

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

# POČÍTAČOVÉ SIMULACE V OBLASTI BEZPEČNOSTI VOZIDEL

COMPUTATIONAL SIMULATIONS IN AUTOMOTIVE SAFETY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

KAMIL KRKOŠKA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. PAVEL RAMÍK

BRNO 2008



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2007/08

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Krkoška Kamil

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:

### **Počítačové simulace v oblasti bezpečnosti vozidel**

v anglickém jazyce:

### **Computational Simulations in Automotive Safety**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náplní práce je zpracovat přehled počítačových simulací sloužících k ochraně cestujících ve vozidle a k ochraně chodců včetně používaných programových prostředků, souvisejících zkoušek a metod jejich hodnocení

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je zpracovat přehled současného stavu v oblasti počítačových simulací sloužících pro ochranu pasažerů v automobilech a chodců, zejména

- prováděné simulace, postupy řešení
- používané simulační prostředky
- způsoby hodnocení výsledků
- souvislost těchto simulací s prováděnými zkouškami
- konstrukční opatření ke zvýšení aktivní a pasivní bezpečnosti cestujících ve vozidle
- opatření ke zvýšení bezpečnosti chodců
- příklady získaných výsledků, směry dalšího vývoje

Seznam odborné literatury:

- [1] Euro NCAP Online Documentation [online], 2007, poslední revize 18.10.2007. Dostupné z: <http://www.euroncap.com>
- [2] PAM-CRASH 2G. Product overview [online], 2007, poslední revize 25.10.2007. Dostupné z: <http://www.esi-group.com/SimulationSoftware/NumericalSimulation/>
- [3] Bezpečnost pro všechny [online], 2007, poslední revize 15.10.2007. Dostupné z: <http://www.bezpecnostprovsechny.cz/index.php?p=500>
- [4] TRW Passive safety web page [online], 2007, poslední revize 23.10.2007. Dostupné z: <http://www.trw.com>

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Ramík

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 28.11.2007

L.S.



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **Anotace**

Cílem této práce je zpracovat ucelený přehled současného stavu v oblasti bezpečnosti automobilů, konkrétních postupů a dosažených výsledků v této oblasti. Jsou zde stručně popsány konstrukční řešení pro zvýšení aktivní a pasivní bezpečnosti a dále je vysvětleno testování těchto systémů v nárazových zkouškách a hodnocení těchto zkoušek podle biomechanických limitů. Pozornost je také věnována využití a přínosu počítačových simulací v této oblasti. Popsán je i postup při provádění těchto simulací včetně používaných softwarů a příkladů úspěšných aplikací počítačových simulací v praxi.

**Klíčová slova:** bezpečnost, počítačová simulace, crash test, biomechanické limity, Euro NCAP

## **Annotation**

The goal of this bachelor thesis is to build up a compact overview of recent development in automotive safety, concrete methods and results reached in this branch. Here are briefly described solutions for improvement of active and passive safety and next is explained testing of these systems in crash tests and assessment of these tests by using biomechanical limits. Attention is also given to the usage and benefit of computational simulations. Next are described procedures of simulations and also software used for these simulations. Then there are mentioned examples of successful applications of computational simulations.

**Key words:** safety, computational simulation, crash test, biomechanical limits, Euro NCAP

**Bibliografická citace:** KRKOŠKA, K. *Počítačové simulace v oblasti bezpečnosti vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 50 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Ramík.

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci, *Počítačové simulace v oblasti bezpečnosti vozidel*, vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Pavla Ramíka s využitím zdrojů uvedených v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis studenta

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat všem, kteří mi při psaní této práce byli nápomocni. Zvláštní poděkování patří společnosti Evektor, spol. s.r.o. za umožnění návštěvy, zvláště pak Ivu Grácovi za jeho věnovaný čas a předané odborné znalosti. Samozřejmě bych také rád poděkoval svému vedoucímu Ing. Pavlu Ramíkovi za jeho ochotu, věcné rady a užitečná doporučení k mé práci.

## Obsah

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 Úvod.....                                                                         | 10 |
| 2 Rozdělení bezpečnostních prvků .....                                              | 10 |
| 3 Prvky aktivní bezpečnosti .....                                                   | 11 |
| 3.1 Podvozkové systémy.....                                                         | 11 |
| 3.2 Systémy varující před srážkou a před neúmyslným vybočením z jízdního pruhu..... | 12 |
| 3.3 Systémy pro noční vidění a adaptabilní světlomety.....                          | 12 |
| 4 Prvky pasivní bezpečnosti pro cestující ve vozidle .....                          | 13 |
| 4.1 Deformační zóny.....                                                            | 13 |
| 4.2 Bezpečnostní pásy a jejich doplňkové systémy .....                              | 14 |
| 4.3 Hlavové opěrky .....                                                            | 15 |
| 4.4 Airbagy.....                                                                    | 15 |
| 5 Ochrana chodců.....                                                               | 16 |
| 5.1 Aktivní spoiler a kapota .....                                                  | 16 |
| 5.2 Airbagy pro chodce.....                                                         | 17 |
| 6 Testy pasivní bezpečnosti automobilů .....                                        | 18 |
| 7 Biomechanická kritéria a limity.....                                              | 18 |
| 7.1 Index zatížení hlavy – HIC kritérium .....                                      | 18 |
| 7.2 Kritérium měkké tkáně hrudníku – VC kritérium.....                              | 19 |
| 8 Zákoné předpisy v oblasti pasivní bezpečnosti vozidel .....                       | 19 |
| 8.1 Předpis EHK-R 94 Ochrana cestujících při čelním nárazu.....                     | 20 |
| 8.2 Předpis EHK-R 95 Ochrana cestujících při bočním nárazu.....                     | 20 |
| 9 Euro NCAP .....                                                                   | 21 |
| 10 Testy prováděné Euro NCAP.....                                                   | 22 |
| 10.1 Kategorie vozidel dle Euro NCAP .....                                          | 22 |
| 10.2 Čelní náraz .....                                                              | 22 |
| 10.3 Boční náraz .....                                                              | 23 |
| 10.4 Náraz na kůl .....                                                             | 23 |
| 10.5 Ochrana chodců.....                                                            | 24 |
| 11 Figuríny a impaktory používané při testech.....                                  | 25 |
| 11.1 Vybavení figurín Hybrid III a EuroSID II .....                                 | 25 |
| 11.2 Vybavení a konstrukce jednotlivých impaktorů .....                             | 26 |
| 11.2.1 Impaktor dospělé a dětské hlavy .....                                        | 26 |
| 11.2.2 Impaktor stehna.....                                                         | 27 |
| 11.2.3 Impaktor dolní končetiny .....                                               | 28 |
| 12 Hodnocení zkoušek prováděných Euro NCAP .....                                    | 30 |
| 12.1 Hodnotící kritéria a limitní hodnoty pro čelní náraz .....                     | 30 |
| 12.1.1 Hlava .....                                                                  | 30 |
| 12.1.2 Krk .....                                                                    | 31 |
| 12.1.3 Hrudník .....                                                                | 31 |
| 12.1.4 Koleno, stehno a pánev .....                                                 | 31 |
| 12.1.5 Dolní část nohy .....                                                        | 32 |
| 12.1.5 Chodidlo, kotník.....                                                        | 32 |
| 12.1.6 Modifikátory pro čelní náraz.....                                            | 32 |
| 12.2 Hodnotící kritéria a limitní hodnoty pro boční náraz.....                      | 32 |
| 12.2.1 Hlava .....                                                                  | 32 |
| 12.2.2 Hrudník .....                                                                | 33 |



|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 12.2.3 Břicho .....                                                          | 33 |
| 12.2.4 Pánev .....                                                           | 33 |
| 12.2.5 Modifikátory pro boční náraz .....                                    | 33 |
| 12.3 Hodnotící kritéria a limity pro náraz na kúl .....                      | 33 |
| 12.4 Hodnotící kritéria pro ochranu chodců .....                             | 33 |
| 12.5 Výsledné hodnocení testů .....                                          | 34 |
| 12.5.1 Grafické znázornění úrovně ochrany jednotlivých částí těla .....      | 34 |
| 12.5.2 Grafické znázornění ochrany chodců a hodnocení pomocí hvězdiček ..... | 35 |
| 12.5.3 Celkové hodnocení vozu .....                                          | 35 |
| 13 Porovnání zákonných požadavků a hodnocení dle Euro NCAP .....             | 36 |
| 14 Počítačové simulace v oblasti bezpečnosti vozidel .....                   | 36 |
| 14.1 Prováděné druhy počítačových simulací .....                             | 37 |
| 14.2 Vyhodnocení výsledků simulace .....                                     | 39 |
| 15 Software používaný v oblasti počítačových simulací .....                  | 40 |
| 15.1 Translátory .....                                                       | 40 |
| 15.2 Preprocesory .....                                                      | 41 |
| 15.2 Solvery .....                                                           | 41 |
| 15.3 Postprocesory .....                                                     | 41 |
| 16 Postup při provádění počítačové simulace crash testu .....                | 41 |
| 16.1 Příprava modelu .....                                                   | 41 |
| 16.2 Početní řešení .....                                                    | 42 |
| 16.3 Vyhodnocení početního řešení .....                                      | 42 |
| 16.4 Grafické znázornění postupu počítačové simulace .....                   | 43 |
| 17 Příklady úspěšných aplikací počítačových simulací v praxi .....           | 44 |
| 17.1 PAM-CRASH ve Škoda Auto a.s. ....                                       | 44 |
| 17.2 PAM-CRASH a jeho přínos v SEATu .....                                   | 45 |
| 17.3 PAM-SAFE a jeho přínos pro TRW Automotive .....                         | 46 |
| 18 Závěr .....                                                               | 47 |
| 19 Seznam použitých zdrojů .....                                             | 48 |
| 20 Seznam obrázků .....                                                      | 49 |
| 22 Seznam tabulek .....                                                      | 50 |

## 1 Úvod

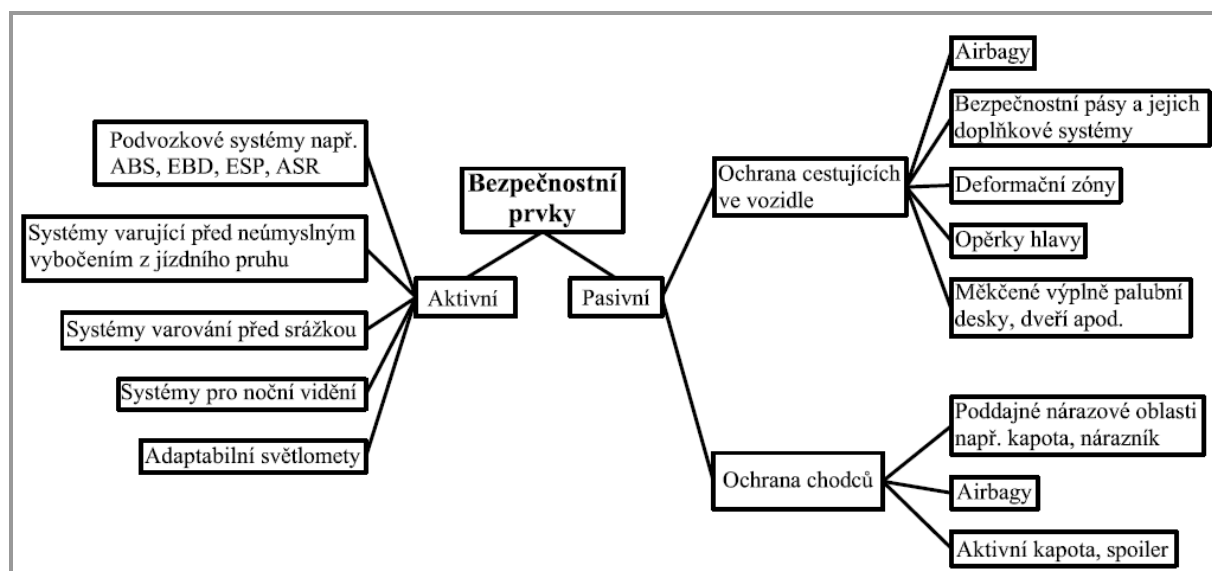
Bezpečnost automobilů prošla dlouhým vývojem. Před 60 lety byla tato oblast považována za okrajovou a nebyla ji věnována prakticky žádná pozornost. Postupem času, hlavně kvůli zvyšujícímu se počtu dopravních nehod a jejich vážným následkům, se inženýři začali této problematice více věnovat. Byly prováděny první crash testy a první pokusy o vylepšení konstrukce automobilů, aby se dosáhlo větší bezpečnosti. Vývoj dospěl až do současnosti, kdy se úroveň poskytované aktivní a pasivní bezpečnosti stala důležitou součástí marketingové kampaně výrobců automobilů. Automobily jsou vybaveny řadou aktivních a pasivních bezpečnostních prvků, při jejichž vývoji se stále více využívají počítačové simulace. Správná funkčnost bezpečnostních prvků je dále ověřována jak testy na splnění zákonných bezpečnostních limitů, tak nezávislými organizacemi jako např. Euro NCAP.

## 2 Rozdělení bezpečnostních prvků

Jak je vidět na Obr. 1, bezpečnostní prvky se dělí na aktivní a pasivní. Aktivní prvky jsou ty, které mají pomáhat předcházet nebezpečným situacím a nehodám. Jedná se především o doplňkové systémy brzd jako ABS a EBV, dále stabilizační systémy ESP a protipokluzové systémy ASR. Předcházet nehodám pomáhají systémy varující před neúmyslným vybočením z jízdního pruhu a systémy varování před překážkou a možnou srážkou. V noci výrazně pomáhají systémy pro noční vidění a adaptabilní světlomety.

Pasivní prvky jsou ty, které začínají působit až v případě, kdy dojde k nehodě. Tyto prvky se dají rozdělit na prvky pro ochranu cestujících ve vozidle a na prvky pro ochranu chodců. Jejich úkolem je co nejvíce minimalizovat riziko zranění. Mezi hlavní pasivní bezpečnostní prvky patří airbagy, bezpečnostní pásy a jejich doplňkové systémy, opěrky hlavy a měkčené výplně palubní desky, dveří apod. Důležitým prvkem je také přítomnost dostatečně velkých a účinných deformačních zón.

Pro ochranu chodců je důležitý tvar přední části karosérie, zejména nárazníků a kapoty. Tyto oblasti by měly být co nejvíce zaobleny a mít velkou poddajnost. Dále se využívá airbagů, které mohou překrývat přední část kapoty nebo A sloupky a část čelního skla. Pro měkčí dopad hlavy na kapotu se používá aktivní kapota, pro snížení rizika poranění dolní končetiny i aktivní spoiler.



Obr. 1 Rozdělení bezpečnostních prvků

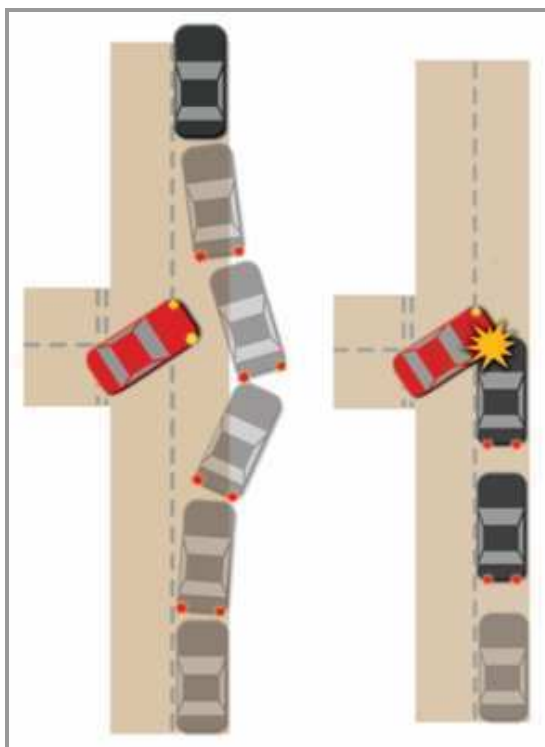
## 3 Prvky aktivní bezpečnosti

### 3.1 Podvozkové systémy

Základem dobrého chování vozu na silnici je podvozek. Důležitá je zejména správná funkce tlumičů a brzd. Základní doplňkové systémy jsou stručně popsány v Tab. 1. Na doplňujícím Obr. 2 je znázorněna funkce ABS při krizové situaci.

Tab. 1 Doplňkové podvozkové systémy

| Oblast působení systému | Zkratka                               | Funkce                                                                                            |
|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Brzdy                   | ABS<br>Anti-lock Braking System       | Systém zabráňující zablokování kol při prudkém brzdění                                            |
|                         | MBA<br>Mechanical Brake Assist        | Podpora při kritickém brzdění, systém vyvine maximální brzdny výkon                               |
|                         | EBD<br>Electronic Brake Distribution  | Elektronický rozdělovač brzdné síly, umožňuje maximální účinnost brzd přední a zadní nápravy      |
| Chování vozu na silnici | ASR<br>protiprokluzový systém         | Systém umožňuje plynulý rozjezd a omezuje prokluz kol při rozjezdu do kopce či po kluzkém povrchu |
|                         | ESP<br>Electronic Stability Programme | Elektronický stabilizační systém pomáhá udržet zvolenou stopu přibrzdováním jednotlivých kol      |

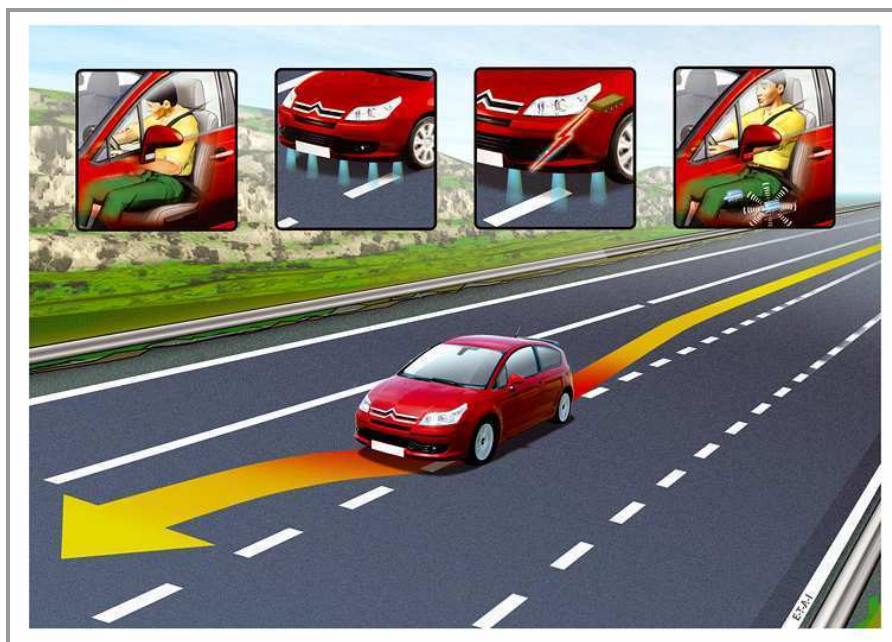


Obr. 2 Průběh krizové situace s ABS a bez ABS [9]

### 3.2 Systémy varující před srážkou a před neúmyslným vybočením z jízdního pruhu

Systémy varování před neúmyslným vybočením z jízdního pruhu jsou poměrně moderním systémem. Fungují většinou na principu infračervených senzorů nebo kamer. Ty snímají značení na vozovce a pokud vůz začne opouštět jízdní pruh, vydá řídicí jednotka varovný signál v podobě vibrací volantů nebo sedačky, akustického signálu nebo světelného signálu. Některé systémy jsou schopny mírná vychýlení z jízdního pruhu samy korigovat. Funkce systému a průběh varování u vozu Citroën C4 je znázorněn na Obr. 3.

Systémy varování před srážkou bývají většinou založeny na principu radaru, případně na kombinaci radaru a kamery. Tyto přístroje sledují dění před vozidlem a pokud zaznamenají nebezpečí kolize, upozorní řidiče akusticky, opticky nebo vibracemi a zároveň řídicí jednotka připraví brzdovou soustavu na poskytnutí maximálního brzdného výkonu. Další oblastí, která je sledována, je zóna tzv. mrtvého úhlu ve zpětném zrcátku, pokud se v této zóně nachází jiný automobil, je na to řidič upozorněn optickým signálem.



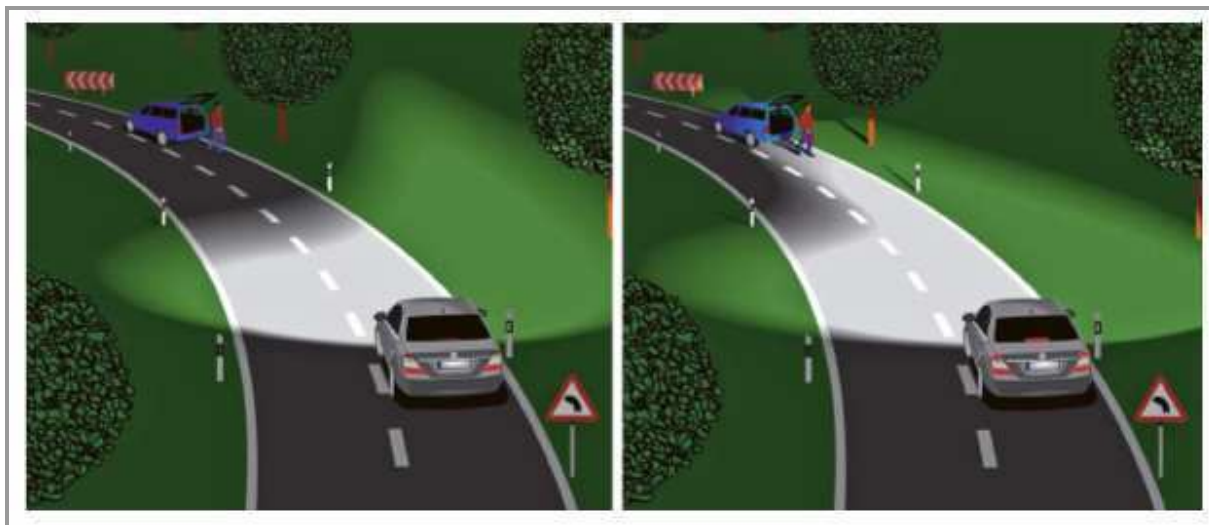
Obr. 3 Funkce systému pro varování před vybočením z jízdního pruhu [10]

### 3.3 Systémy pro noční vidění a adaptabilní světlomety

Pro zvýšení bezpečnosti při jízdě v noci se automobily vybavují adaptabilními světlomety. Jejich funkce spočívá v tom, že se dokáží přizpůsobit měnícím se vnějším podmínkám. Pokud vozidlo jede do zatáčky, řídicí elektronika natočí světlomety do příslušného směru tak, aby byla osvětlena oblast, kam vozidlo směřuje. Porovnání osvětleného prostoru při průjezdu zatáčkou s konvenčním a adaptabilním světlometem je znázorněno na Obr. 4. Nejmodernější adaptabilní světlomety jsou schopny autonomně přepínat dálková světla a volit další režimy světla v závislosti na rychlosti jízdy a klimatických podmínkách.

Dalším bezpečnostním prvkem pro zvýšení bezpečnosti jízdy v noci jsou systémy pro noční vidění. Tyto systémy jsou založeny na infračervené kameře, která sleduje prostor před vozem a situaci černobíle promítá na displej na palubní desce nebo na čelní sklo. Předměty s vyšší

teplotou se zobrazují jasněji, takže chodci a zvířata mají na obraze nejjasnější barvu. Výhled z vozu vybaveného systémem pro noční vidění je na Obr. 5.



Obr. 4 Porovnání konvenčního a adaptabilního světlometu [10]



Obr. 5 Systém nočního vidění v praxi [11]

## 4 Prvky pasivní bezpečnosti pro cestující ve vozidle

### 4.1 Deformační zóny

Úkolem deformačních zón je přeměna kinetické energie automobilu na přetvárnou práci při deformaci konstrukčních prvků vozu, což způsobí rozložení nárazu na delší dobu. Hlavní deformační zóny se nacházejí v přední a zadní části vozidla. Čím jsou deformační zóny delší, tím více energie jsou schopny absorbovat a snižuje se rychlost decelerace a s tím klesá zatížení působící na cestující. Vytvoření dostatečně dlouhých deformačních zón na boku vozidla je z konstrukčního hlediska velmi obtížné, proto se výrobci snaží spíše o co největší vyztužení těchto partií vozu.

## 4.2 Bezpečnostní pásy a jejich doplňkové systémy

Bezpečnostní pásy slouží k upoutání cestujících ve vozidle. Při nárazu se vozidlo zastaví za velmi krátký časový úsek, ale tělo má tendenci pokračovat v původním pohybu. Pokud by tělo nebylo upoutáno, pohybovalo by se původní rychlostí, až by došlo k nárazu na palubní desku, volant apod. Při takovémto nárazu by tělo bylo vystaveno velkému přetížení. Upoutané tělo se pohybuje se stejnou decelerací jako zbytek vozu a tím se působící síly rozloží na delší časový interval, což znamená, že výsledné přetížení bude menší. Zde je vazba s deformačními zónami, neboť na jejich schopnosti absorpce energie nárazu záleží, na jakou dobu se energie nárazu rozloží. Bezpečnostní pásy se dělí podle počtu upínacích bodů, nejčastější jsou pásy třibodové, na zadní prostřední sedačce se někdy používá pás dvoubodový. U sportovních vozů se objevují pásy čtyřbodové a u závodních automobilů pásy pěti až šestibodové. Bezpečnostní pásy se doplňují dalšími systémy, které mají zvýšit účinnost pásů. Stručný přehled těchto prvků je v Tab. 2.

Tab. 2 Přehled doplňkových systémů pro pásy

| Doplňkový systém            | Funkce                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Samonavíjecí mechanismus    | Umožňuje nastavení optimální délky pásu osobám různého vzrůstu                                                                                                                                       |
| Blokovací mechanismus       | Zamezí odvíjení pásu v případě aktivace mechanismu, např. při maximálním zrychlení při nárazu, při převrácení auta apod.                                                                             |
| Předpínače pásů             | V případě nárazu přitáhne systém pás co nejvíce k tělu aby se zvýšila účinnost pásu. Systém pracuje nejčastěji na pyrotechnickém principu. Funkce pyrotechnického mechanismu je znázorněna na Obr. 6 |
| Omezovače tahu              | Pokud dojde k meznímu tlaku pásu na tělo, omezovač tahu pás povolí aby tak snížil působící zatížení                                                                                                  |
| Připomínač nezapnutého pásu | Pokud se osoba na sedadle nepřipoutá, systém tuto skutečnost nejčastěji oznamuje akustickým a světelným signálem                                                                                     |

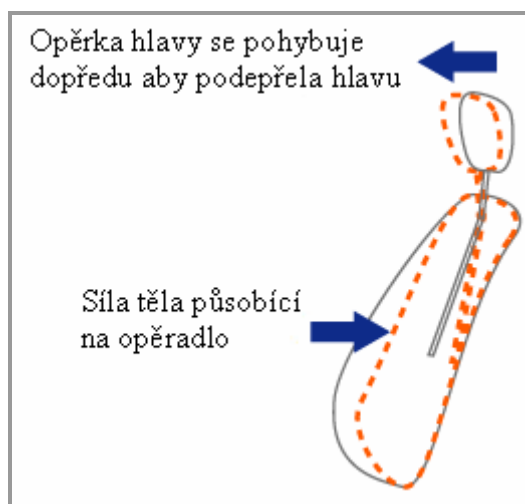


Obr. 6 Mechanismus předpínače pásů [12]

### 4.3 Hlavové opěrky

Hlavové opěrky brání pohybu hlavy vzad, aby nedošlo k hyperflexi krční páteře. Nebezpečí tohoto zranění hrozí hlavně při nárazu zezadu, kdy se tělo začne pohybovat vlivem nárazu dopředu, ale hlava zůstává na místě. Hlavní nebezpečí je v tom, že k poměrně vážným zraněním dochází i při malých rychlostech. Hlavové opěrky jsou zpravidla výškově stavitelné, což umožňuje přizpůsobení výšce řidiče. Správná funkce záleží právě na tom, zda je opěrka správně nastavena. Ve správné poloze by horní okraj opěrky měl být ve stejné výšce jako temeno a vzdálenost mezi hlavou a opěrkou by neměla přesáhnout 4 centimetry.

Pro zvýšení účinnosti hlavových opěrek se nyní vozy vybavují tzv. aktivními opěrkami. Jedná se o různé systémy, které v případě nehody posunují opěrku blíže k hlavě, případně opěrkou posunují i mírně nahoru. Systém může být řešen mechanicky, jak je znázorněno na Obr. 7, to znamená přes pákový mechanismus umístěný v sedadle, který se aktivuje pohybem těla vzad. Další možností je použití servomotorů, které posunou opěrku vpřed na základě signálu ze snímače zrychlení. Jiným řešením je spojení opěrky a sedadla do jednoho aktivního prvku, jak je tomu u automobilů značky Volvo. U tohoto systému se při nárazu zezadu pohybuje celé sedadlo tak, aby co nejvíce podepřelo tělo a ztlumilo náraz.



Obr. 7 Mechanismus aktivní opěrky hlavy [13]

### 4.4 Airbagy

Airbag se dnes již řadí ke standardní výbavě automobilu. Rozlišují se jednotlivé druhy podle jejich umístění v automobilu. Ilustrační rozmístění airbagů je na Obr. 8. Nejstarším používaným typem jsou čelní airbagy. Dále existují airbagy boční, okenní, kolenní, v poslední době i airbagy stropní. Nově se také montují airbagy do sedáku sedaček, kde zamezují proklouznutí pod bezpečnostním pásem. Airbag je v podstatě vak, který se při nárazu nafukuje ve zlomcích sekund. Nafouknutí je realizováno pyrotechnickou náloží, která vyvine velké množství zdraví neškodného plynu. Hlavní funkcí airbagu je ochránit posádku před kontaktem s tvrdými předměty ve vozidle. Adaptabilní airbagy jsou vybaveny senzory pro snímání intenzity nárazu a polohy cestujícího, které ovlivňují plnění vaku. Při slabším nárazu se airbag nafoukne méně, při silném více.





Obr. 8 Rozmístění airbagů ve vozidle [12]

## 5 Ochrana chodců

Mezi prvky pro ochranu chodců se řadí i některé prvky aktivní bezpečnosti. Jedná se především o systémy pro noční vidění, adaptabilní světlomety, případně o systémy varování před překážkou před vozidlem. Tyto systémy umožňují dřívější zpozorování chodce či cyklisty, čímž se značně zvyšuje možnost bezpečného vyhnutí.

Při kolizi vozidla s chodcem hraje velkou roli v jaké výšce dojde ke kontaktu nohy s nárazníkem. Pokud je nárazník příliš vysoko, hrozí vážné zranění kolena. Na druhou stranu, pokud je nárazník příliš nízko, vzniká velký točivý impuls a vysoká rychlost nárazu hlavy na kapotu nebo čelní sklo. V ideálním případě by měla mít přední část vozidla, která může přijít do kontaktu s chodcem co největší poddajnost. Dosáhnout tohoto stavu je ale kvůli dalším požadavkům na přední část vozu značně komplikované. Proto jsou vyvíjeny systémy, které přispívají ke zlepšení bezpečnosti chodců.

### 5.1 Aktivní spoiler a kapota

Aktivní spoiler se v případě nárazu vysune dopředu, čímž se jednak sníží plošné zatížení na nohu díky větší kontaktní ploše, jednak se sníží riziko poranění kotníkové oblasti. Pro zvýšení ochrany hlavy se používá aktivní kapota, ta se při nárazu na základě pyrotechnické nálože nadzvedne o několik centimetrů, čímž se značně zvětší vzdálenost mezi relativně měkkou kapotou a tvrdými částmi v motorovém prostoru. Průběh funkce aktivní kapoty je postupně zachycen na sérii snímků na Obr. 9.





Obr. 9 Průběh aktivace kapoty při střetu s chodcem [13]

## 5.2 Airbagy pro chodce

V přední části vozu je několik míst, kde se jen velmi těžko vytváří relativně měkká dopadová plocha pro kontakt těla chodce s vozem. Jedná se především o A sloupky, které jsou z konstrukčních důvodů velmi silné, dále se jedná o čelní sklo a u vozů kategorie Off-Road nebo SUV téměř o celou oblast přední části vozu. Jako řešení se používají airbagy, jejichž konstrukce a princip je stejný jako u airbagů pro ochranu cestujících. Jejich úkolem je zamezit tvrdému kontaktu, který způsobuje vážná zranění. Na Obr. 10 je vidět funkce airbagu kryjícího A sloupek v součinnosti s aktivní kapotou. Obr. 11 ukazuje airbag pro vozy kategorie Off-Road a SUV, který překrývá tvrdou hranu kapoty a přispívá tak k lepší ochraně chodců.



Obr. 10 Airbag přes A sloupek s aktivní kapotou [14]



Obr. 11 Airbag pro ochranu chodců před hranou kapoty [14]

## 6 Testy pasivní bezpečnosti automobilů

Bezpečnostní prvky automobilu prochází několika testy. Nejdříve je jejich účinnost prověřována již během vývojové fáze automobilu. Pokud je nový model automobilu připraven pro sériovou výrobu, musí nejdříve projít sérií testů, aby se ověřilo, zda splňuje bezpečnostní požadavky dané legislativou příslušné země, kde má být vozidlo provozováno. Dalším testem, kterému může být automobil podroben, je test některé nezávislé organizace zabývající se otázkou bezpečnosti automobilů. V Evropě je nejznámější organizace Euro NCAP. Výsledky všech těchto testů jsou hodnoceny pomocí biomechanických kritérií a podle kritérií týkajících se deformací určitých částí vozu.

## 7 Biomechanická kritéria a limity

Biomechanická kritéria a limity jednotlivých lidských tkání a orgánů byly stanoveny na základě mnoha experimentálních pokusů se zvířaty a lidskými mrtvolami. Při těchto pokusech se zjišťují mezní hodnoty při kterých dochází ke zlomeninám a poškození orgánů. „Hranice mezi přípustnými a nepřípustnými hodnotami jsou tzv. kritéria poranění, ze kterých pak s příslušnou mírou bezpečnosti jsou odvozena kritéria ochrany. Kritéria ochrany (bezpečnostní limity) představují mezní hodnoty mechanického zatížení (síly, zrychlení), které lze měřit na zkušebních figurínách a které nesmí být překročeny.“ ([3]) Některé limity nejsou měřeny přímo, ale vypočítávají se z naměřených hodnot, např. HIC kritérium a VC kritérium.

### 7.1 Index zatížení hlavy – HIC kritérium

HIC (Head Injury Criterion) je kritérium užívané pro posouzení možnosti poranění hlavy. Hodnota HIC kritéria se stanovuje výpočtem z naměřených hodnot jednotlivých zrychlení hlavy v závislosti na čase. Starší ekvivalent HIC kritéria je HPC kritérium.

Postup výpočtu: 1) určení výsledné velikosti zrychlení  $a_r$ :

$$a_r = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad [\text{g}] \quad (7.1-1)$$

kde  $a_x$  je zrychlení ve směru x  
 $a_y$  je zrychlení ve směru y  
 $a_z$  je zrychlení ve směru z

2) integrace zrychlení podle času:

$$HIC = \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a_r dt \right]^{2,5} \cdot (t_2 - t_1)_{\max} \quad (7.1-2)$$

kde  $t_1, t_2$  [s] jsou doby, mezi kterými leží maximum HIC

## 7.2 Kritérium měkké tkáně hrudníku – VC kritérium

VC (Viscous Criterion) je kritérium užívané pro posouzení možnosti poranění hrudníku. Při výpočtu se vychází z okamžitých hodnot deformace hrudníku.

Postup výpočtu: 
$$VC = \frac{d[D(t)]}{dt} \cdot \frac{D(t)}{D} \quad [\text{m/s}] \quad (7.2-1)$$

kde  $D(t)$  je deformace hrudníku v čase

$D$  je dohodnutý rozměr, např. polovina šířky hrudníku

## 8 Zákonné předpisy v oblasti pasivní bezpečnosti vozidel

V zemích Evropské unie se oblast bezpečnosti automobilů řídí předpisy EHK OSN, v zemích USA platí norma FMVSS. Tyto předpisy se věnují mnoha dílčím částem vozidla. Jejich přehled je uveden v Tab. 3, která byla převzata z ([3]). Pro účely porovnání požadavků zákonných předpisů s hodnocením bezpečnosti dle Euro NCAP jsou dále uvedeny podrobně pouze předpisy pro čelní náraz EHK – R94 a boční náraz EHK – R95.

Tab. 3 Předpisy zjišťující vnitřní pasivní bezpečnost cestujících ([3])

| Část vozidla                                         | Předpis EHK | Norma FMVSS |
|------------------------------------------------------|-------------|-------------|
| zámký a závěsy dveří (OA)                            | R 11        | 206         |
| náraz na sloupek řízení (OA)                         | R 12        | 203, 204    |
| úchyty bezpečnostních pásů (OA)                      | R 14        | 210         |
| bezpečnostní pásy pro dospělé (OA, NA, A)            | R 16        | 208, 209    |
| pevnost sedadel a jejich uchycení (OA)               | R 17        | 207         |
| vnitřní výčnělky osobních vozidel (OA)               | R 21        | 201         |
| opěrky hlavy (OA, NA, A)                             | R 25        | 202         |
| pevnost budek nákladních vozidel (NA)                | R 29        | 208         |
| náraz na vozidlo zezadu (OA)                         | R 32        | 301         |
| náraz na vozidlo zepředu (OA)                        | R 33        | 208, 301    |
| ochrana proti požáru (OA)                            | R 34        | 301         |
| konstrukce vozidel pro hromadnou přepravu osob (A)   | R 36        |             |
| bezpečnostní skla a zasklívací materiály (OA, NA, A) | R 43        | 205, 212    |
| zadržovací zařízení pro děti (OA)                    | R 44        | 213         |
| zařízení proti podjetí zezadu (NA)                   | R 58        |             |
| pevnost karoserie autobusu (A)                       | R 66        |             |
| boční ochrana (NA, P)                                | R 73        |             |
| sedadla a úchyty (A)                                 | R 80        |             |
| zařízení proti podjetí zepředu (NA)                  | R 93        |             |
| ochrana cestujících při čelním nárazu (OA)           | R 94        | 208         |
| ochrana cestujících při bočním nárazu (OA)           | R 95        | 214, 301    |
| převrácení na střechu (OA)                           |             | 216         |

Pozn. OA - osobní automobily, NA - nákladní automobily, A - autobusy, P - přípojná vozidla

## 8.1 Předpis EHK-R 94 Ochrana cestujících při čelním nárazu

**Provedení testu:** „Automobil je vyslán proti deformovatelné bariéře (minimální hmotnost bariéry 70 tun), přičemž jde o náraz se 40% přesazením, tedy automobil narazí kolmo do deformovatelné bariéry 40 procenty své šířky. V okamžiku nárazu musí být rychlost nejméně 54 až 56 km/h, pokud automobil absolvuje úspěšně zkoušku ve vyšší rychlosti, je výsledek uznán. Používá se zkušební figurína Hybrid III.“ ([4])

**Sledovaná kritéria:** viz Tab. 4

Tab. 4 Zákonné biomechanické limity pro čelní náraz

| Část těla | Používané kritérium                                                                           | Mezní přípustná hodnota                                      |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Hlava     | HPC (head performance criterion)<br>výsledné zrychlení hlavy $a_r$                            | HPC<1000<br>$a_r$ nesmí přesáhnout 80g po dobu delší než 3ms |
| Šíje      | NIC (neck injury criterion)                                                                   | Ohybový moment šíje okolo osy nesmí přesáhnout 57 Nm         |
| Hrudník   | ThCC biomechanické stlačení hrudníku<br>VC (viscous criterion) kritérium měkké tkáně hrudníku | maximálně 50 mm<br>maximálně 1,0 m/s                         |
| Stehna    | TCFC biomechanické stlačení stehenní kosti                                                    | maximálně 8 kN                                               |

Dále se sleduje zachování dostatečného prostoru pro přežití posádky. Tento požadavek je specifikován v předpisu EHK – R 33. Náraz je zde realizován při rychlosti 48,3 km/h (30 mph) do pevné bariéry.

## 8.2 Předpis EHK-R 95 Ochrana cestujících při bočním nárazu

**Provedení testu:** „Do pravého boku stojícího vozidla narazí pohyblivá bariéra rychlostí 50 km/h (s tolerancí 1 km/h). Pokud automobil absolvuje úspěšně zkoušku ve vyšší rychlosti, je výsledek uznán. Pohyblivá bariéra má hmotnost 950 kg (tolerance 20 kg), rozchod kol 1500 mm a rozvor 3000 mm. Pro boční náraz se používá figurína EuroSID 1.“ ([4])

**Sledovaná kritéria:** viz Tab. 5

Tab. 5 Zákonné biomechanické limity pro boční náraz

| Část těla | Používané kritérium                                                                                     | Mezní přípustná hodnota                                      |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Hlava     | HPC (head performance criterion)<br>výsledné zrychlení hlavy $a_r$                                      | HPC<1000<br>$a_r$ nesmí přesáhnout 80g po dobu delší než 3ms |
| Hrudník   | RDC (rib deflection criterion) deformace žeber<br>VC (viscous criterion) kritérium měkké tkáně hrudníku | maximálně 42 mm<br>maximálně 1,0 m/s                         |
| Pánev     | PSPF (pubic symphysis peak force) maximální zatížení stydkých kostí                                     | maximálně 6 kN                                               |
| Břicho    | APF (abdomen peak force) maximální zatížení břicha                                                      | maximálně 2,5 Kn                                             |

## 9 Euro NCAP

Euro NCAP – New Car Assessment Programme (Program hodnocení nových automobilů), je nezávislá evropská asociace, jejímž cílem je poskytovat jak motoristické veřejnosti, tak i výrobcům automobilů realistické a nezávislé hodnocení úrovně pasivní bezpečnosti u nejpobulárnějších aut prodávaných v Evropě. Euro NCAP není nijak ovlivňováno průmyslem ani politicky. Nezávislost je podpořena velkým počtem významných organizací zapojených do programu (viz Tab. 6). ([1])

Tab. 6 Organizace zapojené do programu Euro NCAP, tabulka převzata z [1]

|                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br><b>Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e V (ADAC)</b><br><a href="http://www.adac.de">www.adac.de</a>                                   | <br><b>Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung</b><br><a href="http://www.bmvbs.de">www.bmvbs.de</a>                    |
| <br><b>Department for Transport (DfT)</b><br><a href="http://www.dft.gov.uk">www.dft.gov.uk</a>                                              | <br><b>Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Management</b><br><a href="http://www.minvenw.nl">www.minvenw.nl</a>         |
| <br><b>Ministère des Transports</b><br><a href="http://www.mt.public.lu">www.mt.public.lu</a>                                              | <br><b>Generalitat de Catalunya</b><br><a href="http://www.gencat.net/treball">www.gencat.net/treball</a>                             |
| <br><b>International Consumer Research and Testing</b><br><a href="http://www.international-testing.org">www.international-testing.org</a> | <br><b>Ministère de l'Équipement</b><br><a href="http://securiteroutiere.equipement.gouv.fr">securiteroutiere.equipement.gouv.fr</a> |
| <br><b>SRA</b><br><a href="http://www.vv.se">www.vv.se</a>                                                                                 | <br><b>Thatcham</b><br><a href="http://www.thatcham.org">www.thatcham.org</a>                                                        |
| <br><b>FIA</b><br><a href="http://www.fiabrussels.com">www.fiabrussels.com</a>                                                             |                                                                                                                                                                                                                          |

## 10 Testy prováděné Euro NCAP

### 10.1 Kategorie vozidel dle Euro NCAP

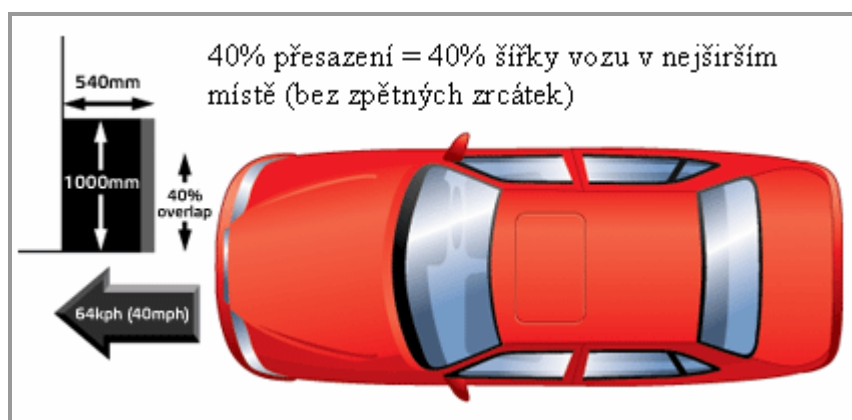
Euro NCAP provádí testy v několika kategoriích. Je to kvůli tomu, že nelze srovnávat pasivní bezpečnost luxusní limuzíny s malým vozidlem určeným do města, proto je bezpečnost testovaných vozidel vždy porovnávána v rámci příslušné kategorie. Přehled jednotlivých kategorií je vypracován v Tab. 7. Automobily, se kterými se provádí crash testy jsou nakupovány anonymně prostřednictvím běžné prodejní sítě. Tím je zaručeno že testovaný vůz je v sériovém provedení a že na něm nebyly výrobcem provedeny dodatečné úpravy. ([1])

Tab. 7 Kategorie automobilů podle Euro NCAP

| Kategorie           | Příklady automobilů z dané kategorie                                |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Supermini           | Audi A2, Citroen C3, Renault Twingo, Škoda Fabia                    |
| Malé rodinné vozy   | Audi A3, BMW řady 1, Citroen C4, Renault Megane, Peugeot 307        |
| Velké rodinné vozy  | Audi A4, BMW řady 3, Citroen C5, Škoda Octavia                      |
| Executive           | Audi A6, BMW řady 5, Honda Legend, Lexus GS, Renault Vel Satis      |
| Malá MPV            | Citroen Berlingo, Fiat Doblo, Mercedes Benz třída B, Renault Kangoo |
| Velká MPV           | Ford Galaxy, Kia Carnival, Renault Espace, Peugeot 807, VW Sharan   |
| Sportovní roadstery | Mazda MX-5, BMW Z4, Audi TT, Honda S2000                            |
| Malé Off-Road 4x4   | BMW X3, Chevrolet Captiva, Honda CR-V, Toyota RAV4                  |
| Velké Off-Road 4x4  | Audi Q7, BMW X5, Jeep Cherokee, Land Rover Discovery                |

### 10.2 Čelní náraz

Čelní náraz se provádí se 40% přesazením do deformovatelné překážky o rozměrech 1000x540 mm při rychlosti 64 km/h (40 mph). Tato modelová situace nejméně vystihuje nejčastější scénář dopravních nehod. Grafické znázornění testu je na Obr. 12. Testovaný vůz je obsazen figurínami dle Tab. 8. ([1])



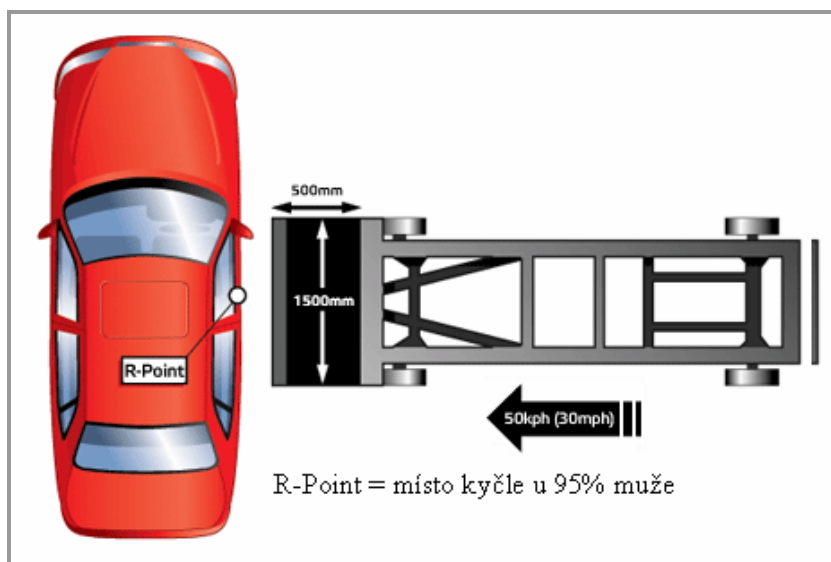
Obr. 12 Čelní přesazený náraz [1]

Tab. 8 Obsazení vozu figurínami při čelním nárazu

| Umístění figuríny ve vozidle                                                                           | Typ figuríny   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| řidič                                                                                                  | Hybrid III     |
| spolujezdec                                                                                            | Hybrid III     |
| dítě 1,5 roku v odpovídajícím dětském zádržném systému na zadní sedačce za spolujezdcem nebo uprostřed | A TNO/Ogle P1½ |
| dítě 3 roky v odpovídajícím dětském zádržném systému na zadní sedačce za řidičem nebo uprostřed        | A TNO P3       |

### 10.3 Boční náraz

Druhým nejčastějším druhem nehod je boční náraz. Boční náraz je realizován nárazem deformovatelné bariéry o rozměrech 1500x500mm a hmotnosti 950±20 kg do boku testovaného vozu rychlostí 50 km/h na stranu řidiče. Grafické znázornění testu je na Obr. 13. Testovaný vůz je obsazen figurínami dle Tab. 9. ([1])



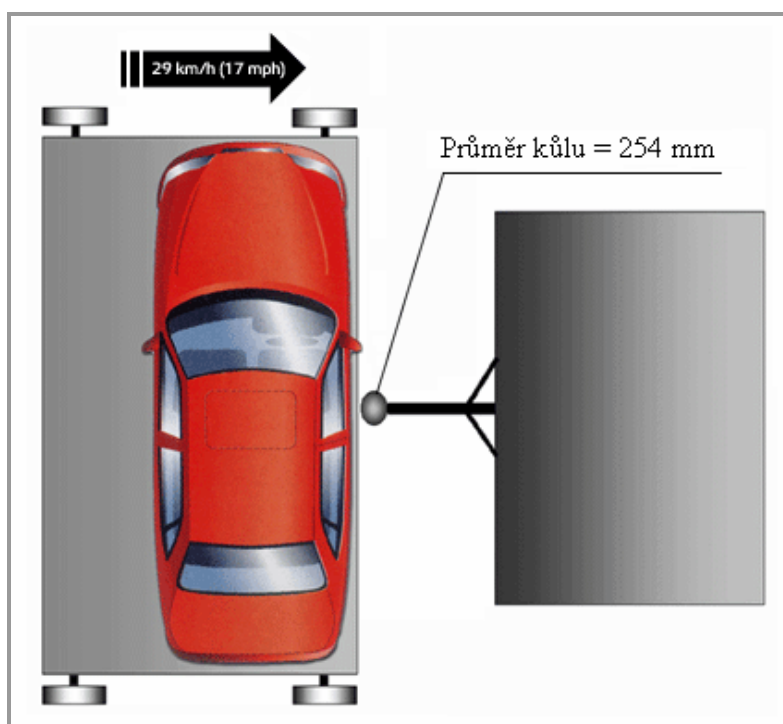
Obr. 13 Boční náraz [1]

Tab. 9 Obsazení vozu figurínami při bočním nárazu

| Umístění figuríny ve vozidle                                                                         | Typ figuríny   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| řidič                                                                                                | EuroSID II     |
| dítě 1,5 roku v odpovídajícím dětském zádržném systému na zadní sedačce za řidičem nebo uprostřed    | A TNO/Ogle P1½ |
| dítě 3 roky v odpovídajícím dětském zádržném systému na zadní sedačce za spolujezdcem nebo uprostřed | A TNO P3       |

### 10.4 Náraz na kůl

Náraz je realizován tak, že testovaný vůz je na pojízdné plošině, ta se rozjede a rychlostí 29 km/h (18 mph) vrhne bokem auto proti kůlu o průměru 254 mm, přičemž kůl je nasměrován na hlavu řidiče. Vzhledem k malé ploše kůlu dochází k velkému průniku do boku vozu. Grafické znázornění testu je na Obr. 14. Testovaný vůz je obsazen figurínami dle Tab. 10. ([1])



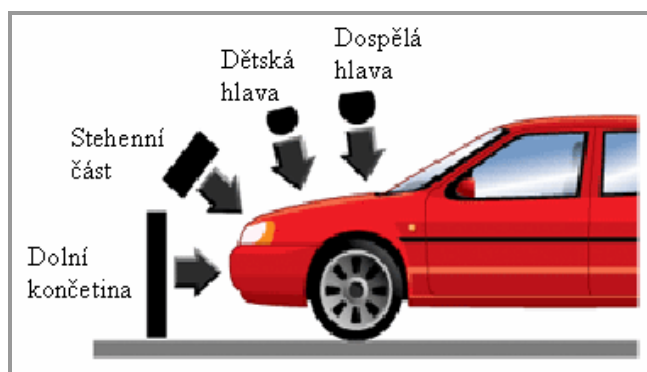
Obr. 14 Náraz na kůl [1]

Tab. 10 Obsazení vozu figurínami při nárazu na kůl

| Umístění figuríny ve vozidle | Typ figuríny |
|------------------------------|--------------|
| řidič                        | EuroSID II   |

## 10.5 Ochrana chodců

Pro zjištění úrovně poskytované ochrany při srážce s chodcem se provádí série testů. Tyto testy zahrnují dětské a dospělé chodce ve střetu s vozem jedoucím rychlostí 40 km/h (25 mph). Protože provedení testu s celou figurínou je značně obtížné, používají se tzv. impaktory. Jsou to modely jednotlivých částí těla, kterými se specifikovaným způsobem naráží do částí automobilu. Používá se impaktor dolní končetiny, kterým se zjišťuje riziko zranění při kontaktu nárazníku s nohou, dále impaktor stehenní části který přichází do kontaktu s hranou kapoty. Pro horní oblast kapoty, případně čelního skla, se používá impaktor dospělé a dětské hlavy. Testované oblasti s příslušnými impaktory jsou na Obr. 15.



Obr. 15 Znázornění testů s impaktory [1]



## 11 Figuríny a impaktory používané při testech

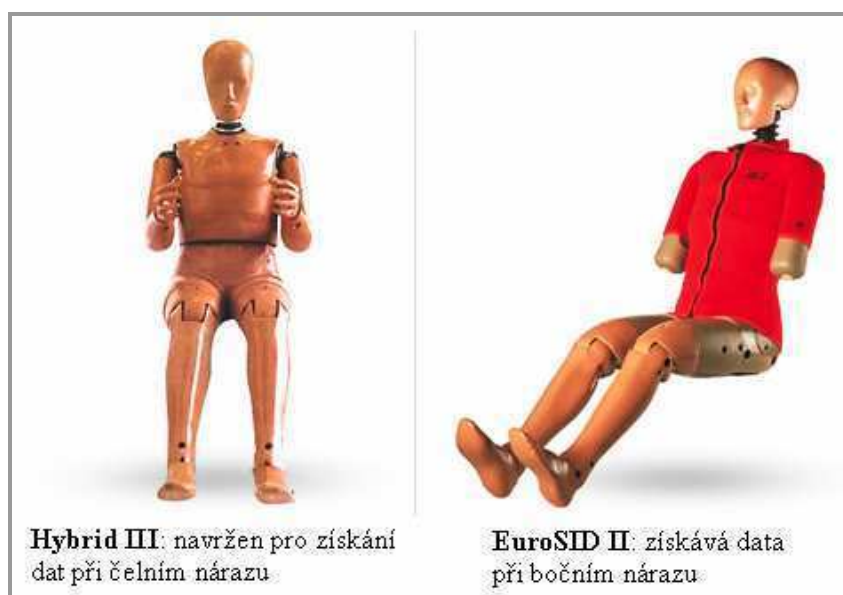
Úkolem figuríny je poskytnout důležité informace o možných zraněních pasažérů ve vozidle. Pro testy bezpečnosti chodců se používají impaktory simulující části těla. Figuríny a impaktory jsou vybaveny řadou čidel. Data z těchto čidel jsou zpracována, dále se výsledky porovnávají s biomechanickými limity a podle toho se stanoví výsledná bezpečnost.

### 11.1 Vybavení figurín Hybrid III a EuroSID II

Popis vybavy figurín pro čelní a boční náraz, tedy Hybrid III a EuroSID II jsou popsány v Tab. 11. Obr. 16 ukazuje vzhled uvedených figurín. ([1])

Tab. 11 Vybava figurín Hybrid III a EuroSID II

| Část těla         | Popis technického vybavení                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hlava             | Hlava je vyrobena z hliníku a je pokryta gumou imitující tkáň. Uvnitř jsou umístěny tři akcelerometry, které navzájem svírají úhel 90°. Tím je zajištěno měření zrychlení ve všech směrech. Z hodnot poskytovaných akcelerometry se zjistí výsledné zrychlení a síly působící na mozek.                                                                                                                                   |
| Krk               | Na krku jsou umístěny snímače pro měření ohybových, tahových a stříhových sil působících na krk během nárazu, kdy hlava setrvačností pokračuje v pohybu vpřed a následně se vrací zpátky.                                                                                                                                                                                                                                 |
| Ruce              | Na ruku figuríny nejsou žádné snímače. Při nárazu se totiž ruce pohybují v nekontrolovatelném pohybu. K vážným zraněním nedochází často a navíc je velmi složité proti nim poskytnout adekvátní ochranu.                                                                                                                                                                                                                  |
| Hrudník           | Hybrid III – ocelová žebra jsou vybavena měřicím zařízením, které zaznamenává deformace hrudního koše. Zranění v této oblasti nejčastěji pocházejí od bezpečnostních pásů.<br>EuroSID II – konstrukce hrudníku je odlišná od ostatních typů, tři žebra jsou zde vybavena zařízením na zaznamenávání stlačení hrudníku a rychlost tohoto stlačení.                                                                         |
| Břicho            | EuroSID II je vybaven senzory pro zaznamenání sil, které by mohly vést ke zranění v oblasti břicha.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Pánev             | EuroSID II má měřicí elektroniku umístěnou v pánevním pletenci. Zaznamenávají se boční síly které by mohly způsobit fraktury nebo vykloubení kyčelního kloubu.                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Horní část nohy   | Ve figuríně Hybrid III se tato oblast skládá z pánve, stehna a kolene. Snímače působících sil ve stehnu poskytují data při čelním nárazu. Z těchto dat lze vyvodit možná zranění všech částí včetně kyčelního kloubu, který může být postižen frakturami nebo vykloubením. Snímač posunutí umístěný v koleně měří síly působící na koleno figuríny, zvláště pokud dojde ke kontaktu kolene se spodní částí palubní desky. |
| Dolní část nohy   | Snímače umístěné v nohách figuríny snímají ohybové, stříhové, tlakové a tahové síly působící na tibi (holenní kost) a fibulu (lýtková kost).                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Chodidlo a kotník | Možnost poranění chodidla a kotníku se nevyhodnocuje z údajů získaných z figuríny, ale změřením posunutí a deformace oblasti pedálů.                                                                                                                                                                                                                                                                                      |



Obr. 16 Figuríny Hybrid III (vlevo) a EuroSID II [1]

## 11.2 Vybavení a konstrukce jednotlivých impaktorů

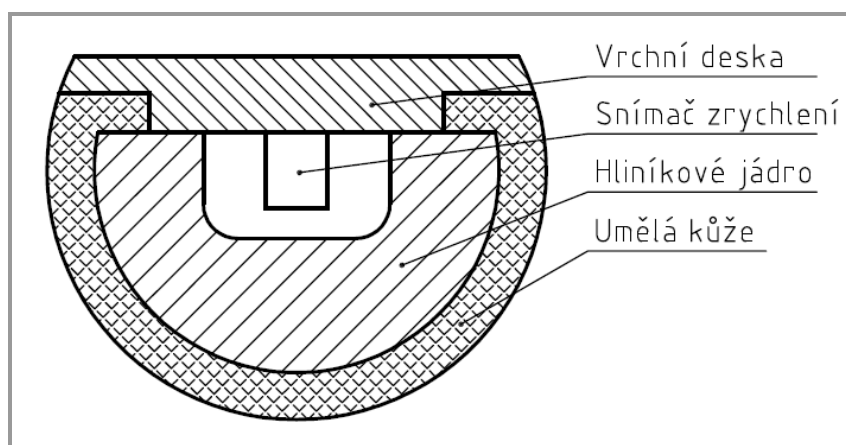
Při popisu a kreslení impaktorů bylo čerpáno z textu [16] a k tomu příslušné prezentace [17].

### 11.2.1 Impaktor dospělé a dětské hlavy

Konstrukčně jsou impaktory dětské a dospělé hlavy stejné. Základem je kulovité těleso ze slitiny hliníku pokryté imitací lidské kůže. Parametry dětské a dospělé hlavy jsou uvedeny v Tab. 12. V těžišti tohoto tělesa je umístěn tříosý snímač zrychlení, nebo jsou zde tři snímače zrychlení svírající pravé úhly. Na Obr. 17 je znázornění konstrukce impaktoru hlavy a na Obr. 18 je reálné provádění testu s impaktorem hlavy.

Tab. 12 Parametry impaktorů dětské a dospělé hlavy

|               | Hmotnost | Øimpaktoru | tloušťka kůže | Moment setrvačnosti     |
|---------------|----------|------------|---------------|-------------------------|
| Dětská hlava  | 2,5 kg   | 130 mm     | 11,0 mm       | 0,0125 kgm <sup>2</sup> |
| Dospělá hlava | 4,8 kg   | 165 mm     | 13,9 mm       | 0,0036 kgm <sup>2</sup> |



Obr. 17 Konstrukce impaktoru hlavy



Obr. 18 Provádění testu s impaktorem hlavy [2]

### 11.2.2 Impaktor stehna

Základem konstrukce je ocelová trubka o vnějším průměru 50 milimetrů s tloušťkou stěny 3 milimetry. Kolem této trubky je ve dvou vrstvách ve tvaru písmene U umístěna pěnová výplň (materiál tzv. Confor) o celkové šířce 50 milimetrů. Na povrchu je ještě 1,5 milimetru silná vrstva umělé kůže. Trubka je k nosnému tělesu uchycena pomocí dvou snímačů síly. Nosné těleso je na nosné rameno přichyceno přes čep, který plní ochrannou funkci impaktoru. Konstrukce je zobrazena na Obr. 20. Reálné provedení testu je na Obr. 19. V Tab. 13 je pak uvedeno umístění jednotlivých snímačů a jimi snímané veličiny.

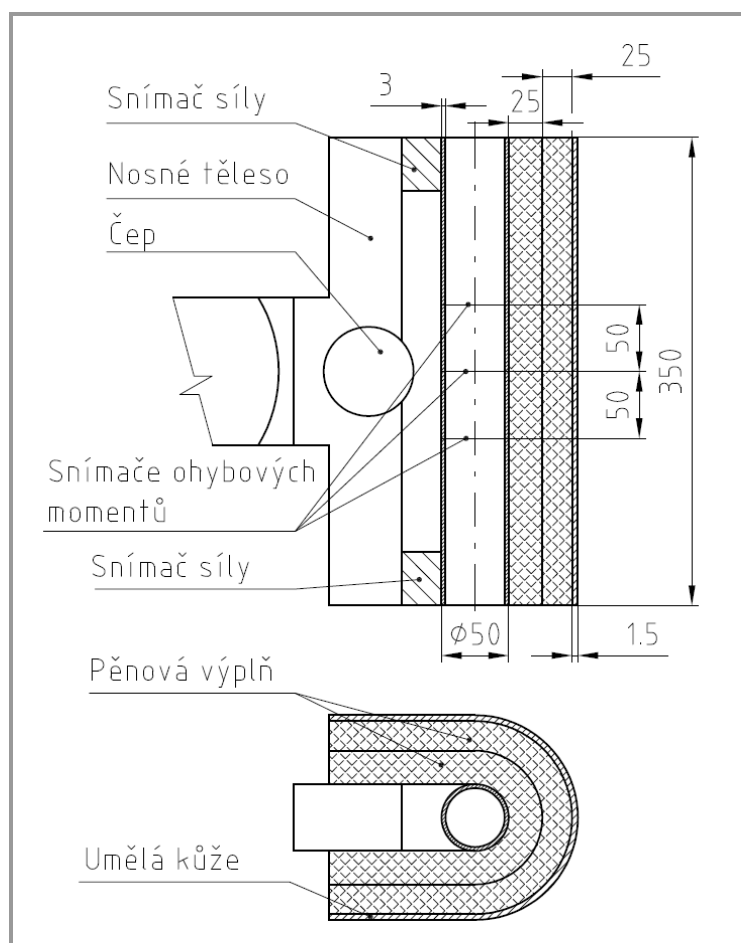
Hmotnosti – přední část bez pěny a kůže:  $1,95 \pm 0,05$  kg  
 kůže a pěna:  $0,6 \pm 0,01$  kg  
 celková celého impaktoru: regulovatelná v rozmezí 10 – 17 kg

Tab. 13 Umístění snímačů a měřené veličiny na impaktoru stehna

| Umístění snímače         | Měřená veličina |
|--------------------------|-----------------|
| Vršek stehna             | Síla            |
| Spodek stehna            | Síla            |
| Střed stehna             | Ohybový moment  |
| 50 mm nad středem stehna | Ohybový moment  |
| 50 mm pod středem stehna | Ohybový moment  |



Obr. 19 Provedení testu s impaktorem stehna [2]



Obr. 20 Konstrukce impaktoru stehna

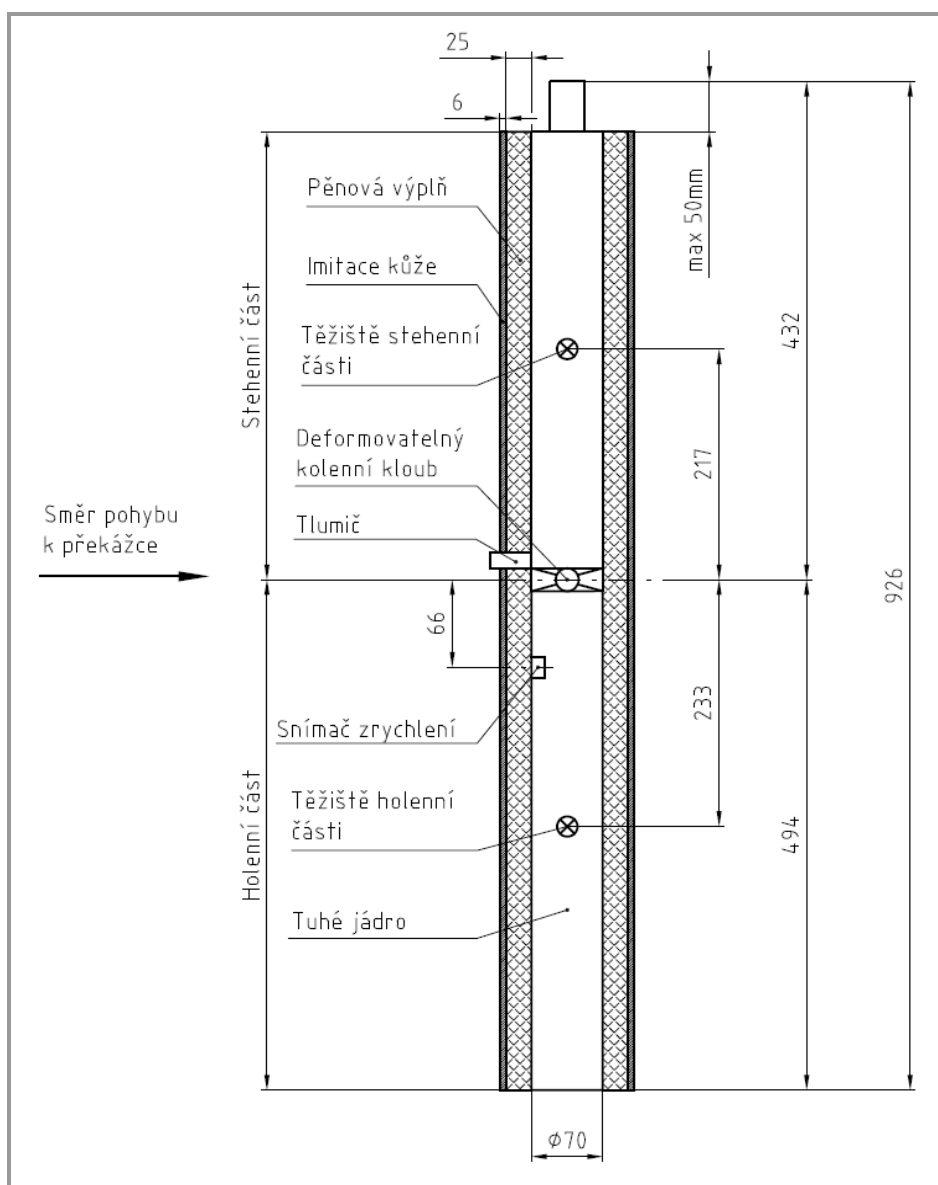
### 11.2.3 Impaktor dolní končetiny

Impaktor dolní končetiny se skládá ze stehenní části, deformovatelného kolenního kloubu a holenní části. Základem je tuhé jádro o průměru 70 mm, které reprezentuje stehenní a holenní kost. Na tomto jádře je dále 25 milimetrů silná pěnová vrstva simulující svalstvo. Šestimilimetrová vrstva kůže je tvořena neoprénovou pryží potaženou z obou stran 0,5 milimetru tenkou nylonovou látkou. Konstrukce je doplněna ještě o tlumič posunutí stehenní části vůči holenní části. Konstrukce je vyobrazena na Obr. 21. V Tab. 14 je popsáno umístění snímačů a jimi měřené veličiny. Na Obr. 22 je reálné provedení testu.

Hmotnosti – stehenní část:  $8,6 \pm 0,1$  kg  
 holenní část:  $4,8 \pm 0,1$  kg  
 celkem:  $13,4 \pm 0,2$  kg

Tab. 14 Umístění snímačů a měřené veličiny na impaktoru dolní končetiny

| Umístění snímače                            | Měřená veličina                                |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Spodek stehna                               | Úhel – vyplývá z něj smykové posunutí v koleni |
| Vršek holeně                                | Ohybový úhel v koleni                          |
| 66 mm od vrchu holeně na nekontaktní straně | Zrychlení                                      |



Obr. 21 Konstrukce impaktoru dolní končetiny

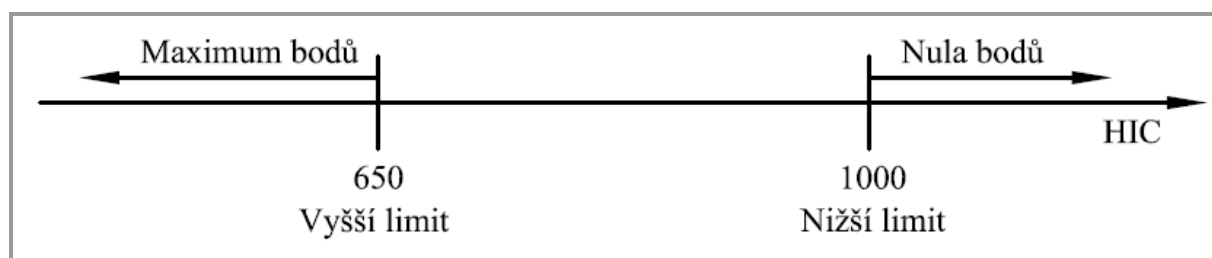


Obr. 22 Provedení testu s impaktorem dolní končetiny [2]

## 12 Hodnocení zkoušek prováděných Euro NCAP

Přesné podmínky hodnocení prováděných crash testů popisuje dokument Assessment protocol and biomechanical limits (version 4.1) dostupný z [1]. Pro účely této práce zde uvádím pouze stručný překlad systému hodnocení a některé sledované veličiny včetně mezních limitů.

Euro NCAP pro hodnocení testů používá tzv. klouzavou stupnici (Sliding scale). Tento systém zahrnuje dva limity pro každou sledovanou veličinu, jeden vyšší limit a jeden nižší limit. Pokud sledovaná hodnota nepřesáhne hranici danou vyšším limitem, je udělen maximální počet bodů. Naopak nad nižší hranicí nejsou uděleny žádné body. Pokud hodnota sledované veličiny leží mezi dvěma limity, vypočítá se výsledek pomocí lineární interpolace. Pro názornost je princip bodového hodnocení zachycen na Obr. 23.



Obr. 23 Systém bodového hodnocení podle vyššího a nižšího limitu

### 12.1 Hodnotící kritéria a limitní hodnoty pro čelní náraz

#### 12.1.1 Hlava

##### Řidič (volant s airbagem) a pasažéři

Pokud nedojde ke tvrdému kontaktu hlavy, uděluje se plný počet bodů. Za tvrdý kontakt se považuje situace, kdy výsledné špičkové zrychlení hlavy přesáhne hodnotu 80g nebo je zřejmý důkaz o tvrdém kontaktu. Poté se bodové hodnocení řídí Tab. 15.

Tab. 15 Limity pro hlavu při čelním nárazu

| Kritérium                               | Vyšší limit | Nižší limit |
|-----------------------------------------|-------------|-------------|
| HIC                                     | 650         | 1000*       |
| maximální výsledné zrychlení během 3 ms | 72g         | 88g         |

\* limit dle EEVC – European Enhanced Vehicle-safety Committee

##### Řidič (volant bez airbagu)

Pokud není volant auta vybaven airbagem a jsou splněny požadavky na  $HIC < 1000$ , a na výsledné maximální zrychlení během 3ms  $< 88g$ , pak se provádí dodatečný test, kdy deformovatelná obličejová část vyrobená z voštiny naráží na volant. Tento test slouží k vybrání nejagresivnějších míst. Předpokládá se provedení dvou testů, jeden pro oblast středu volantu a jeho přechodu v ramena volantu, a druhý test pro věnec volantu a jeho přechod v ramena volantu. Výsledky se posuzují podle Tab. 16.

Tab. 16 Limity pro hlavu řidiče (bez airbagu) při čelním nárazu

| Kritérium                              | Vyšší limit | Nižší limit |
|----------------------------------------|-------------|-------------|
| Špičková hodnota výsledného zrychlení  | 80g         | 120g        |
| maximální výsledné zrychlení během 3ms | 65g         | 80g         |
| stlačení voštiny                       | -           | 1mm         |
| HIC                                    | -           | 1000        |

### 12.1.2 Krk

Biomechanické limity pro krk jsou uvedeny v Tab. 17.

Tab. 17 Limity pro krk při čelním nárazu

| Kritérium                 | Vyšší limit         | Nižší limit         |
|---------------------------|---------------------|---------------------|
| střihová síla             | 1,9 kN @ 0 ms       | 3,1 kN @ 0 ms       |
|                           | 1,2 kN @ 25 – 35 ms | 1,5 kN @ 25 – 35 ms |
|                           | 1,1 kN @ 45 ms      | 1,1 kN @ 45 ms*     |
| tahová síla               | 2,7 kN @ 0 ms       | 3,3 kN @ 0 ms       |
|                           | 2,3 kN @ 35 ms      | 2,9 kN @ 35 ms      |
|                           | 1,1 kN @ 60 ms      | 1,1 kN @ 60 ms*     |
| ohybový moment kolem šíje | 42 Nm               | 57 Nm*              |

\* limit dle EEVC – European Enhanced Vehicle-safety Committee

### 12.1.3 Hrudník

Biomechanické limity pro hrudník jsou uvedeny v Tab. 18.

Tab. 18 Limity pro hrudník při čelním nárazu

| Kritérium           | Vyšší limit | Nižší limit |
|---------------------|-------------|-------------|
| stlačení hrudníku   | 22 mm       | 50 mm*      |
| hodnota VC kritéria | 0,5 m/s     | 1,0 m/s*    |

\* limit dle EEVC – European Enhanced Vehicle-safety Committee

### 12.1.4 Koleno, stehno a pánev

Biomechanické limity pro koleno, stehno a pánev jsou uvedeny v Tab. 19

Tab. 19 Limity pro koleno, stehno a pánev při čelním nárazu

| Kritérium                          | Vyšší limit | Nižší limit             |
|------------------------------------|-------------|-------------------------|
| stlačující síla působící na stehno | 38 kN       | 9,07 kN @ 0 ms          |
|                                    |             | 7,56 kN @ $\geq 10$ ms* |
| posuv v koleně                     | 6 mm        | 15 mm*                  |

\* limit dle EEVC – European Enhanced Vehicle-safety Committee

### 12.1.5 Dolní část nohy

Biomechanické limity pro dolní část nohy jsou uvedeny v Tab. 20.

Tab. 20 Limity pro dolní část nohy při čelním nárazu

| Kritérium              | Vyšší limit | Nižší limit |
|------------------------|-------------|-------------|
| index holenní kosti    | 0,4         | 1,3*        |
| stlačení holenní kosti | 2 kN        | 8 kN*       |

\* limit dle EEVC – European Enhanced Vehicle-safety Committee

### 12.1.5 Chodidlo, kotník

Biomechanické limity pro chodidlo a kotník jsou uvedeny v Tab. 21.

Tab. 21 Limity pro chodidlo a kotník při čelním nárazu

| Kritérium         | Vyšší limit | Nižší limit |
|-------------------|-------------|-------------|
| Posun pedálu vzad | 100 mm      | 200 mm      |

### 12.1.6 Modifikátory pro čelní náraz

Výsledné bodové hodnocení z čelního nárazu je dále ovlivněno tzv. modifikátory pro čelní náraz. Zde se posuzují další faktory, např. jestli nedošlo k otevření dveří během nárazu, jaká je potřebná síla k otevření dveří po nárazu, zda se příliš nezhroutil A sloupek, zda hlava nesklouzla z airbagu apod.

## 12.2 Hodnotící kritéria a limitní hodnoty pro boční náraz

### 12.2.1 Hlava

#### Automobil vybavený hlavovými airbagy

Pokud nedojde ke tvrdému kontaktu hlavy, uděluje se plný počet bodů. Za tvrdý kontakt se považuje situace, kdy výsledné špičkové zrychlení hlavy přesáhne hodnotu 80g a nebo je zřejmý důkaz o tvrdém kontaktu. Poté se bodové hodnocení řídí stejnými pravidly jako u automobilu bez hlavových airbagů.

#### Automobil bez hlavových airbagů

Biomechanické limity pro hlavu jsou uvedeny v Tab. 22.

Tab. 22 Limity pro hlavu při bočním nárazu

| Kritérium                               | Vyšší limit | Nižší limit |
|-----------------------------------------|-------------|-------------|
| HIC                                     | 650         | 1000*       |
| maximální výsledné zrychlení během 3 ms | 72g         | 88g         |

\* limit dle EEVC – European Enhanced Vehicle-safety Committee



### 12.2.2 Hrudník

Biomechanické limity pro hrudník jsou uvedeny v Tab. 23.

Tab. 23 Limity pro hrudník při bočním nárazu

| Kritérium           | Vyšší limit | Nižší limit |
|---------------------|-------------|-------------|
| stlačení hrudníku   | 22 mm       | 42 mm*      |
| hodnota VC kritéria | 0,32 m/s    | 1,0 m/s*    |

\* limit dle EEVC – European Enhanced Vehicle-safety Committee

### 12.2.3 Břicho

Biomechanické limity pro břicho jsou uvedeny v Tab. 24.

Tab. 24 Limity pro břicho při bočním nárazu

| Kritérium              | Vyšší limit | Nižší limit |
|------------------------|-------------|-------------|
| Celková síla na břicho | 1,0 kN      | 2,5 kN*     |

\* limit dle EEVC – European Enhanced Vehicle-safety Committee

### 12.2.4 Pánev

Biomechanické limity pro pánev jsou uvedeny v Tab. 25.

Tab. 25 Limity pro pánev při bočním nárazu

| Kritérium             | Vyšší limit | Nižší limit |
|-----------------------|-------------|-------------|
| Síla na sponu stydkou | 3,0 kN      | 6,0 kN*     |

\* limit dle EEVC – European Enhanced Vehicle-safety Committee

### 12.2.5 Modifikátory pro boční náraz

Jako u čelního nárazu, i u bočního je výsledné hodnocení ovlivněno modifikátory. Vliv má zatížení působící na zadní desku figuríny, síly a momenty působící na obratel T12 a také otevření dveří během nárazu a potřebná síla k otevření dveří po nárazu.

## 12.3 Hodnotící kritéria a limity pro náraz na kůl

Pokud testovaný vůz dostane 4 body za ochranu hlavy, má výrobce možnost zasponzorovat boční náraz na kůl a získat tak další dva body, pokud vůz splní následující kritéria:  $HIC < 1000$ , špičkové výsledné zrychlení je menší než 80g a nesmí dojít k přímému kontaktu hlavy s kůlem.

## 12.4 Hodnotící kritéria pro ochranu chodců

Pro hodnocení poskytované ochrany pro chodce se používají podobné biomechanické limity jako u čelního a bočního nárazu. To znamená hodnotí se HIC kritérium, ohybové momenty působící na jednotlivé části těla apod. Protože však není možnost porovnání limitů Euro NCAP se zákonnými limity, nebudu tyto limity dále podrobněji popisovat.

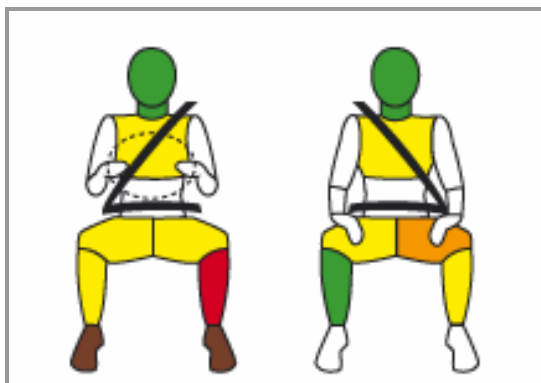
## 12.5 Výsledné hodnocení testů

### 12.5.1 Grafické znázornění úrovně ochrany jednotlivých částí těla

Pro čelní a boční náraz se vytváří barevné vizualizace znázorňující úroveň poskytované ochrany pro jednotlivé části těla. Použitá barva závisí na počtu dosažených bodů pro danou část těla. Tab. 26 obsahuje přiřazení jednotlivých barev bodové hodnotě a Obr. 24 ukazuje grafickou podobu znázornění.

Tab. 26 Bodová hodnota barev pro cestující ve vozidle

| Barva    | Potřebný počet bodů |
|----------|---------------------|
| zelená   | 4,00                |
| žlutá    | 2,67 – 3,99         |
| oranžová | 1,33 – 2,66         |
| hnědá    | 0,01 – 1,32         |
| červená  | 0,00                |



Obr. 24 Barevné znázornění ochrany cestujících [1]

Pokud vůz byl podroben nárazu na kůl, přidává se ke grafickému znázornění hvězdička (viz Obr. 25) podle následujícího kritéria:

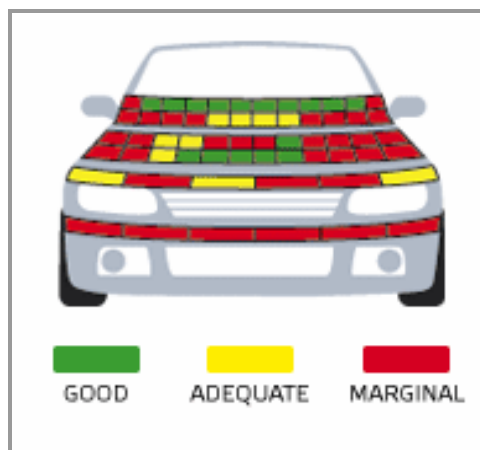
- vůz testem prošel → zelená hvězdička
- vůz testem prošel na hranici limitu → žlutá hvězdička
- vůz v testu neprošel → prázdná hvězdička



Obr. 25 Znázornění výsledku nárazu na kůl [1]

### 12.5.2 Grafické znázornění ochrany chodců a hodnocení pomocí hvězdiček

Pro znázornění úrovně poskytované ochrany při střetu s chodcem (viz Obr. 26) se používá schéma přední části automobilu, která je rozdělena na malé segmenty a ty jsou vybarveny barvou symbolizující úroveň poskytované ochrany. Každé barvě přísluší bodový rozsah dle Tab. 27. Pro vyjádření celkové úrovně poskytované ochrany pro chodce se používá hodnocení počtem hvězdiček, které jsou udělovány podle celkového bodového zisku podle Tab. 28.



Obr. 26 Barevné znázornění ochrany chodců [1]

Tab. 27 Bodová hodnota barev pro bezpečnost chodců

| Barva   | Potřebný počet bodů |
|---------|---------------------|
| zelená  | 2                   |
| žlutá   | 0,01 – 1,99         |
| červená | 0,00                |

Tab. 28 Počty bodů pro udělení hvězdiček za ochranu chodců

| Počet hvězdiček | Potřebný celkový počet bodů |
|-----------------|-----------------------------|
| 4               | 28 – 36                     |
| 3               | 19 – 27                     |
| 2               | 10 – 18                     |
| 1               | 1 – 9                       |
| 0               | 0                           |

### 12.5.3 Celkové hodnocení vozu

Celková úroveň poskytované bezpečnosti se značí počtem udělených hvězdiček. Ty jsou udělovány na základě celkového součtu bodů z čelního a bočního nárazu, případně nárazu na kůl. Pro udělení příslušné hvězdičky je navíc dána podmínka minimálního bodového zisku v každém testu. Bodové hodnoty pro počty hvězdiček jsou uvedeny v Tab. 29. Zvlášť se vyhodnocuje ochrana chodců a dětí. Celkové znázornění výsledků všech testů daného automobilu, jak je uvádí Euro NCAP na svých internetových stránkách, je na Obr. 27.

Tab. 29 Počty bodů pro udělení hvězdiček za celkovou bezpečnost

| Počet hvězdiček | Potřebný celkový počet bodů | Minimální počet bodů v každém testu |
|-----------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| 5               | 33 – 40                     | 13                                  |
| 4               | 25 – 32                     | 9                                   |
| 3               | 17 – 24                     | 5                                   |
| 2               | 9 – 16                      | 2                                   |
| 1               | 1 – 8                       | -                                   |
| 0               | 0                           | -                                   |



Obr. 27 Celkové vyhodnocení testovaného vozu [1]

### 13 Porovnání zákonných požadavků a hodnocení dle Euro NCAP

Základní rozdíl je v tom, že plnění zákonných požadavků je povinné pro každý nový vůz. Výstup ze zákonných testů je pouze dvojitý – vůz buď projde, nebo neprojde, a není zde žádné zhodnocení, zda limity splnil na hranici, nebo poskytl výrazně lepší ochranu než je požadované minimum. Tím je sice zajištěna základní úroveň poskytované pasivní bezpečnosti, ale chybí jakákoli motivace pro výrobce pro další výzkum a vývoj v této oblasti. Právě zde plní svou funkci organizace Euro NCAP. Z výše uvedených tabulek je vidět, že nižší limity pro prováděné testy se téměř shodují se zákonnými požadavky. To znamená, že když vůz splní zákonné požadavky na hranici limitů, je sice prohlášen za způsobilý provozu, ale v testech Euro NCAP bude hodnocen velmi nízkou hodnotou. Vzhledem k tomu, že Euro NCAP se stalo velmi respektovanou a uznávanou organizací, je vysoké ohodnocení vozu v testech Euro NCAP považováno za prestižní záležitost a velmi dobrou reklamu. Výrobci automobilů si jsou toho vědomi a proto se snaží, aby jejich vozy dosahovaly co nejvyššího bodového ohodnocení. Právě v této motivaci pro výrobce leží největší význam Euro NCAP.

### 14 Počítačové simulace v oblasti bezpečnosti vozidel

Vývoj nového vozu je velmi náročný proces. Během vývojového cyklu je třeba provádět nejrůznější testy aby se zjistilo, zda všechny navrhované systémy pracují správně. Dříve bylo nutné pro ověření každého řešení postavit prototyp, což je nákladné jak finančně, tak časově. Navíc hrozí riziko, že test nedopadne úspěšně a musí se tedy hledat jiné řešení, včetně stavby nového prototypu. Počítačové simulace oproti tomuto postupu přináší mnoho výhod. V prostředí počítačové simulace je možné provádět statické i dynamické zatížení konstrukce automobilu. Hlavní výhodou je možnost provést nárazové zkoušky bez nutnosti stavby prototypu vozidla, což přináší úsporu financí a konstrukčního času. Oproti testům s prototypem je také mnohem jednodušší úprava konstrukčních řešení a opětovných testů. Proto vývojové snahy výrobců automobilů směřují k co největšímu využití počítačových simulací a použití prototypu pouze k ověření správnosti simulačních výsledků. Při porovnání výsledku simulace a reálného crash testu na Obr. 28 je vidět, že simulace poskytují opravdu poměrně spolehlivé informace.



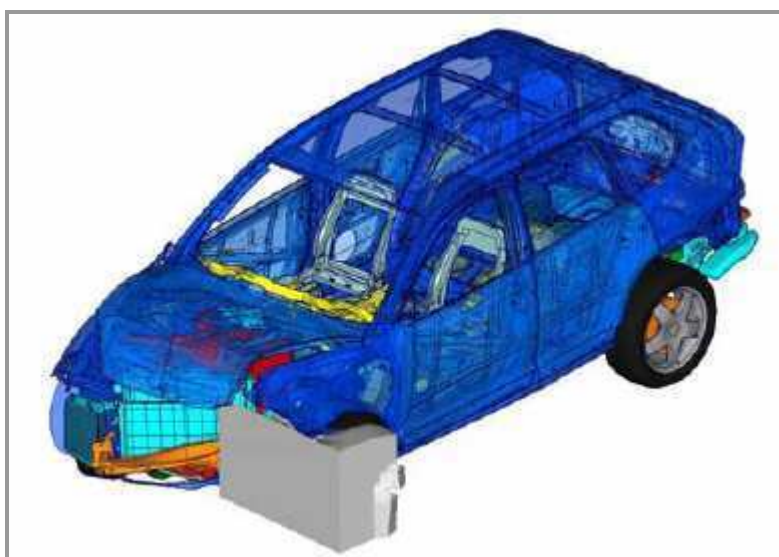
Obr. 28 Porovnání simulace a reálného crash testu [6]

### 14.1 Prováděné druhy počítačových simulací

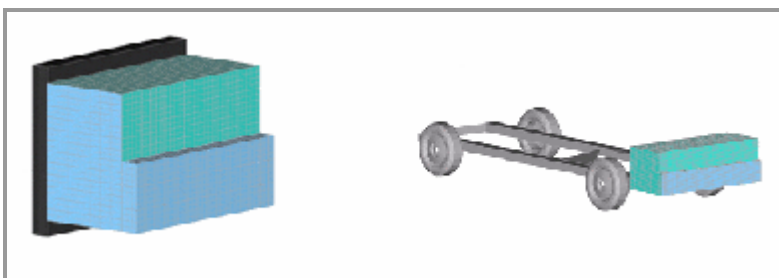
Druhy prováděných simulací se prakticky shodují s testy, které provádí Euro NCAP. To znamená že se provádí čelní náraz se 40% přesazením při rychlosti 64 km/h (viz Obr. 29), dále boční náraz při 50 km/h, náraz na kůl a jednotlivé testy s impaktory pro simulaci střetu s chodcem. Pro tyto testy jsou používány modely stejných bariér (viz Obr. 30) jako používá Euro NCAP. Simulování stejných crashtestů jako provádí Euro NCAP má dva důvody. Jednak se výrobci automobilů snaží o co nejvyšší bodový zisk v těchto testech, jednak jsou tyto testy odvozeny na základě dlouhodobých statistik dopravních nehod a nejlépe tedy reprezentují nejčastější typy dopravních nehod. Dále se provádí simulace nárazu zezadu a také tzv. pojist'ovací náraz. Při tomto testu se zjišťuje míra poškození automobilu při nárazu rychlostí do 15 km/h. Význam tohoto testu není bezpečnostní, ale spíše ekonomický.

Kromě celkových crash testů se provádí dílčí simulace. Simulují se například kontakty různých částí těla s palubní deskou, účinky zádržných systémů na organismus (viz Obr. 31), náraz hlavy na A sloupek apod. V těchto testech se využívá hodnot zjištěných při celkovém crash testu, zejména jsou to údaje o zrychlení a působící síle. Cílem těchto dílčích simulací je zjistit nejvhodnější konstrukční řešení směřující ke snížení rizika poranění – např. použitím měkké výplně pod obložením spodní části palubní desky se dá snížit riziko poranění kolene. Další oblastí, kde se počítačové simulace uplatňují, je optimalizace nafukování airbagů, pro tyto simulace je například PAM-CRASH 2G vybaven CFD (Computational Fluid Dynamics) modulem založeným na principu FPM (Finite Point Metod).

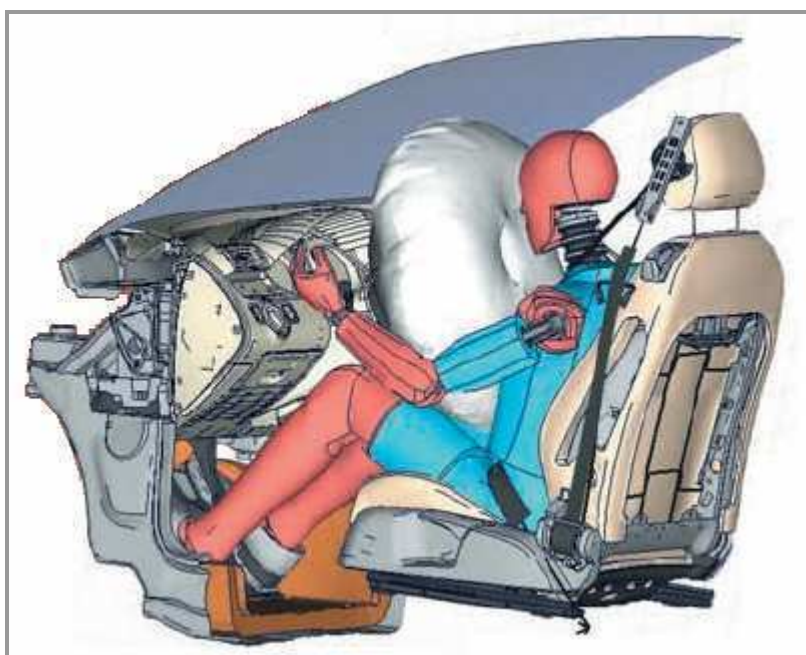
Pro zjištění sil a zrychlení působících na posádku vozu se při simulacích crash testů používají simulace figurín (viz Obr. 32), nebo fyziologicky propracovanější modely lidského těla. Jako příklad fyziologicky velmi propracované figuríny lze uvést model těhotné ženy (viz Obr. 33), který byl vytvořen pro posouzení vhodnosti používání bezpečnostních pásů ženami v poslední fázi těhotenství.



Obr. 29 Simulace čelního přesazeného nárazu [5]

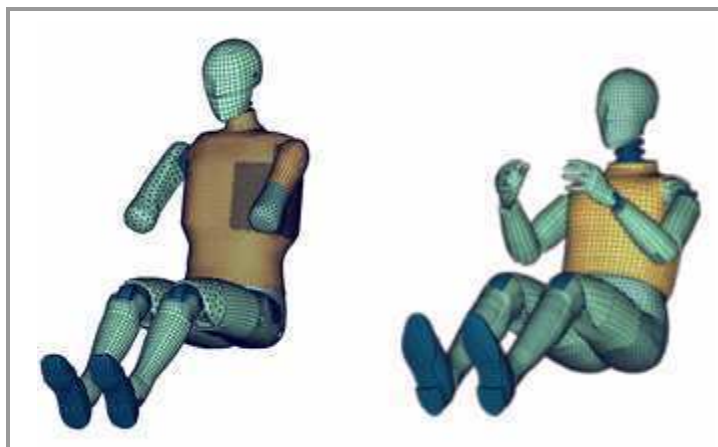


Obr. 30 Bariéra pro čelní přesazený náraz a pro boční náraz [5]

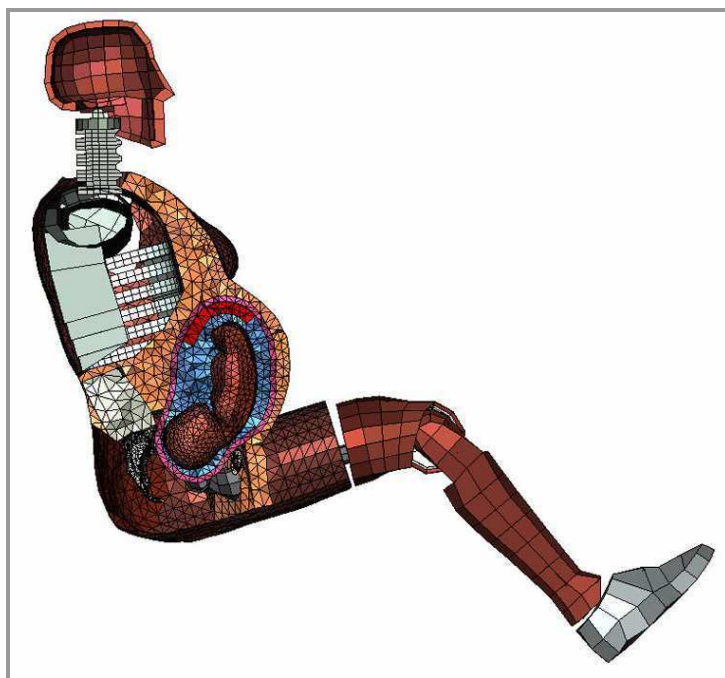


Obr. 31 Simulace účinků zádržných systému na člověka [6]





Obr. 32 Simulace figuríny EuroSID II (vlevo) a Hybrid III [5]



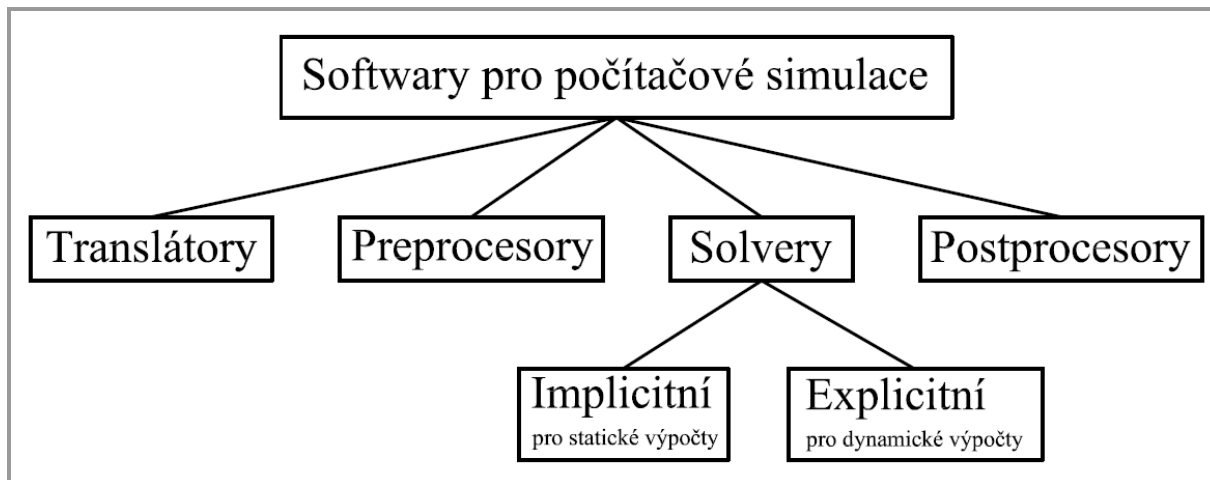
Obr. 33 Počítačový model těhotné ženy [10]

## 14.2 Vyhodnocení výsledků simulace

Výsledky počítačové simulace crash testu se vyhodnocují podle stejných kritérií jako reálné crash testy. Sledují se deformace jednotlivých částí automobilu, přičemž největší pozornost je věnována velikosti prostoru pro přežití posádky a případným průnikům cizích těles do tohoto prostoru. Hodnotí se posuvy pedálové skupiny a posuvy dílů palubní desky a hlavně posun řídicí tyče s volantem. Při hodnocení účinků nárazu na posádku se používají stejná biomechanická kritéria jako HIC, VC, mezní síly na břicho apod. Zjišťuje se zda nedojde ke kontaktu hlavy nebo hrudníku s volantem a jestli nedojde k intruzi cizích předmětů do těla.

## 15 Software používaný v oblasti počítačových simulací

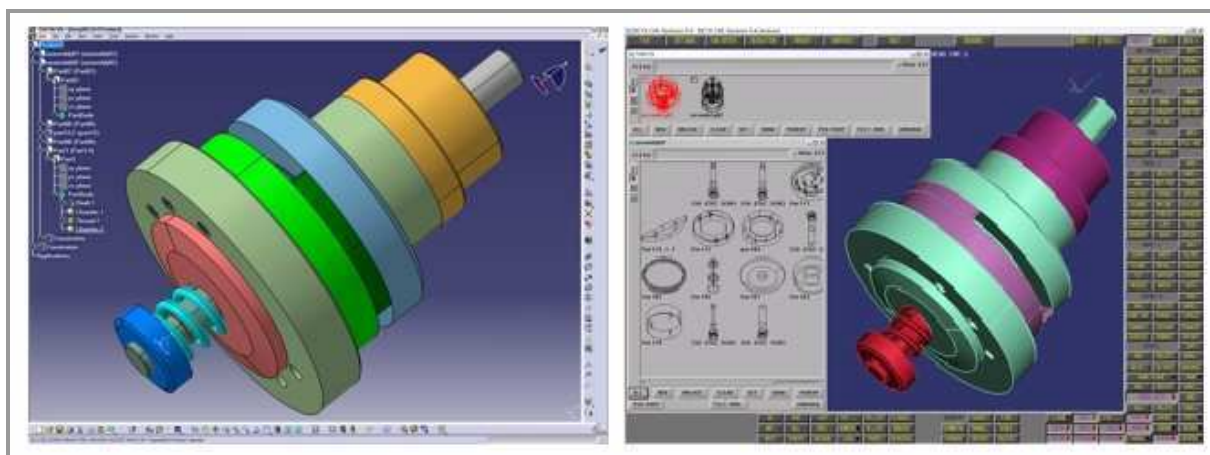
Obr. 34 ukazuje rozdělení softwarů používaných v oblasti počítačových simulací. Jednotlivé druhy softwarů budou podrobně popsány dále.



Obr. 34 Rozdělení softwarů používaných při počítačových simulacích

### 15.1 Translátořy

Translátořy jsou programy, které převádí formát dat z CAD/CAE softwaru do formátu kompatibilního s preprocesorem. Použití translátořu není vždy nutné, záleží na schopnostech preprocesoru. Například preprocesor ANSA zvládá bez pomoci translátořu načíst CAD geometrii v neutrálních formátech jako např. IGES, VDA-FS, STEP. Pro načtení geometrie ze softwaru jako CATIA V4, CATIA V5, NX, Pro/ENGINEER již ANSA potřebuje provést převod formátu. K tomu je k dispozici program CAD data to ANSA translators. Na ilustračním Obr. 35 je vidět model v softwaru CATIA a pak tento model převedený s pomocí programu CAD data to ANSA translators do preprocesoru ANSA. ([7])



Obr. 35 Převod formátu - vlevo model v softwaru CATIA, vpravo model převedený do softwaru ANSA [7]



## 15.2 Preprocesory

Preprocesory jsou softwary, které se používají na začátku simulačního procesu. V prostředí těchto programů se připravuje model pro samotné provedení simulace v solveru. Na trhu existuje velká nabídka preprocesorů od různých výrobců. Princip všech dostupných programů je velmi podobný, liší se hlavně následnou kompatibilitou se solverem. Mezi univerzální preprocesory patří např. ANSA a Altair HyperMesh. Některé preprocesory jsou vytvořeny pro určitý solver, např. Primer je speciálně pro solver LS – DYNA.

## 15.2 Solvery

Solvery – řešiče, slouží k provedení výpočetního řešení. Rozdělují se do dvou skupin a to na implicitní a explicitní. Implicitní solvery se používají při statických výpočtech, kde se čas pohybuje řádově v sekundách. Příkladem takových programů jsou například ANSYS a MSC Nastran. Pro účely simulací crash testů se používají explicitní solvery. Zde se čas počítá řádově v milisekundách a jsou zde zahrnuty další vlivy, které se objevují při rychlé deformaci jako např. zpevnění materiálu při velmi vysoké rychlosti deformace. Příklady explicitních solverů jsou LS-DYNA, PAM-CRASH a RADIOSS.

## 15.3 Postprocesory

Postprocesory se používají pro vizualizaci a hodnocení výsledků početního řešení. Je třeba použít takový postprocesor, který je kompatibilní se solverem. Mezi univerzální postprocesory patří například Altair HyperView a µETA. Speciálně pro PAM-CRASH je navržen postprocesor PAM-VIEW.

# 16 Postup při provádění počítačové simulace crash testu

## 16.1 Příprava modelu

Při počítačové simulaci se vychází z modelu vytvořeného ve 3D konstrukčním programu jako např. CATIA nebo Pro/ENGINEER. Model vytvořený v tomto softwaru se převede do preprocesoru, kde se upraví pro potřeby solveru. Pro tento převod se používají tzv. translátory. Některé preprocesory mají integrovaný translátor a tak jsou schopny načíst i přímo data z 3D CAD/CAM/CAE softwaru.

Při převodu dat se mohou modely částečně poškodit. Mezi časté poruchy patří místní nespojitost, nestejná orientace ploch na modelu, překrývání se více ploch apod. Tyto chyby se musí před dalším postupem ručně odstranit. Pro tyto případy jsou preprocesory vybaveny řadou příkazů pro opravu těchto chyb.

Pokud je již model v pořádku, pokryje se sítí prvků o konečné velikosti. Např. plechové díly v systému ANSA se pokrývají tak, že se model plechového dílu nahradí střednicovou plochou, na tuto střednicovou plochu se pak z každé strany nanesou prvky s takovými rozměry, aby dohromady daly původní tloušťku plechu.

Velikost prvků je možno nastavovat, čím menší velikost prvek má, tím je výpočet přesnější. Malý rozměr prvku znamená, že model bude pokryt větším množstvím prvků než by tomu bylo při použití prvků o větší velikosti. Počet použitých prvků ovlivňuje čas, který bude potřeba pro výpočet, proto je použití příliš velkého počtu prvků velmi náročné na výpočetní

techniku a hlavně na výpočetní čas. Proto je třeba volit optimální velikost prvku, při které se dosáhne dostatečné přesnosti simulace za přijatelný čas.

Pro zjednodušení výpočtu se také odstraňují z modelu ty části, u kterých se předpokládá žádná nebo nepodstatná deformace. Tyto části se v modelu nahradí pouze silovými vazbami, aby byla zachována tuhost srovnatelná s původním modelem. Typickým příkladem vypouštěných částí jsou např. dveře kufru, zadní sedačky, při čelním a bočním nárazu dveře na pravé straně. Model připravený v preprocesoru ANSA je zobrazen na doplňujícím Obr. 36.



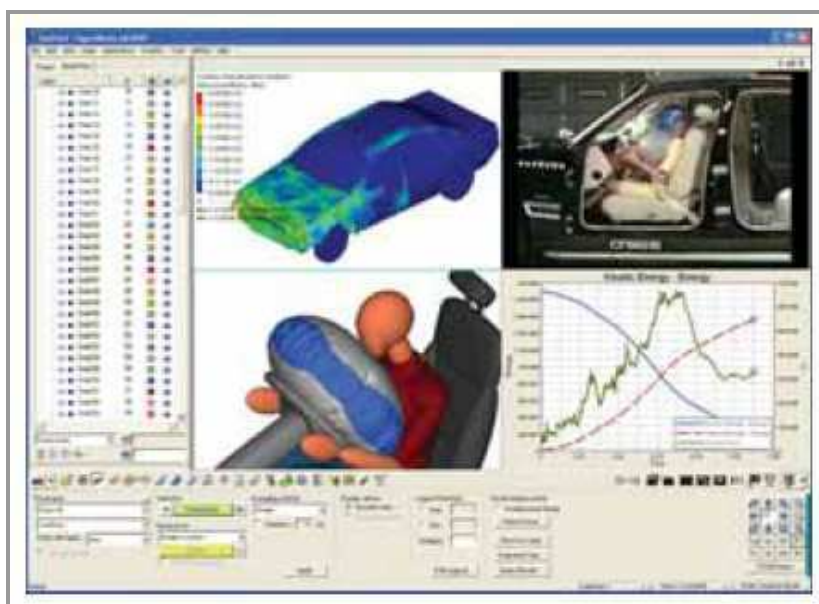
Obr. 36 Model připravený v preprocesoru ANSA [7]

## 16.2 Početní řešení

Připravený MKP model se importuje do solveru kompatibilního s preprocesorem. Princip výpočetního řešení spočívá v tom, že solver spočítá posuv každého prvku za určený časový interval. Krátkým časovým intervalem se výpočet zpřesňuje, ale podobně jako s počtem prvků, se zvyšuje i výpočetní čas. Celková délka simulace také ovlivňuje dobu výpočtu. Proto se simuluje časový úsek od okamžiku těsně před nárazem do přibližně 150 ms po nárazu. Tato doba je dostatečně dlouhá, aby se odhalily základní procesy a silové poměry během nárazu.

## 16.3 Vyhodnocení početního řešení

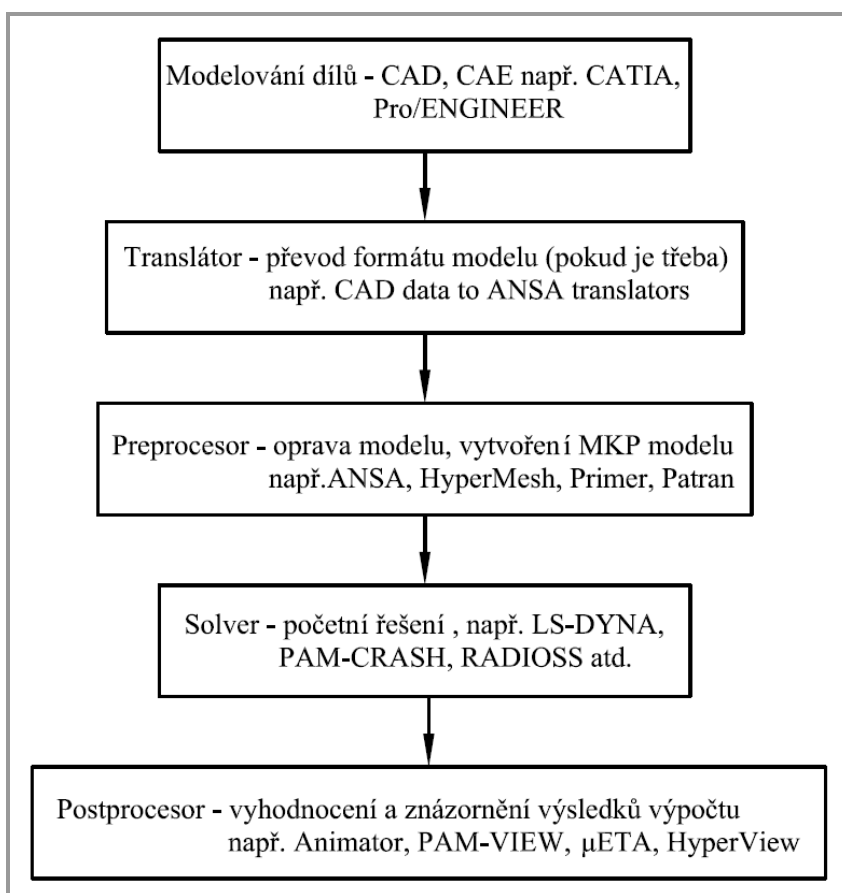
Výstupní data ze solveru představují velké množství hodnot. Pro vyhodnocení početního řešení se používají postprocesory kompatibilní se solverem. Postprocessor podle vypočtených hodnot sestaví vizualizaci crashtestu, vyhodnotí průběhy napětí, zrychlení, posunutí a deformace v požadovaných bodech. K dispozici jsou také nástroje pro vytváření 2D a 3D grafů různých veličin v průběhu simulace. Takto získaná data se dále použijí pro vyhodnocení podle příslušných kritérií pro jednotlivé sledované veličiny. Ukázka toho, jak může vypadat výstup simulace znázorněné v postprocesoru je na Obr. 37.



Obr. 37 Zobrazení výstupu simulace v postprocesoru Altair HyperView [8]

## 16.4 Grafické znázornění postupu počítačové simulace

Pro názornost je postup tvorby počítačové simulace vyjádřen graficky na Obr. 38.



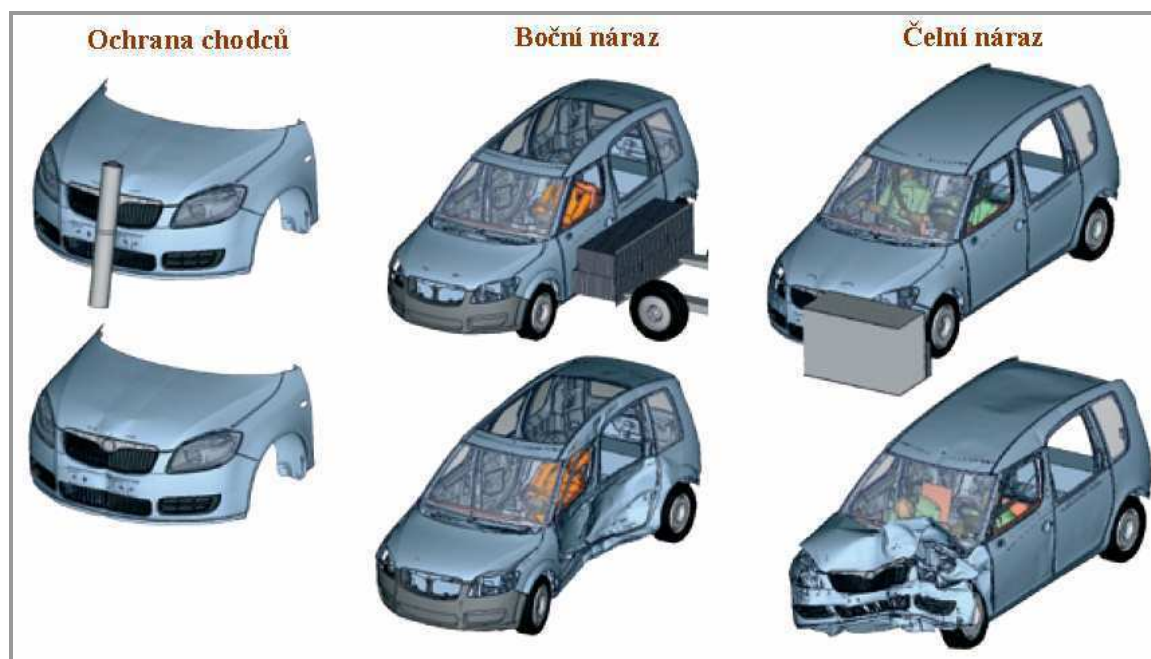
Obr. 38 Postup při provádění počítačové simulace

## 17 Příklady úspěšných aplikací počítačových simulací v praxi

V následující části je popsáno několik úspěšných aplikací počítačových simulací. Uvedené informace vychází z dokumentů společnosti ESI Group a proto se vztahují k softwaru PAM-CRASH a PAM-SAFE, kterých je ESI Group výrobcem.

### 17.1 PAM-CRASH ve Škoda Auto a.s.

PAM-CRASH byl do Škoda Auto zaveden v roce 1996 a od té doby byl použit při vývoji každého nového modelu Škody. Přístup k počítačovým simulacím se postupně měnil. Zatímco dříve Škoda používala simulaci až pro finální návrh vozu, nyní jsou simulace zařazeny již do ranných fází konstrukčního procesu, takže simulace hrají důležitou roli při utváření celkového designu automobilu. Roste také počet konečných prvků vstupujících do simulace, zároveň s tím jak roste počet najednou simulovaných dílů. Při simulování testů staré generace Fabie se postupovalo ve dvou krocích. Nejdříve se provedla simulace chování struktury vozu a následně se prováděly simulace kinematiky figurín v závislosti na příslušných hodnotách zatížení. Nyní Škoda používá jeden detailní rozsáhlý model pro vyřešení všech různých scénářů jako čelní náraz, střet s chodcem, náraz na kůl apod. Kromě celkových simulací se Škoda zabývá simulováním chování kritických částí konstrukce jako jsou například podélníky nebo deformační členy. Výpočet simulace je velmi náročný. Současné modely mají minimálně 700 000 konečných prvků pro dosažení uspokojivé přesnosti a proto výpočet simulace probíhá nejčastěji přes noc. Škoda Auto vždy porovnává výsledky simulací se skutečnými testy s prototypy. U skutečných testů se vždy objevují odchylky, které jsou způsobeny výrobními tolerancemi, tolerancemi ve vlastnostech použitých materiálů a dalšími vlivy. Přínos počítačových simulací jasně dokazuje fakt, že Škoda Roomster, která byla také vyvíjena s pomocí počítačových simulací, dosáhla v testech Euro NCAP jako první model automobilky Škoda Auto a.s. pětihvězdičkového hodnocení. Ukázky simulací Škody Roomster jsou vidět na Obr. 39. ([6])



Obr. 39 Simulace Škoda Roomster [6]



## 17.2 PAM-CRASH a jeho přínos v SEATu

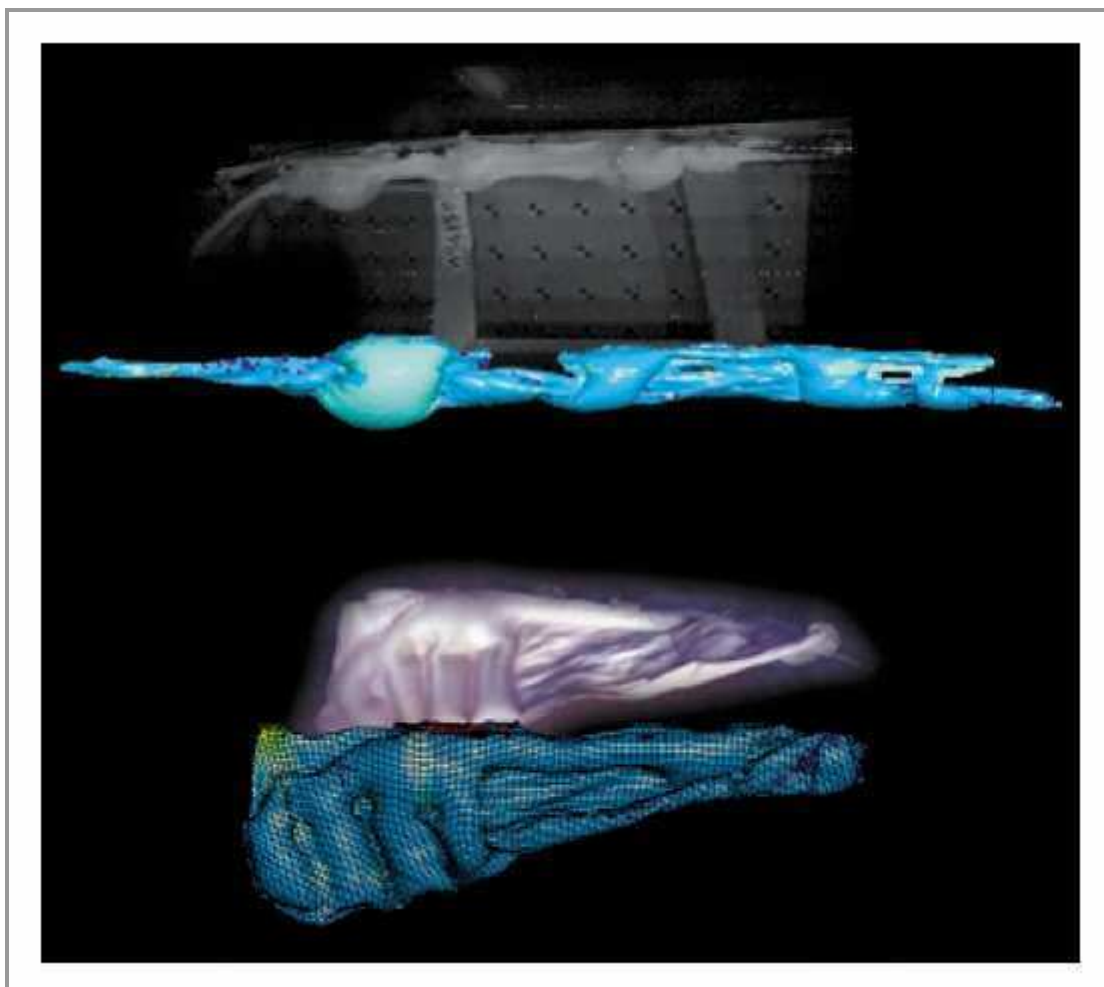
Podobně jako Škoda Auto, i Seat využívá počítačové simulace k tomu, aby vytvářel bezpečné, lehké a sportovně orientované vozy. PAM-CRASH 2G pomohl urychlit vývoj modelů Altea, León, Toledo a Ibiza. Byly prováděny simulace čelních, bočních a přesazených nárazů. Dále také nárazy zezadu. Pro dosažení maximální úrovně pasivní bezpečnosti bylo provedeno množství simulací funkcí zádržných systémů a také simulace případných kontaktů těla s částmi palubní desky, obložení dveří apod. Při těchto testech dosahoval počet použitých konečných prvků na modelu 1 500 000 prvků. Díky použití PAM-CRASH 2G pro simulaci střetu s chodcem se podařilo navrhnout design přední části vozu tak, že při testech Euro NCAP byly nové vozy Seat hodnoceny vysokým hodnocením za ochranu chodců. Díky simulacím mohlo být s potřebnými bezpečnostními řešeními uvažováno již v ranných fázích vývoje nového modelu, což v konečném výsledku zkrátilo vývojový cyklus nového vozu o 15%. Ilustrační Obr. 40 ukazuje Seat León při čelním a bočním nárazu. ([6])



Obr. 40 Simulace Seat León [6]

### 17.3 PAM-SAFE a jeho přínos pro TRW Automotive

TRW Automotive má celosvětově vedoucí postavení v automobilové bezpečnosti a je hlavním dodavatelem šasi, bezpečnostních komponentů a doplňkových produktů pro mnoho významných výrobců automobilů. TRW používá PAM-SAFE pro vývoj nových záclonových airbagů (curtain airbags). Tento druh airbagu je oproti čelnímu airbagu mnohem náročnější na rychlost nafukování. Při čelním nárazu jsou k dispozici poměrně dlouhé deformační zóny a airbag má tak řádově 40-50 milisekund na plné nafouknutí. Při bočním nárazu mohou dveře, výplně dveří a B sloupek poskytnout pouze tenkou ochranu před kolidujícími objekty. Proto musí být záclonové airbagy plně nafouknuty v době 20-30 milisekund. Dosáhnout takového výkonu vyžaduje velmi vysokou rychlost plnění a hluboké znalosti fyzikální podstaty problému. Právě pro takovéto úlohy je navržen software PAM-SAFE. Jelikož při nafukování airbagu dochází k extrémním změnám geometrie, je velmi obtížné tyto děje simulovat. Sít' prvků by se musela neustále aktualizovat, což by bylo velmi náročné. Řešením je použití FPM metody (Finite Point Method), kde se díky absenci sítě dosahuje mnohem větší flexibility. Díky použití této metody dosahuje TRW velmi uspokojivé přesnosti při simulaci, díky níž je možné konstruovat záclonové airbagy tak, aby se nafukovaly rovnoměrně a rychle. Vysokou míru shody simulace a reálného testu je možné posoudit na přiloženém Obr. 41. ([6])



Obr. 41 Porovnání simulace a reálného nafukování záclonového airbagu [6]

## 18 Závěr

Problematika v oblasti bezpečnosti automobilů je velmi důležitá a věnuje se jí stále větší pozornost. Výrobci automobilů se snaží vyvíjet stále dokonalejší aktivní a pasivní bezpečnostní prvky, aby vyhověli co nejlépe zvyšujícím se nárokům na poskytovanou úroveň bezpečnosti automobilů.

Velkou roli při motivaci výrobců k vývoji bezpečnějších vozů hraje evropská organizace Euro NCAP, která provádí nezávislé testy nových automobilů, a jejíž kritéria pro dobré hodnocení vozu značně převyšují zákonem stanovené minimální limity. I přesto vidím prostor pro inovaci v oblasti provádění testů. Jedná se například o hmotnost bariéry při bočním nárazu, která nyní činí přibližně 950 kg. V dnešní době, kdy hmotnost většiny aut přesahuje 1100 kg, by se mohla hmotnost bariéry zvýšit, aby se docílilo větší podobnosti se scénářem skutečné nehody.

Při vývoji nových automobilů a jejich bezpečnostních prvků se stále více používají počítačové simulace, které přináší mnoho výhod. Jedná se především o možnost provádět crash testy bez nutnosti stavby prototypu, což je velmi výhodné, neboť se šetří konstrukční čas a finanční prostředky. Navíc je možné provádět simulace již v rané fázi vývoje nového vozu, což přispívá také ke zkrácení vývojového cyklu. Důležitým přínosem počítačových simulací je také možnost vytváření dokonalejších modelů lidského těla, což umožňuje důkladněji pochopit děje, které se odehrávají během nárazu, a takto získané znalosti využít ke zlepšení bezpečnostních prvků.

Ze získaných podkladů a konzultací vyplývá, že jako softwarového vybavení se používají preprocesory, translátory, solvery a postprocesory, přičemž pro dynamické simulace crash testů se používají solvery explicitní. Na trhu se pohybuje mnoho výrobců, kteří se zabývají vývojem a produkcí těchto specializovaných softwarů. Jako často používaný software lze uvést například preprocesor ANSA a dále solver PAM-CRASH.

Z uvedených informací a především příkladů úspěšných aplikací počítačových simulací v praxi lze usuzovat, že do budoucna se dá předpokládat stále intenzivnější využívání počítačových simulací v konstrukci nových automobilů, kde cílem výrobců je bezpochyby omezení testů s prototypy na nezbytnou úroveň.

## 19 Seznam použitých zdrojů

- [1] Euro NCAP Online Documentation [online], 2007, poslední revize 24.2.2008. Dostupné z: <<http://www.euroncap.com>>
- [2] Siemens - Pedestrian protection testing facility [online], 2006, poslední revize 26.2.2008. Dostupné z: <<http://www.siemens-restraint-systems.de/en/walkerprotection.htm>>
- [3] 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.
- [4] Platné zákonné předpisy v oblasti pasivní bezpečnosti [online], poslední revize 3.12.2007. Dostupné z: <[http://www.auto.cz/main.php?site=crashtesty\\_predpisy](http://www.auto.cz/main.php?site=crashtesty_predpisy)>
- [5] LS-DYNA homepage [online], poslední revize 4.3.2008. Dostupné z: <<http://www.dynamore.de>>
- [6] ESI Group – Crash, Impact & Safety software [online], poslední revize 7.3.2008. Dostupné z: <<http://www.esi-group.com/products/crash-impact-safety>>
- [7] BETA CAE Systems S.A. – The complete solutions for CAE pre- & post-processing [online], 2007, poslední revize 10.3.2008. Dostupné z: <<http://www.beta-cae.gr/>>
- [8] Altair HyperWorks – Complete simulation software [online], 2008, poslední revize 14.3.2008. Dostupné z: <<http://www.altairhyperworks.com/Default.aspx>>
- [9] TRW Passive safety web page [online], 2008, poslední revize 8.2.2008. Dostupné z: <<http://www.trw.com>>
- [10] Novinky v oblasti bezpečnosti automobilů [online], poslední revize 3.4.2008. Dostupné z: <<http://news.auto.cz/bezpecnost>>
- [11] BMW má noční vidění [online], 2005, poslední revize 5.4.2008. Dostupné z: <<http://www.autoweb.cz/autonovinky-nova-auta/bmw-ma-nocni-videni/722>>
- [12] Renault – produktové stránky nových vozů [online], 2008, poslední revize 24.3.2008. Dostupné z: <<http://www.renault.cz/renault-ceska-republika/1400-seznam-novych-vozu>>
- [13] Nissan – Technological development activities [online], poslední revize 18.3.2008. Dostupné z: <<http://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/INTRODUCTION/SAFETY/>>
- [14] Autoliv's safety projects [online], 2006, poslední revize 14.3.2008. Dostupné z: <<http://www.autoliv.com/alv/connect/Home/What+We+Do/Research/Some%20Projects>>
- [15] KOVANDA, Jan. *Biomechanické limity pro minimalizaci zranění*. [online]. Praha, 2004. Dostupné z: <[http://www.snt-services.cz/Content.Node/solutions\\_services/professional\\_services/01.pdf](http://www.snt-services.cz/Content.Node/solutions_services/professional_services/01.pdf)>
- [16] POKORNÝ, Jan. *Bezpečnost a ochrana chodců: průvodní text k prezentaci Bezpečnost a ochrana chodců* [online]. 2004. Dostupné z: <[http://envi.upce.cz/pisprace/ostatni/pokorny\\_text.pdf](http://envi.upce.cz/pisprace/ostatni/pokorny_text.pdf)>
- [17] POKORNÝ, Jan. *Bezpečnost a ochrana chodců* [online]. 2004. Dostupné z: <<http://envi.upce.cz/pisprace/ostatni/pokorny.pdf>>



## 20 Seznam obrázků

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 1 Rozdělení bezpečnostních prvků .....                                                              | 10 |
| Obr. 2 Průběh krizové situace s ABS a bez ABS [9] .....                                                  | 11 |
| Obr. 3 Funkce systému pro varování před vybočením z jízdního pruhu [10] .....                            | 12 |
| Obr. 4 Porovnání konvečního a adaptabilního světlometu [10] .....                                        | 13 |
| Obr. 5 Systém nočního vidění v praxi [11] .....                                                          | 13 |
| Obr. 6 Mechanismus předpínače pásů [12] .....                                                            | 14 |
| Obr. 7 Mechanismus aktivní opěrky hlavy [13] .....                                                       | 15 |
| Obr. 8 Rozmístění airbagů ve vozidle [12] .....                                                          | 16 |
| Obr. 9 Průběh aktivace kapoty při střetu s chodcem [13] .....                                            | 17 |
| Obr. 10 Airbag přes A sloupek s aktivní kapotou [14] .....                                               | 17 |
| Obr. 11 Airbag pro ochranu chodců před hranou kapoty [14] .....                                          | 17 |
| Obr. 12 Čelní přesazený náraz [1] .....                                                                  | 22 |
| Obr. 13 Boční náraz [1] .....                                                                            | 23 |
| Obr. 14 Náraz na kůl [1] .....                                                                           | 24 |
| Obr. 15 Znázornění testů s impaktory [1] .....                                                           | 24 |
| Obr. 16 Figuríny Hybrid III (vlevo) a EuroSID II [1] .....                                               | 26 |
| Obr. 17 Konstrukce impaktoru hlavy .....                                                                 | 26 |
| Obr. 18 Provádění testu s impaktorem hlavy [2] .....                                                     | 27 |
| Obr. 19 Provedení testu s impaktorem stehna [2] .....                                                    | 27 |
| Obr. 20 Konstrukce impaktoru stehna .....                                                                | 28 |
| Obr. 21 Konstrukce impaktoru dolní končetiny .....                                                       | 29 |
| Obr. 22 Provedení testu s impaktorem dolní končetiny [2] .....                                           | 29 |
| Obr. 23 Systém bodového hodnocení podle vyššího a nižšího limitu .....                                   | 30 |
| Obr. 24 Barevné znázornění ochrany cestujících [1] .....                                                 | 34 |
| Obr. 25 Znázornění výsledku nárazu na kůl [1] .....                                                      | 34 |
| Obr. 26 Barevné znázornění ochrany chodců [1] .....                                                      | 35 |
| Obr. 27 Celkové vyhodnocení testovaného vozu [1] .....                                                   | 36 |
| Obr. 28 Porovnání simulace a reálného crash testu [6] .....                                              | 37 |
| Obr. 29 Simulace čelního přesazeného nárazu [5] .....                                                    | 38 |
| Obr. 30 Bariéra pro čelní přesazený náraz a pro boční náraz [5] .....                                    | 38 |
| Obr. 31 Simulace účinků zádržných systému na člověka [6] .....                                           | 38 |
| Obr. 32 Simulace figuríny EuroSID II (vlevo) a Hybrid III [5] .....                                      | 39 |
| Obr. 33 Počítačový model těhotné ženy [10] .....                                                         | 39 |
| Obr. 34 Rozdělení softwarů používaných při počítačových simulacích .....                                 | 40 |
| Obr. 35 Převod formátu - vlevo model v softwaru CATIA, vpravo model převedený do softwaru ANSA [7] ..... | 40 |
| Obr. 36 Model připravený v preprocesoru ANSA [7] .....                                                   | 42 |
| Obr. 37 Zobrazení výstupu simulace v postprocesoru Altair HyperView [8] .....                            | 43 |
| Obr. 38 Postup při provádění počítačové simulace .....                                                   | 43 |
| Obr. 39 Simulace Škoda Roomster [6] .....                                                                | 44 |
| Obr. 40 Simulace Seat León [6] .....                                                                     | 45 |
| Obr. 41 Porovnání simulace a reálného nafukování záclonového airbagu [6] .....                           | 46 |

## 22 Seznam tabulek

|         |                                                                         |    |
|---------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 1  | Doplňkové podvozkové systémy .....                                      | 11 |
| Tab. 2  | Přehled doplňkových systémů pro pásy .....                              | 14 |
| Tab. 3  | Předpisy zjišťující vnitřní pasivní bezpečnost cestujících ([3]) .....  | 19 |
| Tab. 4  | Zákonné biomechanické limity pro čelní náraz .....                      | 20 |
| Tab. 5  | Zákonné biomechanické limity pro boční náraz .....                      | 20 |
| Tab. 6  | Organizace zapojené do programu Euro NCAP, tabulka převzata z [1] ..... | 21 |
| Tab. 7  | Kategorie automobilů podle Euro NCAP .....                              | 22 |
| Tab. 8  | Obsazení vozu figurínami při čelním nárazu .....                        | 23 |
| Tab. 9  | Obsazení vozu figurínami při bočním nárazu .....                        | 23 |
| Tab. 10 | Obsazení vozu figurínami při nárazu na kůl .....                        | 24 |
| Tab. 11 | Výbava figurín Hybrid III a EuroSID II .....                            | 25 |
| Tab. 12 | Parametry impaktorů dětské a dospělé hlavy .....                        | 26 |
| Tab. 13 | Umístění snímačů a měřené veličiny na impaktoru stehna .....            | 27 |
| Tab. 14 | Umístění snímačů a měřené veličiny na impaktoru dolní končetiny .....   | 28 |
| Tab. 15 | Limity pro hlavu při čelním nárazu .....                                | 30 |
| Tab. 16 | Limity pro hlavu řidiče (bez airbagu) při čelním nárazu .....           | 31 |
| Tab. 17 | Limity pro krk při čelním nárazu .....                                  | 31 |
| Tab. 18 | Limity pro hrudník při čelním nárazu .....                              | 31 |
| Tab. 19 | Limity pro koleno, stehno a pánev při čelním nárazu .....               | 31 |
| Tab. 20 | Limity pro dolní část nohy při čelním nárazu .....                      | 32 |
| Tab. 21 | Limity pro chodilo a kotník při čelním nárazu .....                     | 32 |
| Tab. 22 | Limity pro hlavu při bočním nárazu .....                                | 32 |
| Tab. 23 | Limity pro hrudník při bočním nárazu .....                              | 33 |
| Tab. 24 | Limity pro břicho při bočním nárazu .....                               | 33 |
| Tab. 25 | Limity pro pánev při bočním nárazu .....                                | 33 |
| Tab. 26 | Bodová hodnota barev pro cestující ve vozidle .....                     | 34 |
| Tab. 27 | Bodová hodnota barev pro bezpečnost chodců .....                        | 35 |
| Tab. 28 | Počty bodů pro udělení hvězdiček za ochranu chodců .....                | 35 |
| Tab. 29 | Počty bodů pro udělení hvězdiček za celkovou bezpečnost .....           | 36 |