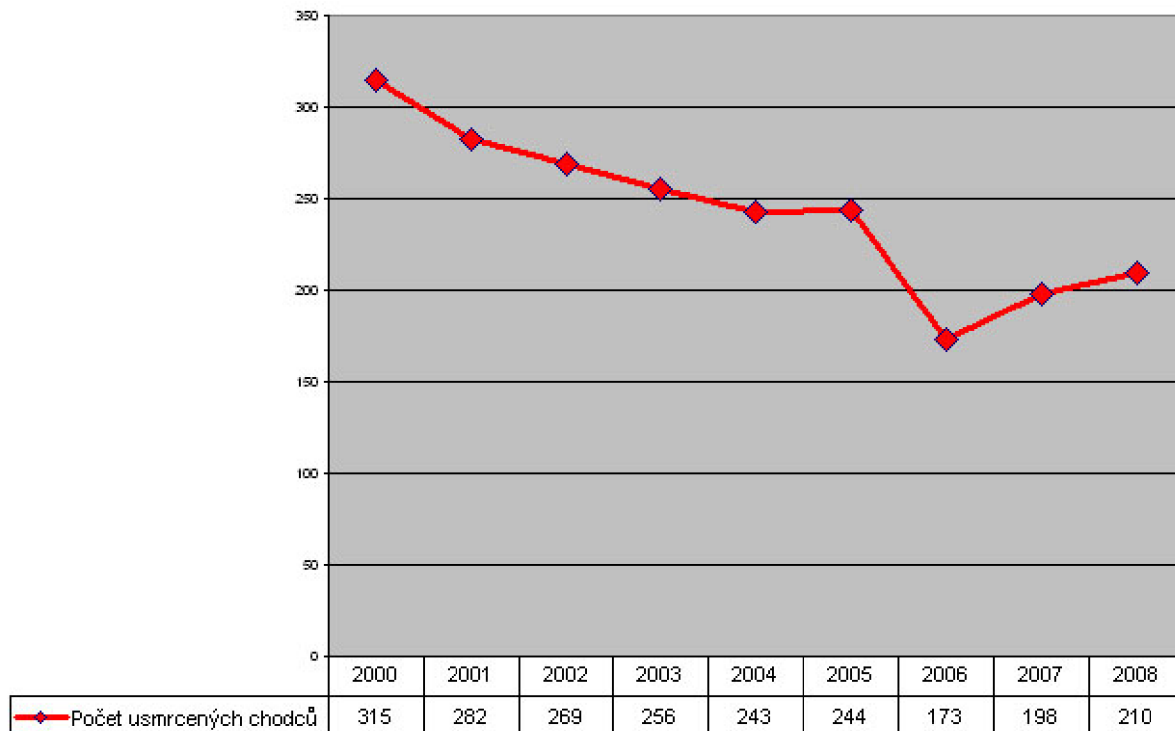
## 2.7 Opatření ke zvýšení bezpečnosti chodců

Vzhledem k velkému znevýhodnění chodců při silniční dopravě je snaha pokud možno co nejlépe přispět k jejich ochraně. Zde se nabízí několik možností:

a) legislativní cestou, toto řešení má nejspíš nejširší záběr, avšak jeho účinnost je diskutabilní (obr. 9), navíc v posledních letech je vidět rostoucí trend. Jak udává [9] bylo mezi léty 2001 až 2008 usmrceno na přechodu pro chodce z důvodu nedání přednosti chodci na přechodu 174 osob, tj. v průměru 22 osob ročně, kdežto

například v roce 2000 před novelizací zákona (od 2001 absolutní přednost chodců na přechodu) to bylo pouze 7 osob.

Počet usmrcených chodců 2000 - 2008



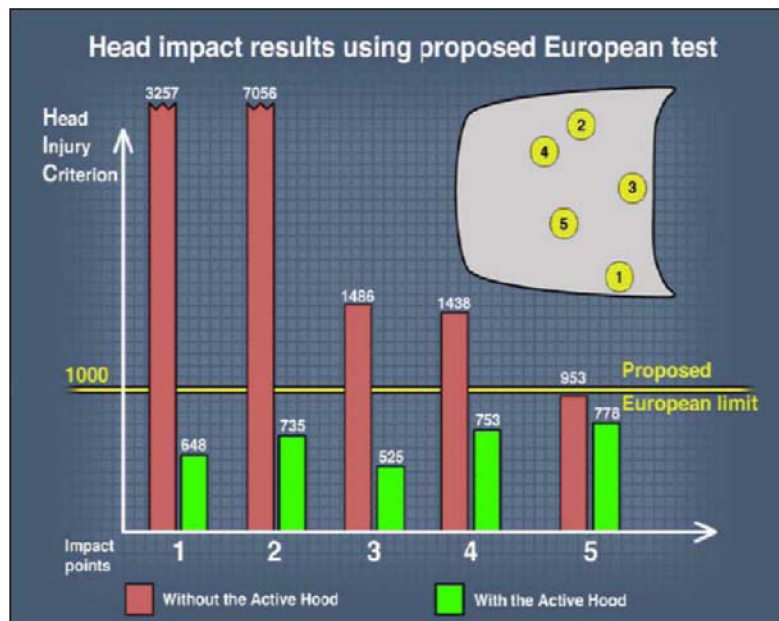
Obr. 9 Počet usmrcených chodců v letech 2000 – 2008 [9]

b) úpravou vozidla takovým způsobem, abychom minimalizovali možnost úmrtí chodce. Zde vyjmenuji nejčastější technologie, které se již používají, nebo jejichž vývoj pokročil nejdále: aktivní kapota a spoiler, vnější airbagy (v místě masky, A sloupků, okna), pre-crash sensing, systém pro noční vidění.

### 2.7.1 Aktivní kapota a spoiler

Úkolem aktivní kapoty či spoileru je, zmírnit následky střetu chodce s automobilem. V okamžiku, kdy je řídicí jednotkou vyhodnoceno, že dojde ke srážce, je vystřelen spoiler na úroveň předního nárazníku, tím se zvětší aktivní plocha, která působí na dolní končetiny, jež bývají při srážce namáhány velkým ohybovým momentem, zejména se sníží pravděpodobnost komplikovaných zlomenin kotníkové části nohy. Podobně se děje u aktivní kapoty, ta je "vysunuta" ze závěsu, nadzvednuta o několik centimetrů, a tím se zvětší vzdálenost od nejbližších míst v motorovém prostoru, to také umožní pohltit více energie dopadající osoby. Jak uvádí na svých stránkách společnost Autoliv, je HIC u aktivní kapoty oproti standardní významně sníženo (viz. Obr. 10, 11). Na grafu je vidět, že všechny hodnoty jsou pod HIC=1000, to může být významné pro přežití chodce a také z hlediska menších zdravotních následků po nehodě. Bohužel tyto systémy jsou stále ještě velmi nákladné a dodávají se spíše do automobilů vyšších tříd. Například nová Škoda Octavia a Roomster se vydává spíše cestou jakési "optimalizace" (Obr.12). Pro minimalizaci rizika zranění chodců jsou

nová Octavia a Roomster konstruovány tak, aby v případě srážky převzaly co největší část nárazové energie. Hlavní konstrukční opatření byla realizována v oblastech kapoty a nárazníků [7].

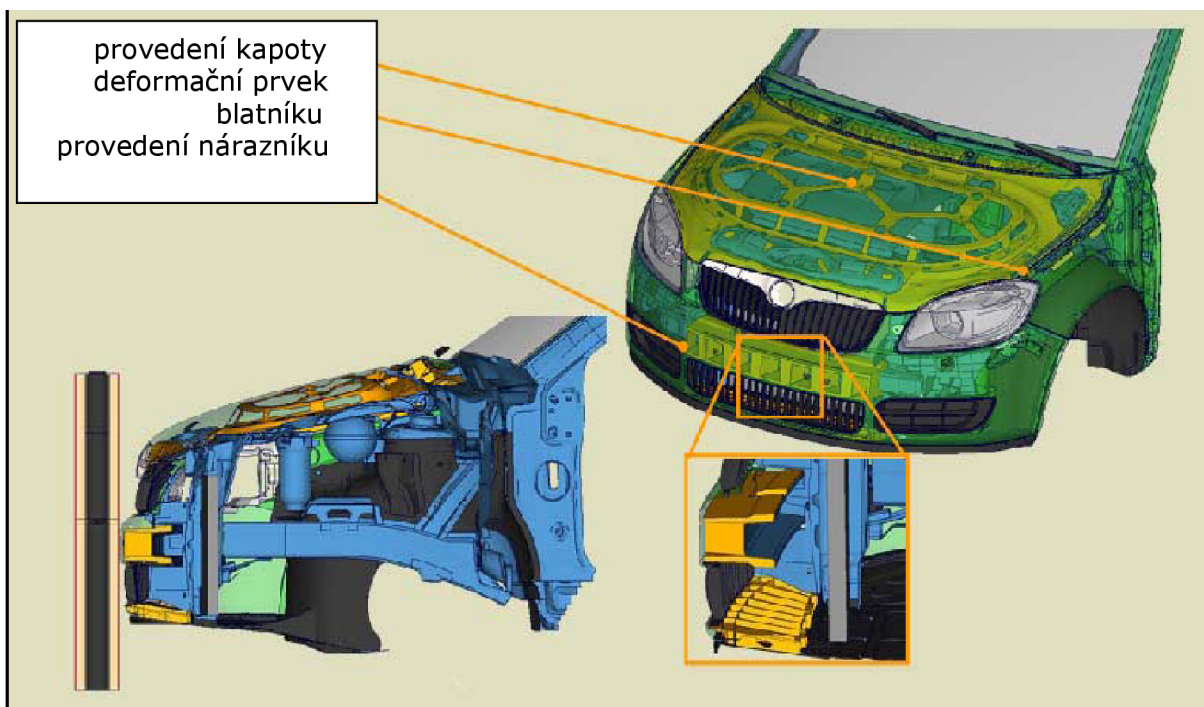


Obr. 10 Snížení rizika zranění hlavy u vozidla vybaveného aktivní kapotou [10]



Obr. 11 Ukázka nárazu figuríny do aktivované aktivní kapoty [10]

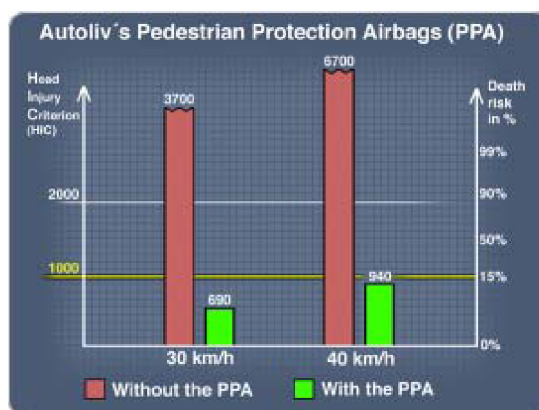




Obr. 12 Úpravy vozidla pro zvýšení šance na přežití chodce [7]

### 2.7.2 Vnější airbagy

Tento systém bývá spojen se systémem aktivní kapoty z důvodu snadnějšího nafouknutí airbagů. Vychází se z požadavků na A sloupky. Jsou konstruovány tak, aby byly co nejužší z důvodu ochrany posádky- například při převrácení vozidla na střechu, z toho také vyplývá jejich nebezpečnost pro chodce. Pokud chceme zabránit srážce chodce s pevnými A sloupky, je výhodné použití dvou airbagů, u každého sloupku jeden (Obr. 13).



Obr. 13 Použití airbagů k ochraně chodců a jejich vliv na HIC [10]

Jak je vidět z grafů tak, systém firmy Autoliv PPA (Pedestrian Protection Airbags) velmi významně zvyšuje šanci chodce na přežití, protože došlo ke snížení HIC pod

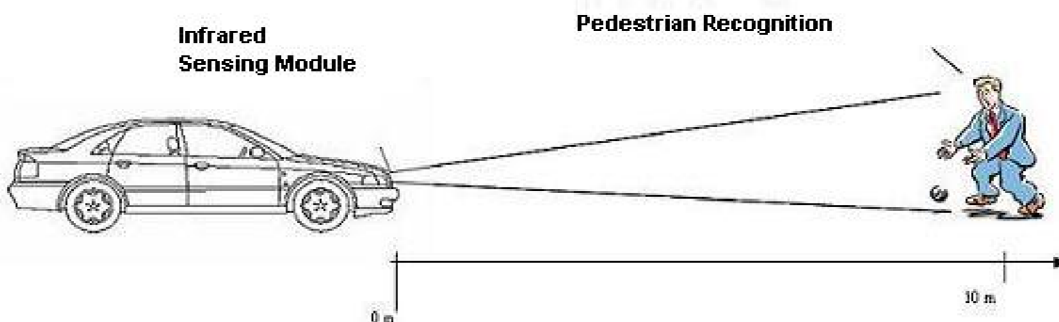
hranici  $HIC=1000$ . Další uplatnění nacházejí airbagy u automobilů třídy SUV, kde je riziko úmrtí chodce až 2,5 násobně vyšší oproti vozům kategorie sedan, hatchback a podobně. Ukázka použití takového systému je na obrázku 14, a jak uvádí na svých stránkách společnost Autoliv, je riziko zranění výrazně sníženo. Například podle odhadů by v USA, kde jsou tato vozidla velmi oblíbená, mohl tento systém zachránit ročně až stovky životů. Tento systém byl použit například u vozu Ford Explorer.



Obr. 14 Použití airbagů u vozů kategorie SUV [10]

### 2.7.3 Pre-crash sensing

Tento systém dokáže na vzdálenost několika desítek metrů rozpoznat objekt (v našem případě chodce) a připravit na to automobil. To znamená, že připraví k vystřelení například kapotu či vnější airbagy. V přední části vozidla bývá umístěn radar nebo infrared senzor, který tento objekt detekuje (Obr. 15).



Obr. 15 Detekce objektu pomocí infrared senzoru [10]

## 2.7.4 Noční vidění

Tento systém kopíruje myšlenku vidět a být viděn. Pomocí infračervené kamery, která je zvláště citlivá na teplotu lidského těla (Obr. 16) . Zlepšuje se tak především bezpečnost při nižší viditelnosti, například při jízdě v noci, mlze. Jak udává na svých stránkách automobilka BMW, lze pomocí termovizní kamery dohlédnout ideálně až do vzdálenosti 300 metrů, přičemž tato technologie dokáže rozpoznat živé objekty, ty zvýrazní, zobrazení ostatních objektů je utlumeno. Tento systém nabízí do svých vozů automobilka BMW (řada 5,6,7) a Mercedenz Benz.



Obr. 16 Noční obraz na vnitřním displeji automobilu [11]

### 3. Bezpečnost cestujících ve vozidle

Bezpečnost cestujících je dnes prioritou výrobců osobních automobilů. V druhé části mé bakalářské práce se pokusím shrnout nejpoužívanější systémy, ale také ty prvky bezpečnosti, které v poslední době prochází největším vývojem.

#### 3.1 Rozdělení bezpečnosti [2]

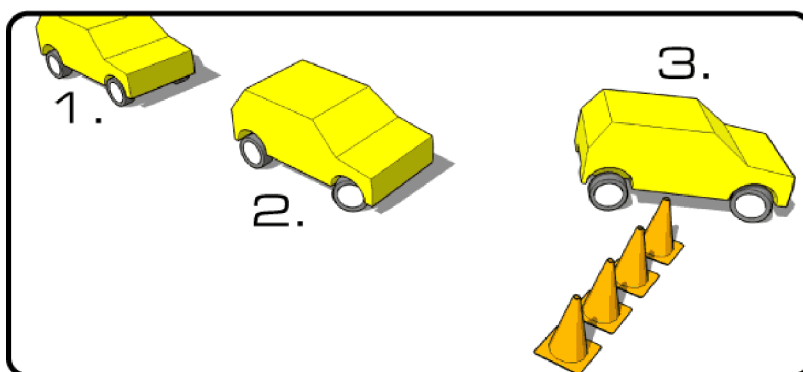
- **Aktivní bezpečnost** (opatření ke snížení možnosti vzniku nehody)
  - Jízdní bezpečnost (vlastnosti zmenšující jízdní nedostatky)
    - Výkon akcelerace
    - Brzdné vlastnosti
    - Směrová stabilita, řízení
    - Odpružení
    - Aerodynamická stabilita
  - Kondiční bezpečnost (opatření zajišťující jízdní pohodlí)
    - Mikroklima
    - Vnitřní hluk
    - Sedění
    - Stimulace psychické pohody
  - Pozorovací bezpečnost (vidět a být viděn)
    - Výhled z vozidla
    - Osvětlení vozovky
    - Pasivní viditelnost (barva, osvětlení vozidla ...)
  - Ovládací bezpečnost (spolehlivost a jistota obsluhy)
    - Umístění ovladačů
    - Ovládací síly
    - Odpoutání pozornosti
    - Zajištění dveří
    - Zvuková signalizace
- **Pasivní bezpečnost** (opatření ke zmenšení následků nehody)
  - Vnější bezpečnost (provedení vnějšího obrysu vozidla tak, aby zranění ostatních účastníků nehody bylo co nejmenší)
  - Vnitřní bezpečnost (opatření k zabránění nebo zmenšení zranění posádky)
    - Deformovatelná před a zád
    - Ochrana proti dalšímu nárazu (zadržovací systémy...)
    - Zachování prostoru pro přežití
    - Ochrana proti vymrštění osob
    - Ochrana proti požáru

Zjednodušeně by se dalo říci, že prvky, které se snaží zabránit vzniku nehody, jsou aktivní. Ty části či systémy, které reagují při vzniku nehody a snaží se zmírnit následky, jsou pasivní.

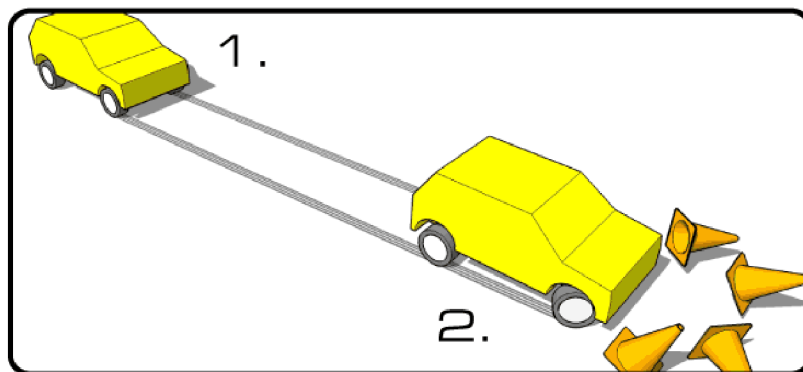
### 3.2 Aktivní bezpečnost [7]

Uvedu zde moderní elektronické prvky aktivní bezpečnosti, které pomáhají tam, kde řidič většinou už nic neovlivní.

Nejznámějším, a dnes snad již standardně dodávaným systémem je, ABS (Antiblockiersystem, Anti-lock Brake System), který při zablokování kol (dříve jen přední, dnes i zadní nápravy) opakovaně snižuje a zvyšuje tlak v brzdě kapalině, díky tomu umožní řidiči například kontrolovaně přibrzdit před překážkou a vyhnout se jí (Obr. 17a, b). Frekvence ABS je až 20 Hz.



Obr. 17a Úhybný manévr se systémem ABS [12]



Obr. 17b Úhybný manévr bez systému ABS [12]

Dalším systémem je ASR (Antriebsschlupfregelung), který zabraňuje prokluzu kol při překročení fyzikálních zákonů při akceleraci. Umožní tak bezpečné zrychlování v zatáčkách, na vozovce se sníženou adhezí apod.

Rozšířením ABS a ASR je ESP (Electronic Stability Program), který může přibrzdením některého z kol při smyku vozidla pomoci k jeho stabilizaci na vozovce. EBV (Elektronische Bremsverteilsystem) - elektronický rozdělovač brzděného účinku mezi nápravy; zajišťuje optimální rozdělení brzděné síly mezi přední a zadní nápravu. EDS (Elektronische Differenzialsperre) - elektronická uzávěrka diferenciálu; zabraňuje prokluzování jednoho z hnacích kol při jízdě na vozovce s rozdílnými adhezními podmínkami pod levým a pravým hnacím kolem.

HBA (Hydraulic Brake Assist) - hydraulický brzdový asistent, umožňuje optimální náběh brzdného účinku. Zajišťuje kompletní využití možností brzdného systému, a tím přispívá ke zkrácení brzdné dráhy.

MSR (Motor Schlepptomoment Regelung) - regulace točivého momentu při brzdění motorem; zamezuje prokluzování hnacích kol při intenzivním brzdění motorem.

TPM (Tire Pressure Monitoring) - systém sledování tlaku vzduchu v pneumatikách porovnává s využitím snímačů ABS otáčky, a tím i obvody jednotlivých kol.

HHC (Hill Hold Control) - asistent rozjezdu do kopce usnadňuje rozjezd ve stoupání. Usnadnění spočívá v tom, že systém udrží brzdný tlak, který byl vytvořen sešlápnutím brzdového pedálu, asi ještě 2 s po uvolnění brzdového pedálu. Řidič tak může přesunout nohu z brzdového pedálu na plynový pedál a rozjet se do kopce, aniž by musel použít ruční brzdu.

Existuje spousta dalších či podobných systémů, navíc různí výrobci své elektronické systémy pojmenovávají různě.

### 3.3 Pasivní bezpečnost

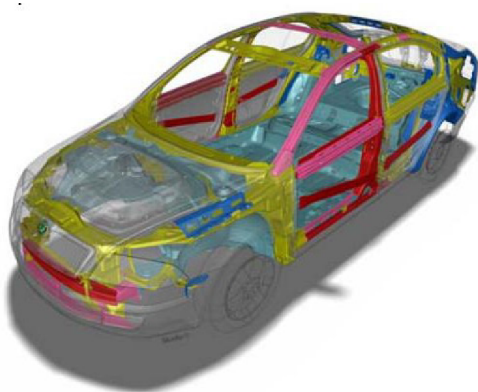
Prvky pasivní bezpečnosti přicházejí na řadu až v okamžiku srážky. Mezi nejvýznamnější patří: konstrukce karoserie (zejména řešení deformačních zón), bezpečnostní pásy, opěrky hlavy, airbagy a podobně.

#### 3.3.1 Karoserie

U konstrukce karoserie se posuzuje, jak se po nárazu zdeformuje a jestli po deformaci je zachován vnitřní prostor tak, aby to bylo slučitelné se životem. Karoserie musí při nárazu absorbovat tolik energie, aby nedošlo k překročení biomechanických limitů, to znamená, aby zpoždění těla člověka nepřekročilo mezní hodnoty.

K absorpci nárazové energie jsou vhodné dlouhé části karoserie, tedy zadní a přední části vozidla. Karoserie se záměrně konstruuje tak, aby při čelním nárazu a nárazu zezadu pohltila co nejvíce energie a přitom zůstal zachován vnitřní prostor (Obr. 13). Boční část vozidla umožňuje pohlcení jen malé části energie, neboť jsou i malé deformační struktury. Náraz do této části vozidla je velmi nebezpečný, neboť například při bočním nárazu do stromu působí setrvačné síly přední a zadní části vozidla tak, že se automobil vlastně zlomí, navíc je větší možnost vniknutí překážky do kabiny. Proto se boků vozidel (práh, lem skel) dávají výztuhy.

V silničním provozu je také důležitá kompatibilita vozidel. Kompatibilita mezi automobily je důležitá při středu vozidel různých tříd. Je například žádoucí zajistit, aby se při čelním střetu nedostalo osobní vozidlo pod nákladní (zábrana proti podjetí). Kompatibilita je tedy jakási ochrana spoluúčastníka nehody.



Na karoserii vozu Octavia jsou ve zvýšené míře nasazeny vysokopevnostní plechy, které zvyšují tuhost karoserie a bezpečnost vozu. Barvy indikují rozdílnou pevnost plechových prvků.

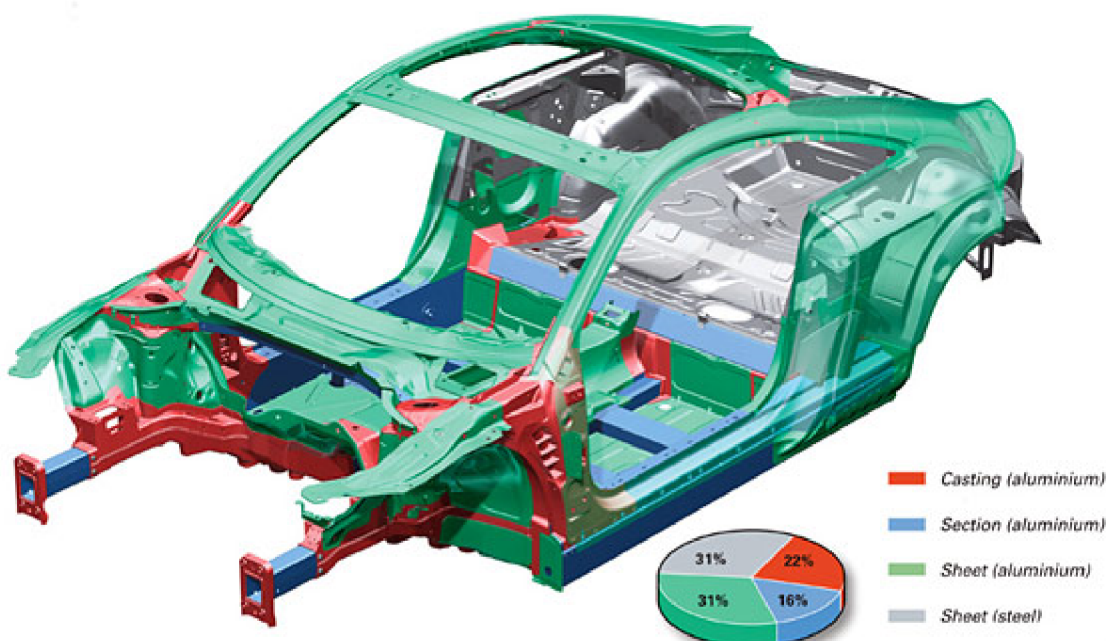
- $R_{p0,2} < 180$  MPa
- $R_{p0,2} 180-300$  MPa
- $R_{p0,2} 300-500$  MPa
- $R_{p0,2} > 500$  MPa

Obr. 13 Karoserie Škoda Octavia II. generace [7]

### 3.3.2 Konstrukční opatření ke zvýšení bezpečnosti u karoserie AUDI

Automobilka Audi u svých vozidel řady A2, A8, R8, TT používá hliníkový rám ASF (Audi Space Frame), za takovéto řešení dostala v roce 2008 od Evropského patentového úřadu cenu Evropského vynálezce roku. Tato konstrukce (obr. 14, 15) přináší mnoho výhod. Mezi ně patří úspora hmotnosti, zlepšení jízdních vlastností, které vychází z větší tuhosti karoserie, a úspora paliva. Na svých stránkách Audi uvádí, že díky nižší hmotnosti a vysoké recyklovatelnosti se použitá vyšší výrobní energie kompenzuje už po ujetí přibližně 60 000 km. Je to tedy možná cesta ke snižování spotřeby paliva a emisí. ASF je vysoce tuhá rámová struktura s integrovanými plošnými karosářskými panely, které se také podílejí na její únosnosti.

The new Audi TT  
Structure



AUDI TT COUPE

FOURTITUDE.COM 4

Obr. 14 Audi space frame u vozu Audi TT [14]

Audi uvádí, že ve srovnání se stejným typem automobilu s karosérií z oceli je hmotnostní úspora až 40%. Tím se zlepší také dynamické vlastnosti vozu.



Obr. 14 Audi space frame u vozu Audi TT [15]

### 3.3.3 Bezpečnostní sloupek volantu

Bylo statisticky zjištěno, že při čelních nárazech mají největší podíl na zranění posádky tyto části vozidla [2]:

- Čelní sklo 10,8%
- Okenní sloupek 8,1%
- Volant 27%
- Spodní část přístrojové desky 29,7%
- Boční dveře 10,8%
- Bezpečnostní pás 24,3%

Na sloupek volantu jsou spolu s volantem kladeny vysoké nároky, volant vybavený airbagem musí zachovat stanovenou pozici vůči tělu řidiče. Pokud intenzita nárazu nepřekročí určitou mez, kdy by bylo zbytečné airbag vystřelit, zafunguje teleskopická konstrukce volantu spolu s kloubovým uložením, která je schopná náraz absorbovat. Takto se ztlumí a sníží zatížení hrudi a hlavy. Tyto prvky se vhodně kombinují s omezovači napětí v bezpečnostních pásích.



### 3.3.4 Zádržné systémy

Mezi zádržné systémy řadíme především bezpečnostní pás. Jeho použití přešlo z leteckého průmyslu do automobilního. Prvním evropským výrobcem, který začal dodávat bezpečnostní pásy jako součást standardní výbavy, byla automobilka Volvo v roce 1959. První zemí, která předepisovala bezpečnostní pás jako povinný prvek výbavy, byla Austrálie. U nás se od 1. 1. 1967 musí povinně používat pásy na předních sedadlech při jízdě mimo obec, od 1. 1. 1976 bylo použití povinné na všech sedadlech mimo obec a od 1. 1. 1990 se musí pásy používat i v obcích. Společnost BESIP [9] na svých stránkách uvádí:

#### Při jízdě v obci

- pásy jsou neúčinnější do rychlosti 50 km/h
- 42% řidičů usmrčených v obci bylo nepřipoutaných
- 51% spolujezdců usmrčených v obci bylo nepřipoutaných

#### Dle statistiky

- Řidiči nepřipoutaní umírají 14x častěji než připoutaní, v obci 12,8x
- Přední pasažéři nepřipoutaní umírají 5,6x častěji než připoutaní, v obci 4,7x

#### Zadní sedadla

- 71% usmrčených osob na zadních sedadlech bylo nepřipoutaných
- zadní pasažéři umírají 3,9x častěji než připoutaní, v obci 4,2x

Bezpečnost cestujících ve vozidle se zvyšuje při součinnosti třibodových pásů s airbagy, předpínači pásů a omezovači tahu. Ovšem zapnuté airbagy bez zapnutého bezpečnostního pásu [Obr. 16] mají spíše opačný účinek. Dochází k pohybu osoby vpřed a vystřelení airbagu proti tomuto pohybu může mít smrtelné následky. Na stránkách společnosti Autoliv se odhaduje, že jen v USA pomůže bezpečnostní pás zachránit více než 11 000 životů ročně a u více než 300 000 osob se díky bezpečnostním pásům podaří předejít vážným zraněním.

Předpínače bezpečnostních pásů jsou řízeny elektronikou airbagů a bývají iniciovány dříve než airbagy. Při nárazu předpínač napne pás tak, aby lépe zachytil tělo, to umožní lepší rozložení energie. Poté se uvolní a zbytek energie pohltí nafouklý airbag. Předpínače (Obr. 15) jsou uváděny v činnost plynovým generátorem, který ovládá již zmíněná ovládací jednotka airbagů.



Obr. 15 Předpínač pásů [10]



Obr. 16 Škoda Octavia RS, čelní náraz a děti bez sedačky [7]

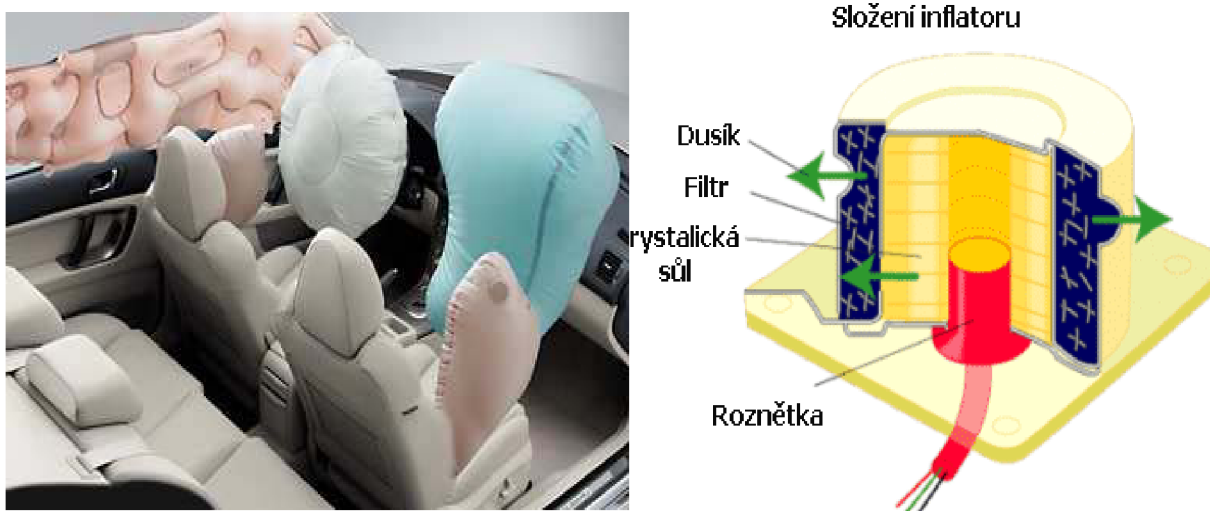
Omezovače napětí v bezpečnostních pásích umožňují lepší průběh zatížení těla. Při překročení určitého napětí se zdeformuje tyč v navíječi pásu nebo se roztrhne šev na pásu. Tak je dosaženo toho, že se sníží zatížení hlavy a na tělo působí menší síly.

### 3.3.5 Airbagy

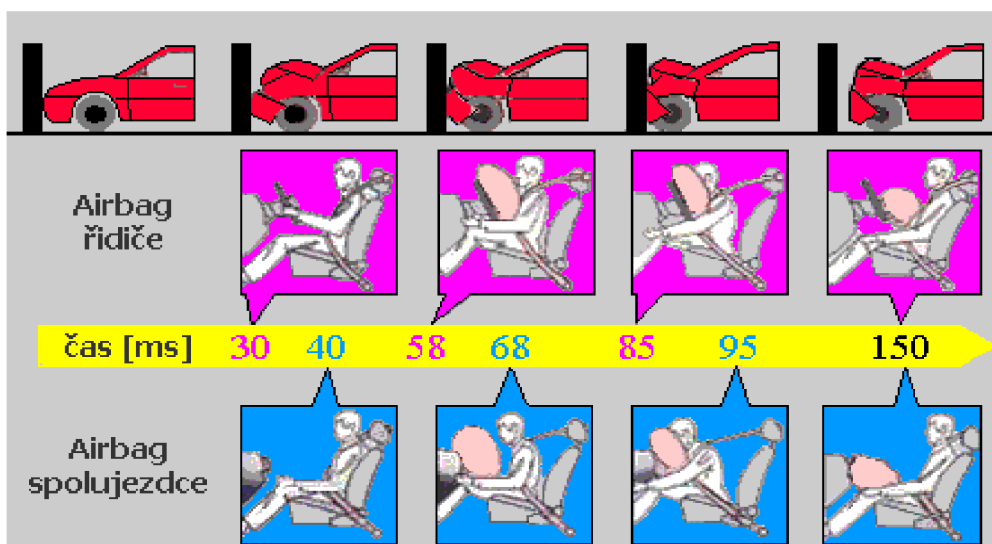
Airbagy dnes patří mezi základní bezpečnostní prvky. Podle [10] se sníží možnost vážného poranění hlavy při čelním nárazu u připoutaného řidiče o 60%. Airbagy se první sériové montáže dočkaly roku 1972 u Chevroletu Impala. Poté se postupně používání airbagů rozšířilo a dnes téměř všichni evropští výrobci nabízí v základní výbavě 2 airbagy.

Modul airbagu se skládá ze tří částí. Je to vlastní vzduchový vak, vyvíječ plynu (inflator, Obr. 17) a řídicí elektronika. Časový průběh nafouknutí a vyfouknutí airbagu je na obrázku 18. V moderních řešeních airbagů se počítá s říditelností rychlosti a stupně naplnění vaku v součinnosti s přepínači pásů. Airbagy se dělí:

- čelní (řidiče a spolujezdce)
- boční airbagy
- kolenní
- pod spodní část nohou (ochrana kotníku a lýtka)
- stehenní (proti posunutí těla pod pásy)
- vnější pro ochranu chodců



Obr. 17 Sestava airbagů a vyvíječ plynu airbagu [15]



Obr.18 Časová osa při čelním nárazu s indikací funkce airbagu [15]

### 3.4 Crash testy EURO NCAP

Na začátku mé práce jsem uvedl, jaké crash testy používá EURO NCAP k zjištění ochrany chodců. V této kapitole se budu věnovat testům, které mají zjistit, jakou bezpečnost poskytuje vůz posádce vozidla. Prováděné testy:

- čelní náraz
- boční náraz
- ochrana dětí
- whiplash
- ochrana dětí

### 3.4.1 Čelní náraz

Nejčastějším nárazem je čelní náraz. Při testu automobilu podle EURO NCAP se používá test při rychlosti  $64 \text{ km/h} \pm 1 \text{ km/h}$  do neformovatelné bariéry, to odpovídá situaci, kdy se řidič snaží překážce vyhnout. Bariéra je složena z pláství o daných rozměrech, materiálem je Aluminium 3003 (BS 1470). Bariéra musí splňovat předepsané podmínky definované v EURO NCAP Frontal Protocol. Je zde také definováno umístění vysokorychlostních kamer, posed jednotlivých figurín a podobně. Hodnocenými kritérii jsou [1]:

- hlava- zrychlení (HIC)
- krk- síly a momenty
- hrud'- zrychlení a výchylka
- stehna- síly
- kolena- posun
- holenní kost – síly a momenty



Obr. 19 Čelní náraz Škoda Fabia II [16]



Obr. 20 Čelní náraz – simulace Škoda Fabia II [16]

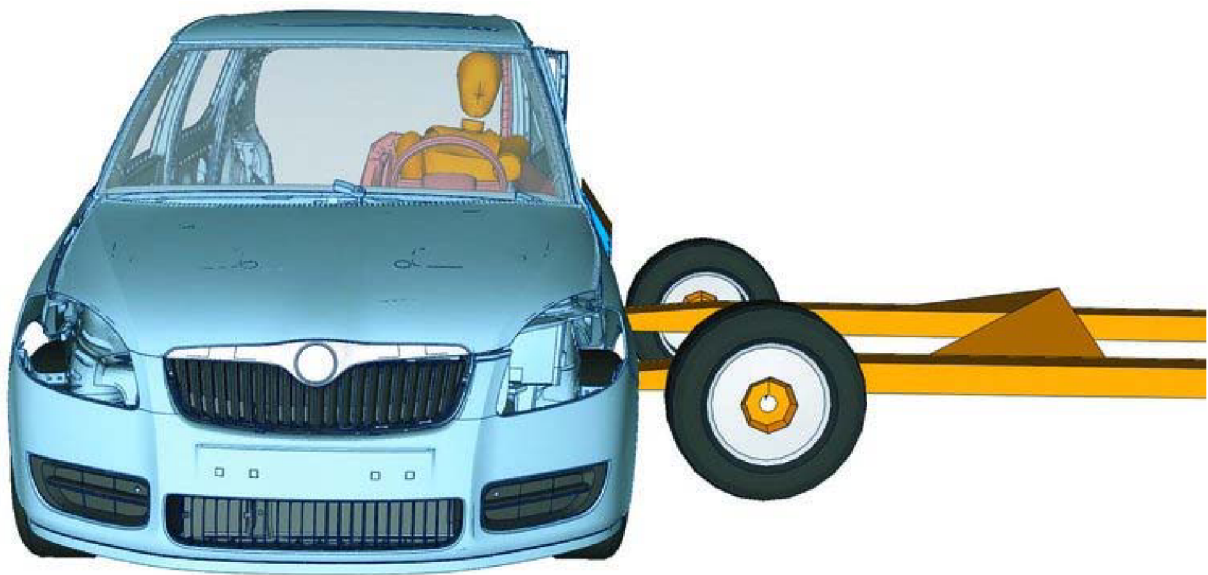
### 3.4.2 Boční náraz

Touto zkouškou se simuluje náraz do automobilu, například při nedání přednosti a vjetí do křižovatky. Tato zkouška se provádí pomocí vozíku, jehož hmotnost musí být  $950 \text{ kg} \pm 20 \text{ kg}$  a jeho rozměry jsou přesně stanoveny v [1], stejně jako všechny ostatní podmínky předepsané pro tuto zkoušku. Po testu by měly jít otevřít, maximální silou  $500 \text{ N}$  do úhlu  $45^\circ$ . Také je důležité, aby bylo možné figurínu (dummy) jednoduše vytáhnout z vozu. Při testu se sleduje:

- hlava- zrychlení (HIC)
- ramena- síly
- hrudník- zrychlení
- žebra- zrychlení, výchylka
- břicho- síla
- záda- síly a momenty
- pánev- zrychlení
- pubic symphysis- síla
- stehno- síly a momenty



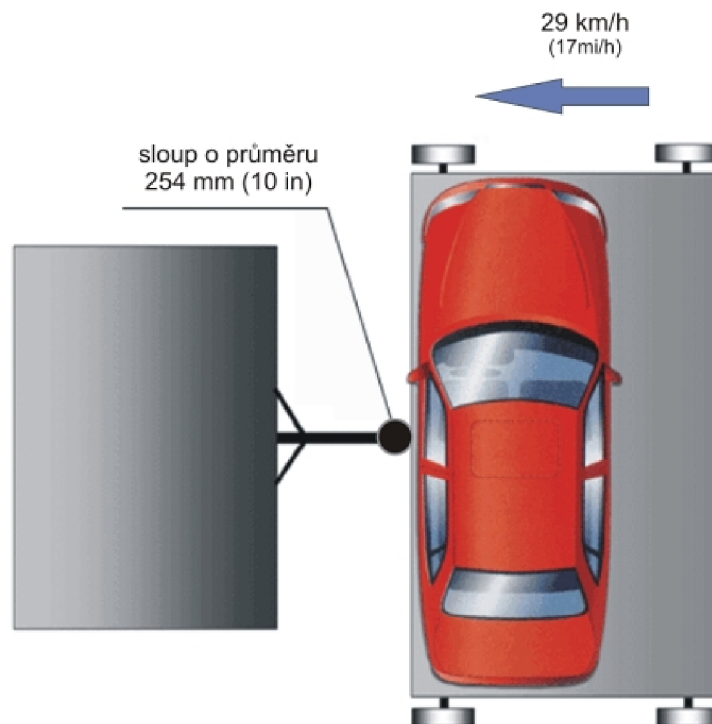
Obr. 21 Boční náraz Škoda Fabia II [16]



Obr. 22 Boční náraz – simulace Škoda Fabia II [16]

### 3.4.3 Boční náraz na kůl (Pole side impact)

Tento test má simulovat náraz například do stromu a podobných překážek (Obr. 23).



Obr. 23 Metodika bočního nárazu do tyče [1]



Obr. 24 Škoda Fabia II [1]

Při tomto nárazu je jen malá deformační dráha a i při takto relativně malé rychlosti je tento test velmi destruktivní (obr. 24). Velmi nebezpečné je proniknutí cizího tělesa do prostoru kabiny. Hlavními sledovanými kritérii jsou:

- hlava- zrychlení
- ramena- síly
- hrudník- zrychlení
- žebra- zrychlení, výchylka
- břicho- síly
- záda- síly, momenty
- pánev- zrychlení
- pubic symphysis- síla
- stehna- síly, momenty

Při tomto testu se ukazuje výhoda bočních airbagů, které dokáží ztlumit náraz hlavy do okna. Bez bočního airbagu dosahovalo  $HIC=5000$ , což je pětinasobek toho, co je označeno jako smrtelné riziko zranění. Naopak při osazeném bočním airbagu klesne většinou hodnota  $HIC=300÷500$ , což je pod referenční hodnotou pro přežití. Před rokem 2009 se tento test prováděl na požádání výrobce automobilu, od roku 2009 se provádí vždy. Navíc se provádí měření i na jiných částech figuríny (viz. výše), dříve se měřil pouze HIC. Výsledek se poté prezentuje graficky jako na obrázku 25.



Obr. 25 Zleva: čelní náraz spolujezdec, řidič, boční náraz řidič, barevné odlišení Škoda Fabia II [1]

### 3.4.4 Whiplash

Jedná se o časté zranění při nárazu do zadní části vozu, a to i při nízkých rychlostech nárazu. Je to zranění páteře, které se (pokud vůbec) špatně a nákladně léčí (obr. 26). Vysoká četnost těchto zranění způsobila, že se organizace EURO NCAP rozhodla od roku 2009 tento test integrovat do svého testovacího programu. Je to většinou způsobeno špatně řešenou opěrkou hlavy. Hodnotí se zejména ergonomie sedačky a správnost řešení opěrky hlavy. Toto hodnocení se započítává do bodového hodnocení ochrany dospělých (viz. Obr 25).



Obr. 26 Poškození páteře po nárazu zezadu [1]

### 3.4.5 Ochrana dětí

Ochrana dětí byla do hodnocení zařazena od roku 2003. Od roku 2009 jsou přidělovány samostatné hvězdičky za ochranu dětí. Jedná se zejména o vhodné provedení dětského záchytného systému, známého pod názvem ISOFIX. Hodnotí se například schopnost udržet polohu sedačky při nehodě. Používají se figuríny 1,5 a 3 letých dětí, které se usadí do výrobcem doporučených sedaček. Test se provádí při čelním a bočním nárazu, v hodnocení se odráží kromě dosažených biomechanických hodnot také kvalita manuálu dodaného výrobcem k této problematice. Systém ISOFIX je normované uchycení sedačky, jeho výhodou jsou normované kotevní třmeny, které umožňují pevné uchycení. Toto pevné spojení umožňuje snížit riziko poranění dětí.





Obr. 27 Test dětských autosedaček [17]

### 3.5 Souvislost s počítačovými simulacemi

Přínos simulací při těchto testech je zřejmá. Jde zejména o snížení nákladů, úsporu času a zrychlení vývoje nového modelu. Sníží se počet uskutečněných testů. Počítá se s vytvořením tzv. virtuální vývojové laboratoře, která umožní přímé propojení jednotlivých softwarů. Například Škoda Auto používá simulační software (PAM CRASH 2G) od roku 1996 (byly použity při vývoji první Octavie). V oblasti pasivní bezpečnosti se ověřuje součinnost bezpečnostních pásů a airbagů. Dále se dají optimalizovat prvky konstrukce tak, aby se vozidlo stalo bezpečnějším, lehčím s vysokou torzní tuhostí, která ovlivňuje komfort jízdy. Dá se určit, ve kterých místech karoserie je třeba použít vysokopevnostní materiály a kde se může ušetřit (viz. Obr. 14).

## 4. Závěr

Snahou konstruktérů a zákonodárců dnešní doby je zvyšování bezpečnosti dopravy i automobilů samotných. Důkazem toho je vývoj mnoha nových technologií pro ochranu chodců i cestujících ve vozidle. Cílem takových technologií je buď předejít kolizi, anebo zmírnění jejích následků.

Jedním ze směrů, kterým by se mohla ubírat ochrana chodců v dalších letech, je dle mého názoru aktivní kapota. Na Obr. 10 je vidět, že v jednotlivých místech kapoty dochází ke snížení HIC až pětinasobně. Také pre-crash sensing a systémy pro noční vidění by mohly být budoucností pro ochranu chodců. Bohužel, tyto pomůcky pro zlepšení ochrany chodců jsou zatím výsadou spíše vozů vyšších tříd. Většina automobilek se vydala spíše cestou zlepšení parametrů kapoty pro utlumení nárazu hlavy.

Budoucnost vývoje ochrany posádky vozu je dle mého názoru v optimalizaci souhry činnosti airbagů s bezpečnostními pásy a jinými prvky ochrany. Vyvíjí se airbasy, u kterých intenzita nafouknutí bude úměrná intenzitě nárazu. Tím se budou dále snižovat biomechanické hodnoty působící na lidské tělo. Svou obrovskou roli hrají a budou hrát počítače a počítačové simulace. U každého nového modelu se daří zlepšovat u karoserie tuhost a zároveň optimalizovat deformační zóny.

Na tyto opatření se snaží reagovat testovací laboratoř EURO NCAP. Neustále zpřísňuje testování a zavádí nové testy. Plánuje do roku 2012 zpřísňovat pravidla tak, aby nebylo pravidlem pětihvězdičkové hodnocení. A pětihvězdičkové hodnocení je pro výrobce automobilů výborná reklama, která může pomoci k lepší prodejnosti vozu. Tady je vidět, že jde o uzavřený koloběh vývoje, který pomáhá chránit lidské životy.

## Zdroje:

- [1] Euro NCAP Online Documentation [online], 2009, poslední revize 10. 5. 2008.  
Dostupné z: <<http://www.euroncap.com>>
- [2] VLK, F. Karosérie motorových vozidel. Nakladatelství a vydavatelství Vlk, Brno, 2000
- [3] Bezpečnost pro všechny [online], 2009, poslední revize 17. 5. 2009.  
Dostupné z: <<http://www.bezpecnostprovsechny.cz/index.php?p=500>>
- [4] TRW Passive safety web page [online], 2008, poslední revize 18. 5. 2009.  
Dostupné z: <<http://www.trw.com>>
- [5] Pokorný, J. Bezpečnost a ochrana chodců [online]. 2004, poslední revize 21. 5. 2009.  
Dostupné z: <[http://envi.upce.cz/pisprace/ostatni/pokorny\\_text.pdf](http://envi.upce.cz/pisprace/ostatni/pokorny_text.pdf)>
- [6] BUCHTA, T. *Simulace nárazu dětské hlavy na kapotu vozidla*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Brno 2007, 102s.
- [7] Škoda Auto [online], 2009, poslední revize 9.5.2009.  
Dostupné z: <<http://new.skoda-auto.com/COM/Pages/Home.aspx>>
- [8] Pokorný, J. Bezpečnost a ochrana chodců [online]. 2004, poslední revize 20. 5. 2009.  
Dostupné z: <<http://envi.upce.cz/pisprace/ostatni/pokorny.pdf>>
- [9] IBESIP, [online], 2008, poslední revize 10. 5. 2009.  
Dostupné z: <<http://www.ibesip.cz/>>
- [10] Autoliv Inc. [online], 2009, poslední revize 10. 5. 2009.  
Dostupné z: <<http://www.autoliv.com/>>
- [11] BMW [online], 2009, poslední revize 4. 5. 2009.  
Dostupné z: <[www.bmw.com](http://www.bmw.com)>
- [12] Driving fast [online], 2009, poslední revize 9. 5. 2009.  
Dostupné z: <<http://www.drivingfast.net>>
- [13] AUDI Česká Republika [online], 2009, poslední revize 8. 5. 2009.  
Dostupné z: <<http://www.audi.cz>>
- [14] The Audi enthusiast web site [online], 2009, poslední revize 6. 5. 2009.  
Dostupné z: <<http://www.fourtitude.com>>
- [15] Váš automobilový slovník [online], 2009, poslední revize 18. 5. 2009.  
Dostupné z: <[www.autolexicon.net](http://www.autolexicon.net)>
- [16] MM Průmyslové spektrum [online], 2009, poslední revize 9. 5. 2009.  
Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com>>
- [17] Adac Ihr partner in allen Fragen rund um die Mobilität [online], 2009, poslední revize 9. 5. 2009.  
Dostupné z: <<http://www.adac.de>>

## Seznam zkratk

ABS	Anti-lock Braking System
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club
ANCAP	Australasian New Car Assessment Program
ASF	Audi Space Frame
ASR	Antriebsschlupfregelung
CAD	Computer Aided Design
EBV	Elektronische Bremskraftverteilung
EDS	Elektronische Differenzialsperre
EEVC	European Enhanced Vehicle-safety Committee
ESP	Electronic Stability Programme
Euro NCAP	European New Car Assessment Programme
HBA	<i>Hydraulic Brake Assist</i>
HHC	Hill Hold Control
HIC	Head Injury Criteria
MSR	Motor Schlepptomoment Regelung
PPA	Pedestrian Protection Airbags
SUV	Sport Utility Vehicle
TPM	Tyre Pressure Monitoring