

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy

**Pasivní bezpečnost chodců při střetu  
s vozidlem**

**Diplomová práce**

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Jan Kovanda, CSc.

Autor práce: Bc. Pavel Tulach

PRAHA 2011

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Akademický rok 2009/2010

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Pavel Tulach**

obor Silniční a městská automobilová doprava

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze čl. 17 odst. 2 určuje tuto diplomovou práci.

Název práce: **Pasivní bezpečnost chodců při střetu s vozidlem**

### Osnova diplomové práce:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Rešerše stavu problematiky
4. Vlastní analýza problému, výpočtová a experimentální
5. Syntéza poznatků, tvorba vlastního návrhu řešení
6. Závěr
7. Seznam literatury
8. Přílohy

Rozsah hlavní textové části: 40 - 60 stran

Doporučené zdroje:

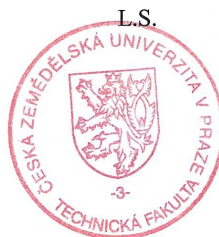
Kovanda, Riva: Human - vehicle interaction. Ed. Spiegel, Milano 1999  
First: Zkoušení automobilů a motocyklů. SnT Praha 2008  
Kovanda: Pasivní bezpečnost. Skriptum CVUT, 2000  
Fanta: Biomechanika poranění hlavy. BP FD CVUT, 2008  
Studie k disertačním pracím FD CVUT  
Diplomové práce FD ČVUT, TF ČZU  
Výzkumné zprávy projektů FT-TA/024 (MPO), 1F44I/091/050 (MD), CG911-044-150 (MD)

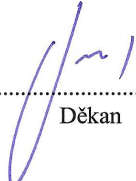
Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jan Kovanda, CSc.**

Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2011

  
.....  
Vedoucí katedry



  
.....  
Děkan

V Praze dne: 30. 11. 2009

---

---

## Prohlášení

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma „*Pasivní bezpečnost chodců při střetu s vozidlem*“ jsem vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Jana Kovandy, CSc. Použitou literaturu a další podkladové materiály uvádím v příloženém seznamu literatury.

V Praze, dne

.....

podpis studenta

## Poděkování

Děkuji panu prof. Ing. Janu Kovandovi, CSc. za poskytnutí cenných rad a připomínek při vedení diplomové práce, dále pak Ing. Josefu Míkovi, který zajistil měřicí vybavení a v neposlední řadě vedení VÚKV a.s. a Ing. Jiřímu Jelénkovi za poskytnutí testovacího zařízení, pomoc a zkušenosti využité při praktické části.

Současně chci poděkovat své rodině za podporu při studiu na vysoké škole a práci na této diplomové práci.

**Abstrakt:** Cílem diplomové práce je posouzení následků dopravních nehod při střetu vozidla s chodcem a opatření, které mohou tyto následky minimalizovat. V první části rešerše je uvedena stávající legislativní úprava, která se zabývá vztahy s nechráněnými účastníky provozu, tedy chodci. Následující kapitola byla zaměřena na možná poranění hlavy, výpočet kritéria poranění HIC a s těmito tématy související biomechaniku poranění hlavy, tedy nejvíce choulostivou část lidského těla. Dále byly popsány možnosti pasivní ochrany chodců, jakými je např. aktivní kapota, systémy vnějších airbagů pro chodce či systémy nočního vidění. V praktické části této práce jsou uvedeny a popsány jednotlivé měřicí přístroje a zařízení využitá při měření dat. Dále jsou uvedeny výsledky měření a diskutovány faktory ovlivňující míru poranění chodce při srážce s osobním vozidlem.

**Klíčová slova:** Chodec, biomechanika poranění, HIC.

**Summary:** The aim of this diploma thesis is an examination of the consequences of traffic accidents involving the collision between vehicles and pedestrians, and of the measures which could minimize these consequences. In the first part of the research the existing legislative arrangement is introduced, which revolves around the relationships with unprotected parties - i.e. with pedestrians. The following chapter is focussed on potential head injuries, an evaluation of the injury criteria known as HIC and the associated biomechanics of injuries to the head, the most delicate part of the human body. Thereafter possibilities of passive protection of the pedestrian are described, for example by means of active hoods/bonnets, a system of outer airbags for pedestrians, and night vision systems. In the practical section of this work, individual measuring instruments and apparatus used for data collection are introduced and described. Also introduced are the results of data collection and the discussed factors which influence the level of injury to the pedestrian in a collision with a passenger car.

**Key words:** Pedestrian, biomechanics, injury, HIC.

## Obsah:

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce a metodika .....	3
3	Rešerše stavu problematiky .....	4
3.1	Dopravní legislativa .....	4
3.1.1	Základní informace .....	4
3.1.2	Legislativní vývoj ochrany chodců.....	5
3.1.3	Postavení chodce v dopravě.....	7
3.1.4	Legislativní úprava vztahu řidič – chodec .....	8
3.1.5	Legislativní úprava vztahů vozidlo – chodec.....	9
3.1.6	Ochrana chodců při srážce s automobilem .....	9
3.2	Statistiky dopravních nehod.....	10
3.2.1	Vývoj počtu dopravních nehod.....	11
3.3	Střet vozidla a chodce .....	13
3.4	Poranění hlavy .....	14
3.5	Biomechanická kritéria poranění hlavy .....	18
3.5.1	Wayne State Tolerance Curve .....	18
3.5.2	Head Injury Criterion - HIC.....	18
3.6	Pasivní bezpečnost chodců .....	20
3.6.1	Aktivní kapota a spoiler .....	20
3.6.2	Systémy airbagů pro chodce .....	21
3.6.3	Systémy airbagů pro chodce u vozidel SUV .....	23
3.6.4	Systémy nočního vidění.....	24
3.6.5	Viditelnost chodce .....	26
4	Vlastní analýza problému, výpočtová a experimentální.....	28
4.1	Informace o měření .....	28
4.1.1	Měřicí přístroje a pomůcky .....	28
4.2	Vyhodnocení naměřených dat.....	33
4.3	Náraz impaktoru na kmen stromu.....	33
4.4	Náraz impaktoru na kapotu Škoda Fabia .....	35
4.4.1	První měřicí pokus (výška 1,83 m, rychlost 17,9 km/h).....	35
4.4.2	Druhý měřicí pokus (výška 3,385 m, rychlost 26,43 km/h) .....	37
4.4.3	Třetí měřicí pokus (výška 3,385 m, rychlost 26,61 km/h).....	38

4.5	Náraz impaktoru na kapotu Audi A4 .....	39
4.5.1	Čtvrtý měřicí pokus (výška 3,38 m, rychlost 26,49 km/h) .....	40
4.5.2	Pátý měřicí pokus (výška 2,4 m, rychlost 21,47 km/h) .....	40
4.5.3	Šestý měřicí pokus (výška 3,36 m, rychlost 26,49 km/h).....	41
4.6	Náraz impaktoru na železnou nepoddajnou desku.....	42
4.7	Shrnutí poznatků, tvorba vlastního návrhu .....	43
5	Závěr .....	46
6	Použitá literatura .....	48
7	Zkratky .....	49
8	Seznam obrázků, tabulek a grafů .....	50



# 1 Úvod

Osobní i nákladní motorová vozidla se stala neodmyslitelnou součástí každodenního života milionů lidí. Jen málokterý člověk by si dokázal představit život bez možnosti každodenního nebo alespoň občasného užívání automobilu.

Proto trvale roste počet provozovaných automobilů a to zejména ve městech. Města se tak stávají prostorem, jehož dříve dostačující pozemní komunikace jsou přeplněné nervózními řidiči, ale také cyklisty a chodci. Města, resp. jejich komunikace se tak stávají extrémně nebezpečným prostředím.

Vysoká hustota a náročná orientace v mnohdy i složitém dopravním provozu klade nesmírné nároky na psychickou odolnost všech účastníků silničního provozu a je jen logické, že obrovské množství možných vzájemných kontaktů vyústí do nemalého počtu dopravních nehod.

V lepším případě se jedná o nehody, jejichž účastníky jsou pouze automobily, tedy o srážky vzájemně rovnocenných partnerů, ke kterým dochází v relativně malé rychlosti, na kterou jsou vozidla dobře vybavená nárazníky a deformačními zónami. V těchto případech obvykle nejde o nebezpečné nehody a jejich důsledky pro řidiče a přepravované osoby nebývají závažné.

Daleko horší situace nastávají, pokud dojde ke srážce mezi automobilem na jedné straně a motocyklem, jízdním kolem či chodcem na straně druhé. Zde se srážky účastní v porovnání s poměrně dobře chráněnou posádkou automobilu, špatně a nebo vůbec nechránění účastníci silničního provozu a zejména pro ně mají nehody velmi vážné, mnohdy až fatální následky. Především tímto se budu v následující práci zabývat.

Za vznik těchto dopravních nehod nezodpovídají jen řidiči automobilů, z jejichž strany je příčinou srážky ve většině případů nepozornost, nebo nepřiměřená rychlost jízdy, ale také chodci, kteří si často razí cestu bez ohledu na možnosti řidiče.

Chodec by měl vždy dbát na vlastní bezpečnost a především si uvědomit fatální následky, které pro něj srážka s vozem představuje.

Výše popsané stavy jsou pochopitelně dobře známé konstruktérům automobilů, a proto se u moderních vozů stále častěji setkáváme se systémy, které mají za úkol alespoň částečně zmírnit následky pro automobilem sraženého chodce.

V konstrukci moderních vozů se stále více využívají nejen různé senzory, které řidiče upozorní na přítomnost chodce (jsou velkou výhodou zejména za snížené viditelnosti), ale také pasivní prostředky poskytující chodcům alespoň částečnou výhodu jako jsou

např. vystřelovací kapoty a nárazníky, vnější airbagy atd.. Tyto technické inovace minimalizují následky způsobené chodci při nárazu.

## 2 Cíl práce a metodika

Základem této práce je literární rešerše, která si klade za cíl shromáždit a prezentovat podstatné informace o problematice střetu vozidla s chodcem. V prvních kapitolách se věnuji dopravní legislativě zaměřené na chodce, jakožto účastníka dopravního provozu a jeho vztahu k vozidlu či jeho řidiči. Legislativa sjednocuje požadavky na postupy a provedení zkoušek, definuje podmínky a hodnocení bezpečnosti při měření či testech.

Cílem následující kapitoly bylo získat statistické údaje o počtu dopravních nehod, počtu zraněných a usmrcených osob za uplynulé desetiletí. Tyto data jsem zpracoval do tabulky a pro názornost vytvořil přehledné grafy. Na popsání možných následků poranění hlavy navazují preventivní i následná opatření v konstrukci automobilů. V této části jsou podrobně popsány možnosti aktivní a pasivní ochrany chodců, tak i rizika a následky této problematiky.

Praktická část tvoří podstatnou část mé práce, ve které jsem popsal způsob námi provedených měřících pokusů a použitého měřícího vybavení. Podrobně jsem popsal jednotlivé měřící pokusy, při kterých byly provedeny simulace nárazu impaktorem hlavy. Volbou různé spouštěcí výšky na padostroji a různých dopadových povrchů jsme simulovali možné situace srážky vozidla s chodcem.

Vyhodnocením měření je tabulka, která znázorňuje vážnost a následky poranění hlavy při nárazu do námi zvolených materiálů (kmen stromu, dva různé typy kapot automobilů a železné desky) s rozdílnou nárazovou rychlostí. Pro jednotlivá měření je vypočtena hodnota kritéria poranění hlavy HIC a je současně vyobrazena v příslušných grafech. Toto vyhodnocení bylo provedeno v programu Hypergraph na Ústavu dopravní techniky v areálu ČVUT.

## 3 Rešerše stavu problematiky

### 3.1 Dopravní legislativa

Tvorba legislativy je dynamický proces, proto je nezbytné její přehled průběžně nebo v časových intervalech aktualizovat.

Vzhledem k integračním procesům v této oblasti význam rozdělení legislativy na národní a mezinárodní úrovni slábné. Většina předpisů je tvořena s mezinárodní účastí a do národní legislativy je rychle implementována.

#### 3.1.1 Základní informace

Každý účastník dopravy je v přímém vztahu k:

- dopravnímu prostředku,
- dopravní infrastruktuře,
- ostatním účastníkům dopravy.

Zprostředkovaně pak:

- třetím osobám (výrobce, prodejce, dovozce, obsluha, bezpečnost,...).

Většina těchto vztahů je upravena legislativně. Legislativa je soubor pravidel, jimiž se vztahy řídí. Za legislativu můžeme považovat:

- zákony,
- vyhlášky,
- směrnice,
- předpisy,
- normy,
- nařízení a jiné,

pokud jsou sestaveny a schváleny orgány k tomu kompetentními a pokud nejsou v rozporu vzájemném, nebo se zákonem nejvyšším – ústavou. [First, Jiří a kol., 2008]

Legislativa, která se přímo dotýká dopravy, je rozdělena do několika skupin, které volně můžeme pojmenovat:

- a) pravidla silničního provozu, jimiž je upraveno chování účastníků dopravy v provozu,

- b) administrativní pravidla, jimiž je stanovena činnost státní administrativy nebo jiných subjektů (registrace vozidel, řidičské průkazy, pojišťovnictví atd.),
- c) technická pravidla, jimiž jsou stanoveny podmínky při stavbě provozu a údržbě dopravní infrastruktury,
- d) technická pravidla, jimiž jsou stanoveny podmínky technické způsobilosti dopravních prostředků k provozu. [First, Jiří a kol., 2008]

Pro tuto práci je nejpodstatnější legislativa podle odstavce d) týkající se silničních motorových vozidel. Vzhledem k tomu, že doprava probíhá kontinuálně i v prostoru, je nezbytné, aby legislativa pokryla místní, národní i mezinárodní potřeby a tyto nebyly vzájemně v rozporu. To vede k celosvětové unifikaci. [First, Jiří a kol., 2008]

Na národní úrovni patří legislativa dopravních prostředků do kompetence Ministerstva dopravy ČR. Tím není dotčeno to, že:

- technické normy, kterými se řídí zejména výroba dopravních prostředků, patří do kompetence Českého normalizačního institutu,
- hygienické předpisy, které se na dopravní prostředky vztahují, patří do kompetence Ministerstva zdravotnictví ČR, nebo Ministerstva životního prostředí ČR.

[First, Jiří a kol., 2008]

Na mezinárodní úrovni patří legislativa dopravních prostředků do kompetence více institucí, jimiž jsou:

- Evropská hospodářská komise, Organizace spojených národů (EHK/OSN),
- Evropské hospodářské společenství (EHS/ES).

Tím není dotčeno to, že technické normy jsou v kompetenci Mezinárodní normalizační organizace (ISO). [First, Jiří a kol., 2008]

### **3.1.2 Legislativní vývoj ochrany chodců**

V roce 1978 byl Evropskou komisí se zastoupením vlád jednotlivých států založen výbor EEVC /European Enhanced Vehicle – Safety Committee/, který se začal zabývat výzkumem nehod vozidel s chodci. Tento program je následně realizován ve výzkumných laboratořích různých evropských států.

Roku 1985 již Ministerstvo dopravy Velké Británie navrhuje jednoduché zkušební metody pro zvýšení úrovně pasivní bezpečnosti chodců.

V roce 1991 předložila pracovní skupina při EEVC /Working Group 10/ návrh metodiky testů a kritérií, která vycházejí z pravděpodobnosti vzniku závažných poranění chodce při čelním nárazu s vozidlem jedoucím 40 km/h. Na základě tohoto návrhu byl v roce 1992 předložen koncept návrhu přizpůsobení směrnice 74/483/EHS týkající se vnějších výčnělků motorových vozidel, který byl však zamítnut Evropskou asociací výrobců automobilů ACEA z důvodu malé ekonomické efektivity. Následně byly vypracovány další ekonomické analýzy a roku 1996 byl Evropské komisi předložen koncept návrhu směrnice III/5021/96 EN.

Roku 1997 byla ustanovena další pracovní skupina při EEVC /Working Group 17/, aby testovací metodiky opět zhodnotila.

V roce 2000 vydala Evropská komise prohlášení týkající se „Priorit bezpečnosti provozu v EU“, kde je vyjádřena potřeba legislativy v oblasti ochrany chodců.

Roku 2001 předložila Evropská asociace výrobců automobilů ACEA vlastní legislativní návrh pro zlepšení ochrany chodců při střetu s automobilem, který vychází z metodik testů vytvořených pracovními skupinami EEVC WG 10 a 17 a obsahuje mj. i návrh na zákaz výbavy automobilů předními ochrannými rámy, které jsou tolik typické zejména pro terénní vozy. [Schejbalová Z, 2002]

Komise Evropských společenství s ohledem na nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 78/2009 ze dne 14. ledna 2009 o schvalování typu motorových vozidel z hlediska ochrany chodců a ostatních nechráněných účastníků silničního provozu, mění směrnice 2007/46/ES a zrušují směrnice 2003/102/ES a 2005/66/ES vzhledem k těmto důvodům:

- Nařízení (ES) č. 78/2009 stanoví základní požadavky na ochranu chodců a ostatních nechráněných účastníků silničního provozu prostřednictvím zkoušek a mezních hodnot pro schvalování typu vozidel a systémů čelní ochrany jako samostatných technických celků.
- Zkoušky stanovené v nařízení (ES) č. 78/2009 jsou založeny na požadavcích směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/102/ES ze dne 17. listopadu 2003 o ochraně chodců a ostatních nechráněných účastníků silničního provozu před střetem a v případě střetu s motorovým vozidlem.

[Úřední věstník EU, 2009]

Z toho mj. vyplývá, že nová terénní osobní auta již nebudou moci být vybavována dodatečně montovanými tvrdými čelními ochrannými rámy. Toto nařízení nemá zpětnou platnost. Pro lidi, kteří si terénní auto pořídili před vydáním směrnice, se tedy nic nemění a mohou s rámem nadále jezdit. Naopak výrobci už musejí nové nařízení plně respektovat. Důvodem, proč se legislativa zpřísnila, je snaha EU lépe chránit chodce před důsledky srážky např. s terénním vozidlem.

### 3.1.3 Postavení chodce v dopravě

Chodci patří k nejméně chráněné skupině účastníků pozemní dopravy.

*Pozn. podobný stav ochrany se vztahuje na cyklisty a motocyklisty, pro tyto je však legislativně upraven ochrannými pomůckami (přilby apod.).*

Chování a postavení chodců v dopravě je upraveno základním dokumentem:

Zákon č. 361/2000 Sb.

Ze zákona vyplývá:

- chodec na veřejné komunikaci je účastníkem dopravy (silničního provozu)
- průvodce vedených nebo hnaných zvířat je účastníkem provozu na pozemních komunikacích, který doprovází zvířata ..., průvodcem zvířat není chodec vedoucí psa
- chodec je i osoba, která tlačí nebo táhne sánky, dětský kočárek, vozík, jede na lyžích, bruslích, vede jízdní kolo nebo motocykl do objemu 50 ccm, psa apod.
- přechod pro chodce je místo na pozemní komunikaci určené pro přecházení chodců, vyznačené příslušnou dopravní značkou
- v obytné či pěší zóně musí chodci umožnit vozidlům jízdu
- kde není chodník - chodí se po levé krajnici, kde není krajnice – chodí se co nejbližší při levém okraji vozovky. Chodci smějí jít po krajnici nebo při okraji vozovky, nejvýše dva vedle sebe. Při snížené viditelnosti nebo v nebezpečných úsecích jen za sebou
- na stezce pro chodce a cyklisty nesmí chodec ohrozit cyklistu jedoucího po stezce
- je-li blíže než 50 m křižovatka s řízeným provozem, přechod (nadchod, podchod) pro chodce, musí chodec přecházet jen na těchto místech
- mimo přechod pro chodce je dovoleno přecházet vozovku jen kolmo k její ose

- s ohledem na rychlost vozidel a jejich vzdálenost je nedonutí k náhlé změně směru nebo rychlosti jízdy
- po vstupu do vozovky nesmí chodec bezdůvodně zastavit nebo zdržovat provoz

[Kovanda J. a kol., Praha 2009]

Nesmí vstupovat do vozovky bezprostředně před blížícím se vozidlem,

- musí dát přednost tramvaji,
- chodec nesmí překonávat zábradlí nebo jiné zábrany na vozovce,
- vzor a způsob užití oděvních doplňků s označením z retroreflexního materiálu stanoví prováděcí právní předpis (týká se zejména organizovaného útvaru chodců),
- osoba, která táhne nebo tlačí ruční vozík širší než 600 mm, musí jít po pravém okraji vozovky nebo krajnici.

[Kovanda J. a kol., Praha 2009]

### **3.1.4 Legislativní úprava vztahu řidič – chodec**

Chování řidičů vozidel vůči chodcům v dopravě je upraveno základním dokumentem: Zákon č. 361/2000 Sb. Ze zákona vyplývá:

- řidič je povinen umožnit chodci, který je na přechodu pro chodce, nebo jej zřejmě hodlá použít, nerušené a bezpečné přejítí vozovky, proto se musí řidič takového vozidla přibližovat k přechodu pro chodce takovou rychlostí, aby mohl zastavit vozidlo před přechodem a pokud je to nutné toto vozidlo zastavit,
- řidič nesmí ohrozit chodce přecházejícího pozemní komunikaci, na kterou řidič odbočuje, při vjíždění na pozemní komunikaci a při otáčení nebo couvání,
- řidič se nesmí otáčet nebo couvat na přechodu pro chodce,
- řidič nesmí zastavit a stát na přechodu pro chodce a ve vzdálenosti kratší než 5 m před ním,
- v obytné a pěší zóně smí řidič jet rychlostí nejvýš 20 km/h.

[Kovanda J. a kol., Praha 2009]



### 3.1.5 Legislativní úprava vztahů vozidlo – chodec

Silniční vozidla jsou konstruována tak, aby při střetu s chodcem nebo s jiným nechráněným účastníkem dopravy byly následky minimalizovány. Na straně vozidel je tato snaha uplatňována prostřednictvím konstrukcí zohledňujících:

- tvary kolidujících částí,
- výčnělky, hrany a drsnost povrchů,
- tuhost (pružnost) kolidujících částí,
- tříštivost materiálů.

[Kovanda J. a kol., Praha 2009]

Základním dokumentem, který podmínku schvalování technické způsobilosti vozidel stanoví, je vyhláška MDČR č. 341/2002 Sb. ve znění vyhlášky MDČR č. 100/2003 Sb. Tento zákon určuje vazbu na mezinárodní legislativu, kterou se schvalování řídí. Jde o dva soubory. Předpisy EHK/OSN a Směrnice EHS/ES. S ochranou chodců souvisí přímo tyto:

- a) Směrnice EHS/ES č. 2003/102 a 2004/90 – Ochrana chodců a ostatních nechráněných účastníků dopravy před srážkou s motorovým vozidlem.
- b) Předpis EHK/OSN č. 26 a 61 – Vnější výčnělky vozidel kategorie M<sub>1</sub> a N.
- c) Směrnice EHS/ES č. 74/483 a 79/488 – Vnější výčnělky vozidel kategorie M<sub>1</sub>.
- d) Směrnice EHS/ES č. 92/114 – Vnější výčnělky vozidel kategorie N.
- e) Směrnice EHS/ES č. 97/244 – Vnější výčnělky vozidel kategorie L.

[Kovanda J. a kol., Praha 2009]

### 3.1.6 Ochrana chodců při srážce s automobilem

Osobní automobil do hmotnosti 2500 kg (kategorie M<sub>1</sub>) a užitková vozidla z nich odvozená (N<sub>1</sub>), jsou z tohoto hlediska zkoušena a schvalována. Při zkouškách jsou simulovány reálné střety pomocí zkušebních figurín nebo maket částí těla – impaktorů. Zkoušky jsou provedeny podle směrnice 78/2009 ES, která nahradila EHS/ES č. 2003/102 a 2004/90.

[Kovanda J. a kol., Praha 2009]

Stručný popis směrnice:

Směrnice nadále vychází z dřívějších směrnic EHS/ES č. 2003/102 a 2004/90.

Ochrana chodců je ve smyslu Směrnice pojata integrálně, bez rozlišení podílu konkrétního konstrukčního prvku vozidla na následcích kolize. [Kovanda J. a kol., Praha 2009]

Vozidla jsou hodnocena na základě zkoušek – kolizí. Při zkouškách jsou zkušební figuríny nahrazovány impaktory. Prováděny jsou tyto druhy zkoušek:

- náraz maketou dolní části nohy do nárazníku,
- náraz maketou holení části nohy do nárazníku,
- náraz maketou hlavy dítěte do vršku kapoty,
- náraz maketou horní části nohy do řídicí hrany kapoty,
- náraz maketou hlavy dospělého do čelního okna.

Stanovení druhu zkoušek vychází ze statistik a respektuje nejčastější typy nehod.

[Kovanda J. a kol., Praha 2009]

### **3.2 Statistiky dopravních nehod**

Pro řešení stavu problematiky při střetu vozidla s chodcem je velmi důležité zmapovat množství dopravních nehod. K těmto účelům poslouží získaná data z MVCR a CZSO.

Dopravní nehody jsou v dnešním hustém provozu nevyhnutelné. Je to dáno velkým počtem vozidel, který rok od roku narůstá a omezenou kapacitou dopravních komunikací. Ačkoliv se pro dnešní bezpečnost na veřejných komunikacích dělá hodně, nelze zabránit všem dopravním nehodám. I když je snahou dopravně vytížené a nebezpečné křižovatky v obydlených částech řídit pomocí světelné signalizace či v případě silnic mimo obydlenou oblast, zpomalit a zvýšit bezpečnost pomocí okružních křižovatek, není to vždy technicky či prostorově možné. Mezi největší klady okružních křižovatek patří snížení rychlosti a zejména snížení počtu možných kolizních bodů oproti průsečné křižovatce z 32 na pouhých 8 bodů, na kterých nedochází k nejnebezpečnějším čelním nárazům. Přesto ani tato opatření nejsou vždy možná a k dopravním nehodám dochází.

### 3.2.1 Vývoj počtu dopravních nehod

Z vývoje počtu dopravních nehod v České republice je patrné, že v první polovině dekády je počet usmrcených celkem vysoký a ustálený. V druhé polovině je patrný klesající trend, který se v roce 2009 ustálil na hranici devíti set. V grafu 3.1 jsem pokládal za vhodné zvýraznit roky, ve kterých byla provedena změna minimální hodnoty hmotné škody. Proto je nezbytné zde uvést, že tyto počty jsou pouze nahlášené dopravní nehody nad postupně zvyšující se hodnotou hmotné škody na vozidlech a v případě zranění nebo usmrcení účastníků dopravní nehody.

Z dalšího grafu 3.2, kde jsou graficky znázorněna data počtu usmrcených osob v jednotlivých letech, je patrný klesající trend. Zde již jsou data naprosto neovlivněná změnami zákonů týkajících se nahlášení dopravní nehody. Do roku 2003 počet usmrcených osob pozvolna, ale plynule klesal, až do roku 2006. V tomto roce byl zaznamenán razantní pokles počtu zraněných. Velký podíl na tom bude mít současný systém bodového hodnocení řidičů, který byl v ČR zaveden 1. července 2006 na základě zákonů č. 411/2005 Sb. a 226/2006 Sb. Bohužel v následujícím roce opět počty usmrcených vzrostly, ale v posledních třech letech výrazně klesají.

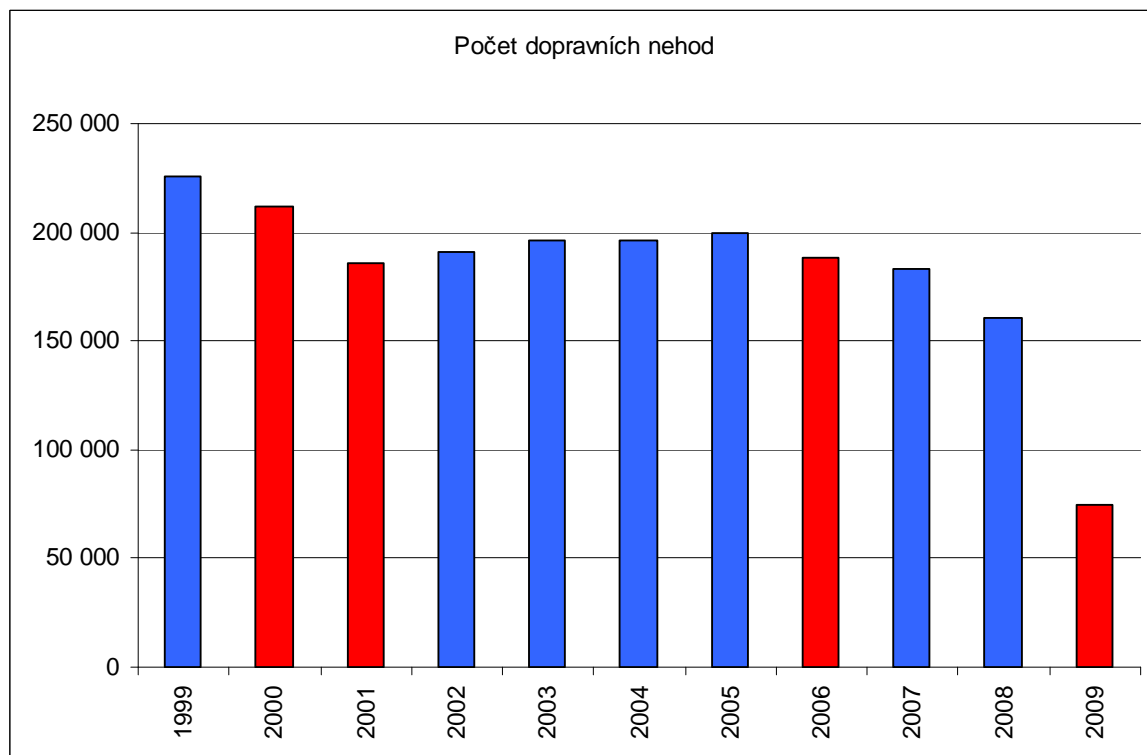
Tab. 3-1 Vývoj počtu dopravních nehod v ČR

Rok	Počet dopravních nehod	Počet usmrcených osob	Počet těžce zraněných	Počet lehce zraněných	Věcná škoda (mil. Kč)	Nehody zaviněné pod vlivem alkoholu
1999	225 690	1 455	6 093	28 747	7 148,80	9 120
2000	211 516	1 486	5 525	27 063	7 095,89	8 888
2001	185 664	1 334	5 493	28 297	8 243,90	9 191
2002	190 718	1 431	5 492	29 013	8 891,20	9 552
2003	195 851	1 447	5 253	30 312	9 334,27	9 076
2004	196 484	1 382	4 878	29 543	9 687,39	8 445
2005	199 262	1 286	4 396	27 974	9 771,28	8 192
2006	187 965	1 063	3 990	24 231	9 116,35	6 807
2007	182 736	1 222	3 960	25 382	8 467,29	7 466
2008	160 376	1 076	3 809	24 776	7 741,46	7 252
2009	74 815	901	3 536	23 777	4 981,09	5 725

Zdroj: MVCR

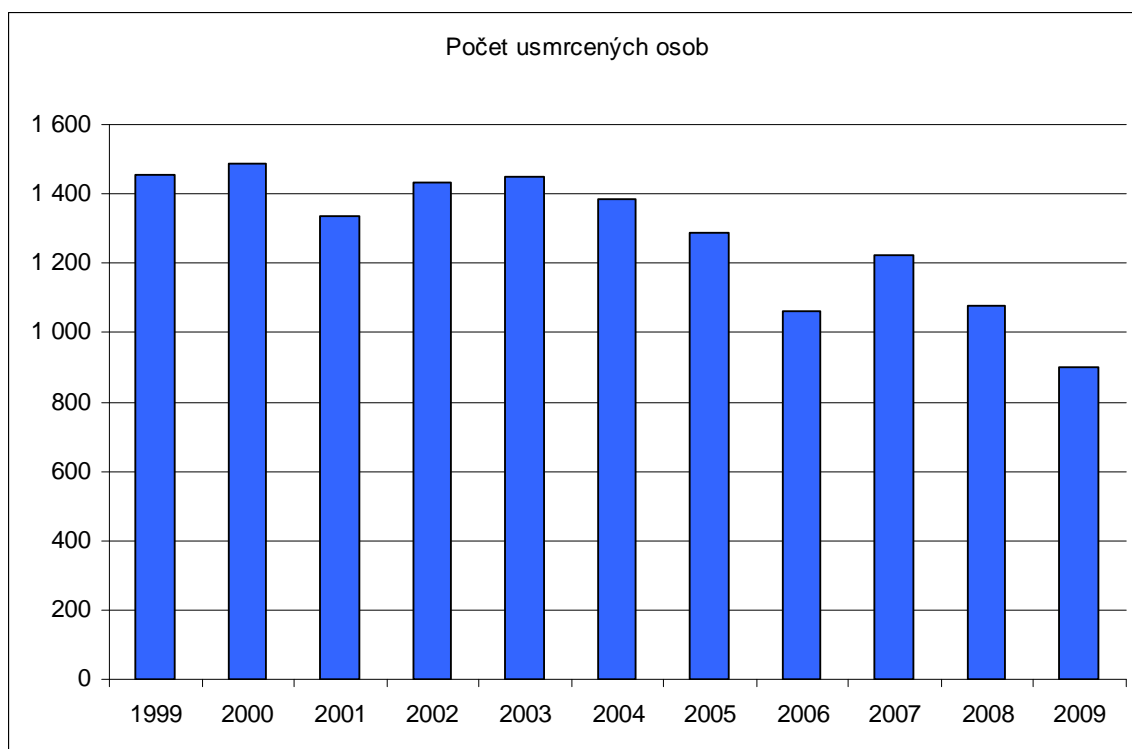
*Ve statistice jsou vedeny nehody, které byly Policii ČR nahlášený. Účastník dopravní nehody je povinen nehodu nahlásit dopravní policii, dojde-li ke zranění nebo usmrcení, nebo ke škodě na majetku třetí osoby, nebo při škodě na některém z vozidel (včetně nákladu) převyšující do 31.12. 2000 hodnotu 1 000 Kč, od 1.1. 2001 hodnotu 20 000 Kč, od 1.7. 2006 hodnotu 50 000 Kč a od 1.1. 2009 hodnotu 100 000 Kč.*

**Graf 3-1 Počet dopravních nehod**



Zdroj: MVCR

**Graf 3-2 Počet usmrcených osob**



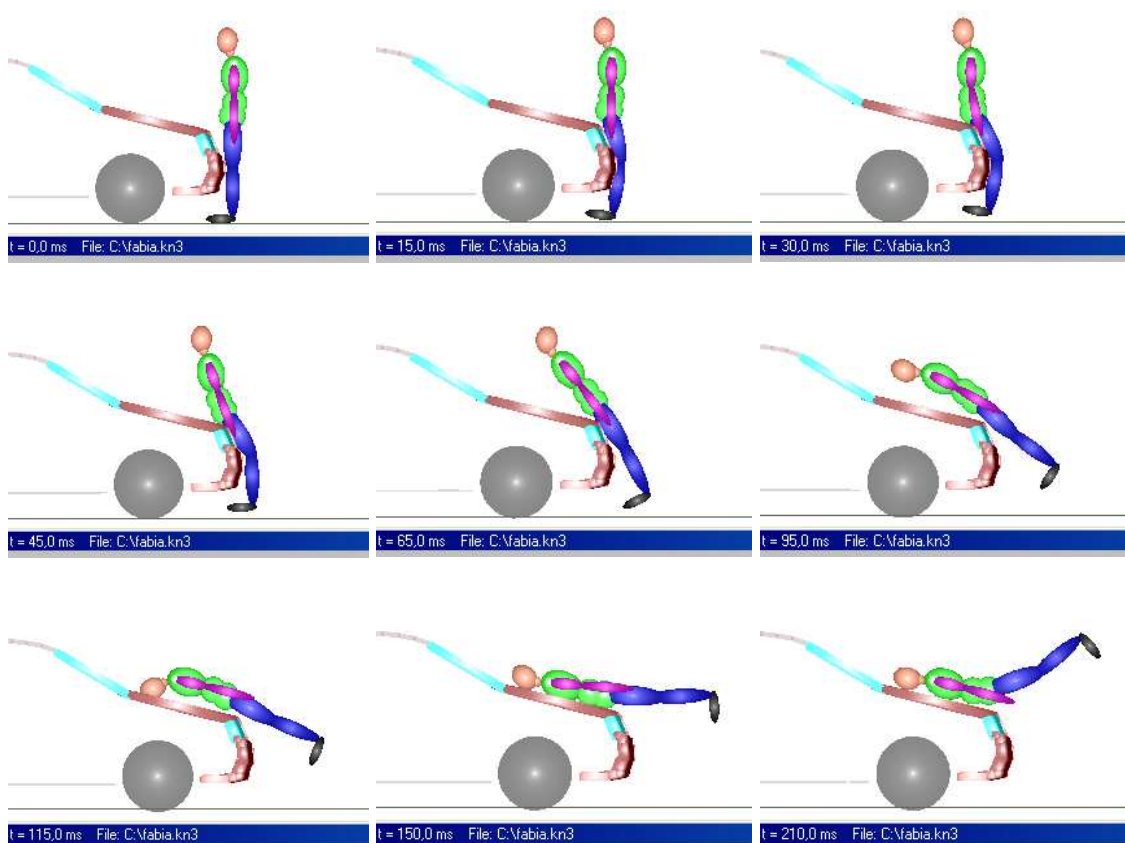
Zdroj: MVCR

### 3.3 Střet vozidla a chodce

Střet vozidla a chodce je možné simulovat pomocí figuríny.

Při kolizi nastává první kontakt mezi nárazníkem automobilu a figurínou v oblasti kolen. Následuje kontakt stehen s maskou a následně s přední hranou kapoty. Figurína je podebrána a otáčí se směrem na kapotu vozidla a naráží na ní hlavou v blízkosti zadní hrany kapoty. Dále nastává kontakt horního torza s kapotou. Dochází k zakopnutí nohou figuríny, které zvedají figurínu z kapoty. Poté figurína sklouzává z kapoty a nastává sekundární náraz o vozovku. [Kovanda J. a kol., 2002]

**Obr. 3-1 Průběh střetu figuríny s modelem automobilu Škoda Fabia**

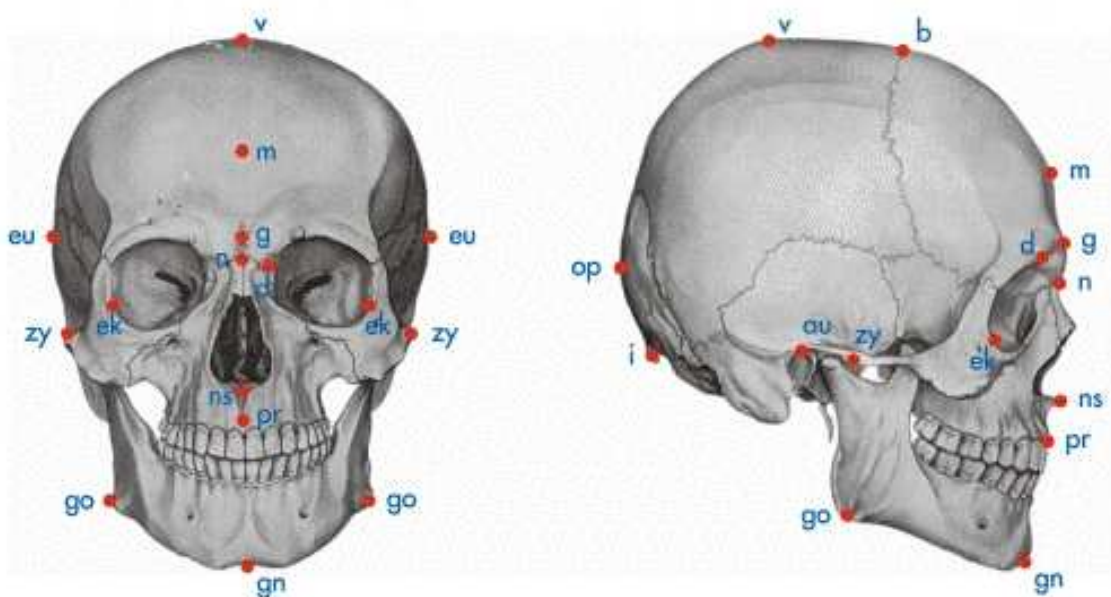


Zdroj: Kovanda J. a kol., 2002

### 3.4 Poranění hlavy

Hlava se anatomicky dělí na mozkovou a obličejovou část – obr. 3.2. Každá z nich má při analýze nárazu svůj popis mechaniky poranění, přičemž lze předpokládat jejich vzájemné ovlivňování.

Obr. 3-2 Lebka



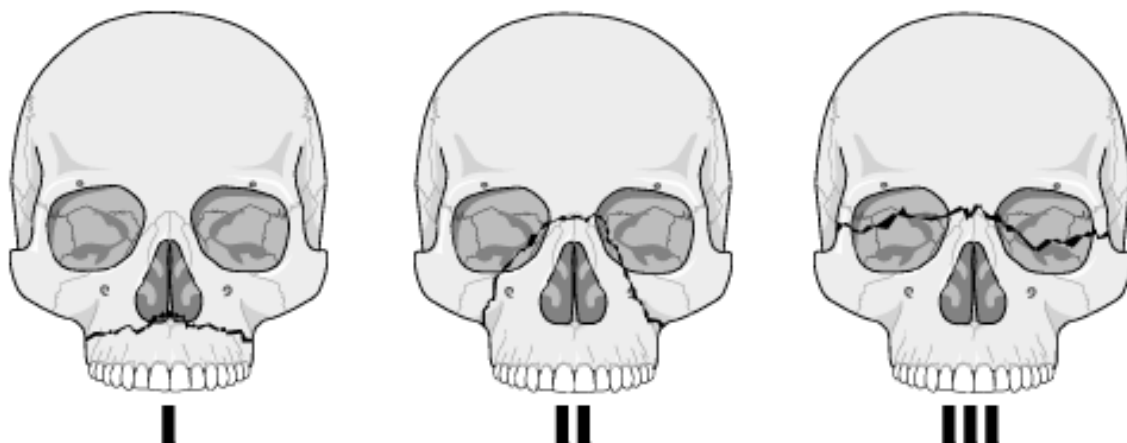
Zdroj: <http://leccos.com/index.php/clanky/lebka>

Poranění hlavy můžeme rozdělit na:

- 1) poranění obličejové části
- 2) Poranění mozkové části

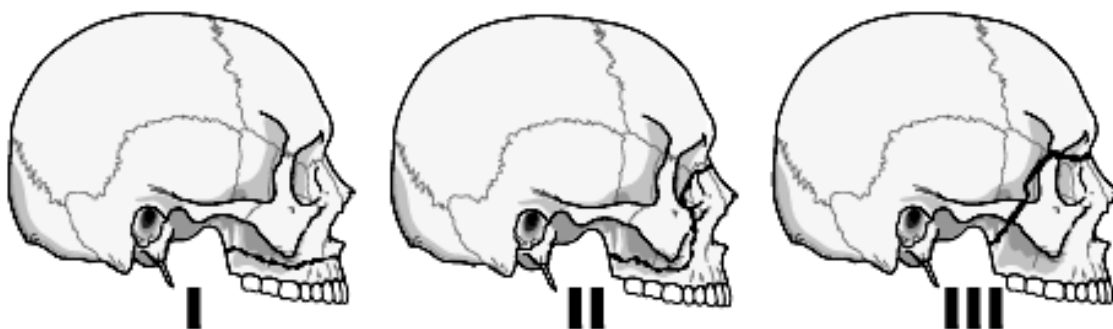
Při poranění obličeje jde o postižení od povrchových drobných poranění kůže, až po komplikovaná poranění tvrdých a měkkých tkání obličeje. U těžkých poranění mohou být postiženy slinné žlázy, velké cévy, trojklaný a lícni nerv i smyslové orgány (nos, oči). Časté jsou zlomeniny obličejových kostí. Tyto zlomeniny mohou postihnout jak dolní čelist, tak i střední třetinu obličejové kostry. U těžkých poranění obličeje je zraněný bezprostředně ohrožený na životě udušením, vykrvácením nebo šokem. Klasické dělení rozlišuje, podle rozsahu odlomení obličejové části od lebky, zlomeniny podle LeForta stupně 1 až 3 – obr. 3.3, 3.4. Poranění vzniká při dopravních nehodách zpravidla nesledují jednoznačně tyto lomové linie a skutečné poranění může být kombinací lomových čar jednotlivých typických zlomenin. [Kovanda J., Šatochin V., 2000]

**Obr. 3-3 Le-Fortovy linie – čelní projekce**



Zdroj: [www.rad.washington.edu](http://www.rad.washington.edu)

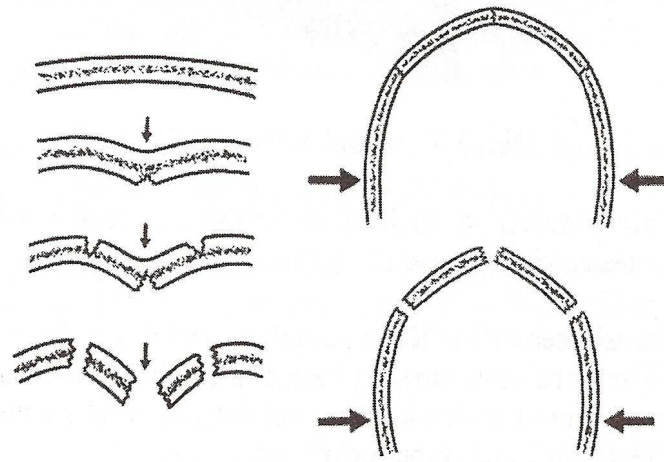
**Obr. 3-4 Le-Fortovy linie – boční projekce**



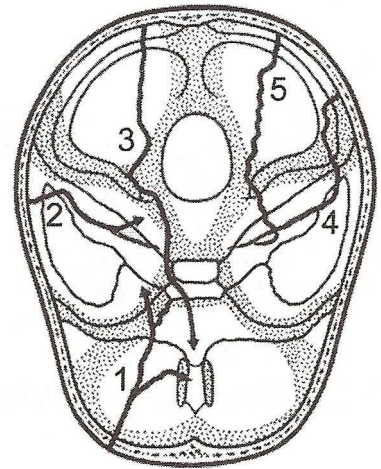
Zdroj: [www.rad.washington.edu](http://www.rad.washington.edu)

Poranění mozkové části může znamenat zlomeniny kostí lebky, poranění mozku nebo jejich kombinaci. Anatomicky se mozková část lebky skládá z plochých kostí, jde o kosti čelní, temenní, spánkovou, týlní, klínovou. Zlomeniny mohou být buď lineární, nebo kompresivní – obr. 3.5, lineární zlomeniny, zejména spodiny lebeční, mají typické linie lomu dané místy koncentrace napětí na otvorech v kostech – obr. 3.6. Síly, způsobující tyto zlomeniny, mohou přicházet jak z mozkové, tak z obličejové části lebky. Podle lokalizace se rozlišují zlomeniny klenby a baze lbi. Zlomeniny baze jsou závažnější, protože bývá poraněn mozkový kmen a spodina III komory, jsou poškozeny cévy a nervy a pacient je ohrožen meningitidou. [Kovanda J., Šatochin V., 2000]

Obr. 3-5 Zlomeniny klenby lební



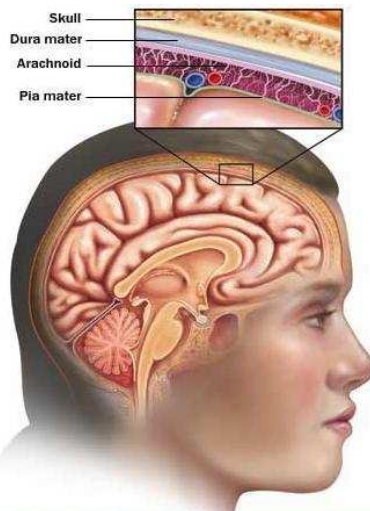
Obr. 3-6 Linie zlomenin base lební



Zdroj: Kovanda J., Riva R., 1999

Poškození mozku se může týkat buď vlastní hmoty mozku, nebo jeho obalu – obr. 3.7. Traumatologicky se poranění mozku dělí na kontuzi, difuzní poranění a ohniskové (fokální) poranění. Poranění mozku se podílejí dvěma třetinami na smrtelných úrazech v dopravě. [Kovanda J., Šatochin V., 2000]

Obr. 3-7 Mozek a jeho obaly



Mezi mozkem a lebeční kostí se nacházejí 3 mozkové pleny (meninges, meningy) – 3 vrstvy vazivové tkáně: tvrdá mozková plena (dura mater), pavučnice (arachnoidea) a omozečnice (pia mater). Obalují celý mozek a míchu.

Zdroj: [www.osel.cz](http://www.osel.cz)

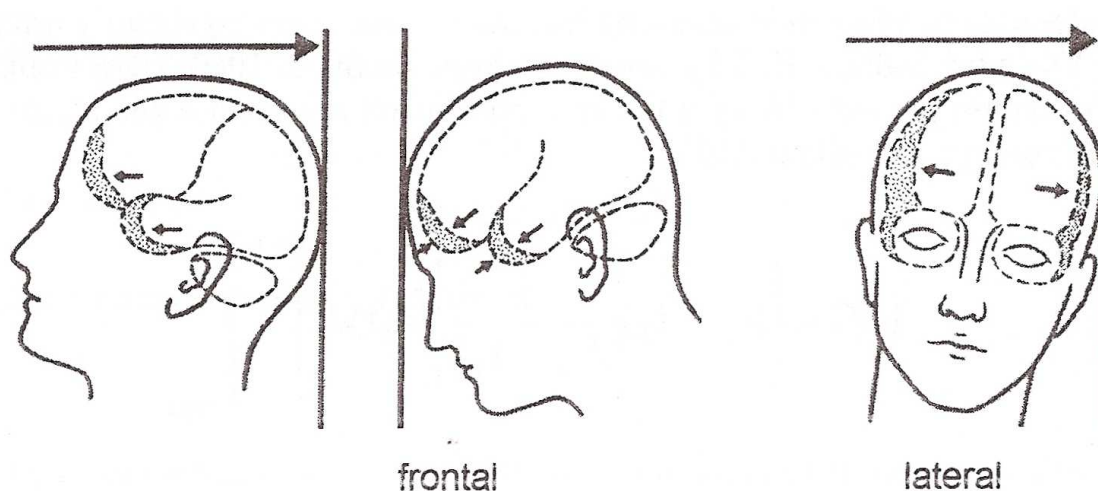


Otřes mozku (commotio cerebri) je funkční reverzibilní poranění mozku. Je provázeno krátkým bezvědomím, následným zvracením a často ztrátou paměti na dobu úrazu. Mohou přetrvávat bolesti hlavy.

Zhmoždění mozku (contusio cerebri) je těžké poranění mozku, kdy úrazem vznikly organické změny. Jde o těžší postižení než otřes mozku (komoce). Dochází k mechanickému zhmoždění různých částí mozku spojenému s prokrvácením, trombózami, otvory a následným nesnadným hojením. Prognóza pacienta závisí na stupni poškození mozku.

Ohniskové poranění je lokalizováno na malé místo, ohnisko, umístěné v hmotě mozku nebo v jeho obalech. Častým jevem je tzv. par contre-coup efekt, kdy nacházíme poškození mozku i na straně odvrácené od místa nárazu – obr. 3.8. Tento efekt je dán setrvačností mozku a odrazem viskózní vlny. [Kovanda J., Šatochin V., 2000]

**Obr. 3-8 Poranění „par contre-coup“**



Zdroj: Kovanda J., Šatochin V., 2000

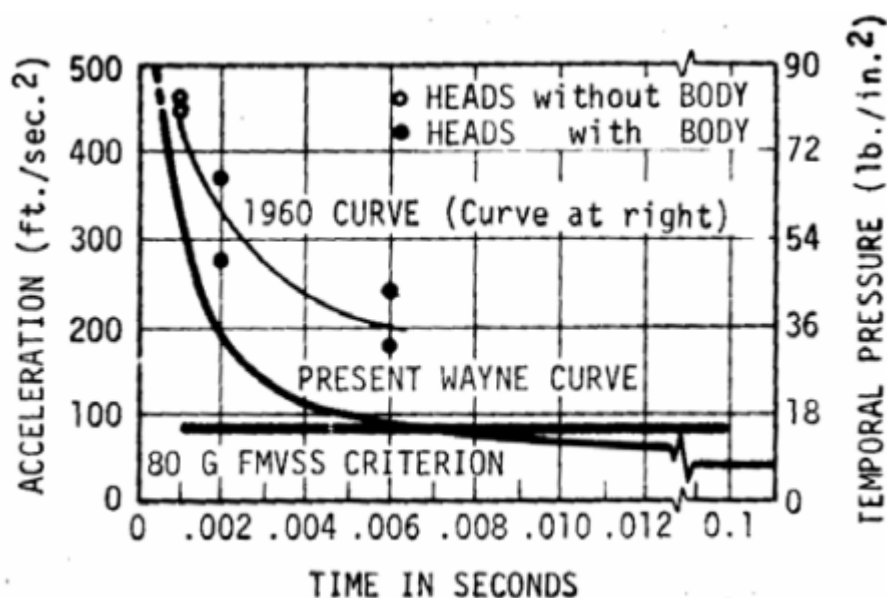
Difusní poranění je poranění většiny nervových buněk – neuronů, charakterizované částečným porušením většiny osových výběžků nervových buněk, jejich otokem a nevratnými změnami. Jde o nejzávažnější poranění centrálního nervového systému. [Kovanda J., Šatochin V., 2000]

### 3.5 Biomechanická kritéria poranění hlavy

#### 3.5.1 Wayne State Tolerance Curve

První extensivní hodnocení odolnosti hlavy vůči nárazu byla Wayne State Tolerance Curve. WSTC ukazuje, že při působení lineárně zrychleného násilí při nepronikajícím zatížení má na riziko poranění mozku vliv jak velikost, tak i trvání akceleračního impulzu. Krátké trvání, vysoký akcelerační náraz (2 ms a 400 g) vedou ke stejnému riziku poranění, jako dlouhotrvající náraz a nízká akcelerace (30 ms a 80 g). WSTC sloužila jako základ pro kritérium poranění použité pro nárazové předpisy automobilů. [McHenry B. G., 2004]

Obr. 3-9 Wayne State Tolerance Curve



Zdroj: McHenry B. G., 2004

#### 3.5.2 Head Injury Criterion - HIC

Nejčastěji používaným kritériem pro posuzování poranění hlavy při testech vozidel je kritérium HIC. Vstupem jsou zrychlení měřené akcelerometry v těžišti hlavy figuríny, algoritmem výpočtu je upravený integrál z výsledného zrychlení v určitém časovém intervalu. Výsledná hodnota HIC by neměla překročit hodnotu HIC = 1000, která vznikla historickým vývojem výzkumu poranění hlavy z hlediska působících zrychlení a zdá se, že kritérium nepříliš dobře koreluje s metodikou AIS.

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

kde  $a(t)$  je výsledné zrychlení hlavy v g,  $t_2$ ,  $t_1$  jsou hraniční hodnoty intervalu, v němž dosahuje HIC nejvyšších hodnot. Délka časového okna se bere 36 ms, pro analýzu tvrdého nárazu hlavy se bere 15 ms. [Kovanda J., Šatochin V., 2000]

Správnějším výpočtem zohledňujícím translační i rotační pohyb hlavy při nárazu je:

$$G(t) = \left[ \left( \frac{a(t)}{a_c} \right)^n + \left( \frac{\alpha(t)}{\alpha_c} \right)^m \right]^{\frac{1}{s}}$$

Zjednodušený tvar předpokládá  $s=1$ ,  $n=1$ ,  $m=1$ ,  $a_c=250$  g,  $\alpha_c=10000$  rad/s<sup>2</sup>

kde maximální přípustná hodnota tohoto kritéria je:  $G(t) \leq 1$  [Kovanda J., Riva R., 1999]

**Tab. 3-2** Stupnice AIS s příklady zranění a dosahovaných mezí biomechanických limitů

AIS	1	2	3	4	5	6
Kategorie míry závažnosti	Malá	Mírná	Těžká (není životu nebezpečné)	Těžká (životu nebezpečné, přežití pravděpodobné)	Těžká (přežití nejisté)	Maximální (smrtelné úrazy)
Zrychlení hlavy HIC	135 až 519	502 až 899	900 až 1254	1255 až 1574	1575 až 1859	nad 1860
Zranění hlavy	Bolest hlavy, závratě	Bezvědomí méně než 1 hodinu, lineární prasklina	Bezvědomí od 1 do 6 hodin, větvená prasklina	Bezvědomí od 6 do 24 hodin, otevřená prasklina	Bezvědomí delší než 24 hodin, vznik hematomu	Neslučitelné se životem

Zdroj: Kučera Jánoš, Brno 2010

### **3.6 Pasivní bezpečnost chodců**

V této kapitole bych se rád zmínil o možnostech aktivní a pasivní bezpečnosti chodců, kterou vyvíjejí automobilky pro svá nová vozidla. Důkazem toho, že v oblasti ochrany chodců se hledají stále nové možnosti, je řada koncepčních řešení. Mezi taková řešení můžeme řadit například aktivní kapotu a spoiler, systémy airbagů pro chodce, dále pak systémy pomáhající zachování správné identifikace těles za snížené viditelnosti a nebo systémy s asistenty, které se snaží zcela zabránit střetu s chodcem. Některá řešení jsou v následujících kapitolách probrána podrobněji.

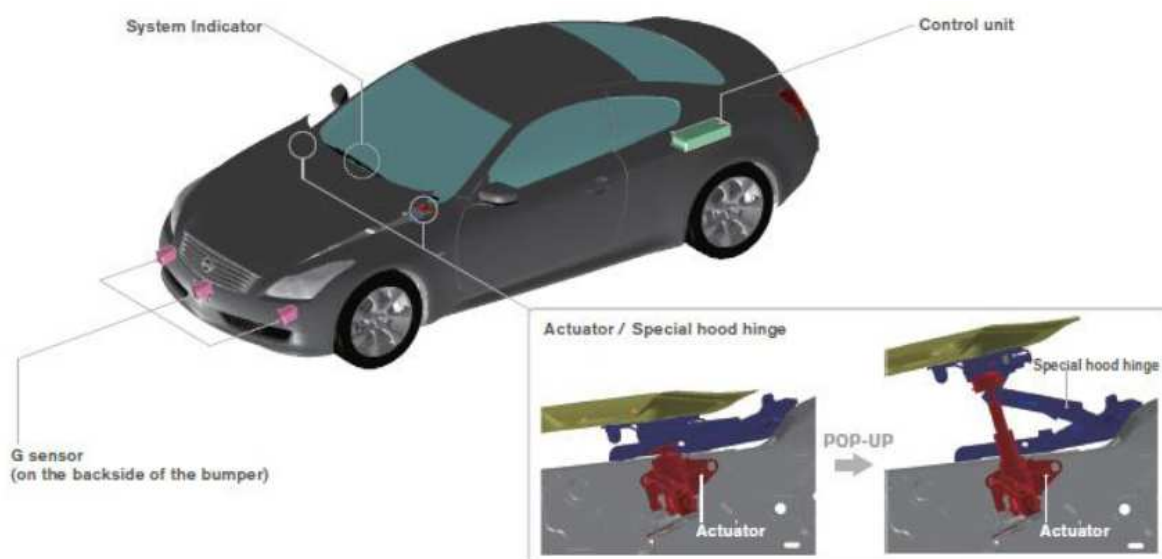
#### **3.6.1 Aktivní kapota a spoiler**

Účelem těchto systémů je snaha snížit riziko, popřípadě, závažnost zranění chodce při střetu s automobilem. Princip jejich činnosti je založen na zvětšení deformačních zón, a to správně načasovaným pozvednutím kapoty nebo vysunutím předního spoileru. Vysunutím spoileru na úroveň předního nárazníku se docílí toho, že se jednak zvýší dotyková plocha prvního kontaktu s chodcem, ale hlavně se sníží riziko komplikovaných poranění kotníkové části dolní končetiny. Ta se jinak v první fázi dostává pod nárazník a je namáhána velkým ohybovým momentem. [Pokorný Jan, Pardubice 2004]

Aktivní kapota se naopak snaží chránit nejchoulostivější partii těla – hlavu. Při střetu automobilu s chodcem se aktivuje systém, který pozvedne („vystřelí“) kapotu v oblasti závěsů o několik centimetrů výše. Tím se zvětší prostor pro deformaci kapoty a chodci hrozí méně tvrdý náraz, zvláště pak průraz na pevné části motoru a nebo tužší části karosérie. [Pokorný Jan, Pardubice 2004]

Příkladem konstrukce mechanismu aktivní kapoty může být obr. 3.10. Je zde dobře patrné rozmístění snímačů v předním nárazníku a pozice aktuátorů vystřelovací kapoty. Obecně je možné vystřelovací mechanismus zkonstruovat mnoha způsoby, nejčastěji pracuje na pyrotechnickém, elektromechanickém, hydraulickém, mechanickém (akumulační element, např. pružina) nebo pneumatickém principu. [Kadrmas Lukáš, Brno 2009]

**Obr. 3-10** Systém aktivní kapoty



Zdroj: Kadrmas Lukáš, Brno 2009

Na obr. 3.11 je vidět průběh střetu zkušební figuríny s vozidlem Nissan vybaveným aktivní kapotou. Je zde názorně znatelné, jak už při prvním střetu s nohou figuríny je aktivován vystřelovací mechanismus. Při dopadu těla jsou již závěsy plně nadzvednuty a tím je už kapota připravena pohltit dopadovou energii. [Kadrmas Lukáš, Brno 2009]

**Obr. 3-11** Srážka chodce s aktivní kapotou



Zdroj: Kadrmas Lukáš, Brno 2009

### 3.6.2 Systémy airbagů pro chodce

I v tomto případě se jedná o snahu co nejvíce snížit rizika poranění chodců při střetu s automobilem. Vychází se při tom z již osvědčeného používání interiérových airbagů majících za úkol chránit osádku vozidla. [Pokorný Jan, Pardubice 2004]

Airbagy je snaha umístit tam, kde není zatím prakticky jiná možnost ochrany chodce. Jedná se především o oblast „A“ - sloupků a čelního skla a jeho rámu. Tato místa jsou vysoce problematická a nejsou zahrnuta ani do žádných testů na ochranu chodců. Setkávají se zde dva protichůdné aspekty bezpečnosti, protože „A“ - sloupky jsou jedním z důležitých bezpečnostních prvků chránících osádku a výrobci se je snaží konstruovat co nejužší. Podobně je to i s čelním sklem. Jediné zatím schůdné řešení se jeví překrýt tyto oblasti v případě nárazu měkkým prvkem, tedy nejnadhěji airbagem. Tento typ systému se logicky kombinuje s aktivní kapotou, jednak kvůli maximalizaci ochrany chodce, ale také snadnějšímu nafouknutí airbagů. [Pokorný Jan, Pardubice 2004]

**Obr. 3-12 Airbag pro chodce**



Zdroj: [www.autoliv.com](http://www.autoliv.com)

**Obr. 3-13 Systémy airbagové ochrany**



Zdroj: Kadrmas Lukáš, Brno 2009

Účinnost celého systému lze sledovat na obr. 3.14. Z grafu je zřejmé, že jak pro rychlost 30 km/h, tak i pro 40 km/h se oproti automobilu s nechráněnými kritickými partiemi podařilo dosáhnout opět dramatického snížení hodnoty HIC a to dokonce pod hranici 1000 HIC a jednoznačně se i zvýšila šance chodce na přežití.

[Pokorný Jan, Pardubice 2004]

**Obr. 3-14 Graf porovnání testu bez a s airbagem pro chodce**



Zdroj: [www.autoliv.com](http://www.autoliv.com)

### 3.6.3 Systémy airbagů pro chodce u vozidel SUV

Dnes moderní vozidla typu SUV jsou pro chodce obzvláště nebezpečná kvůli jejich zvýšenému a více hranatému předku. Riziko úmrtí je v případě srážky chodce s vozem SUV 2,5 krát vyšší, než je tomu u normálních osobních vozidel. Další rozdíl představuje nárazová plocha (místo nárazu). Zatímco většina chodců usmrcena běžným vozidlem podlehnou následkům nárazu hlavy do kapoty nebo čelního skla, v případě SUV je velká část vážných zranění způsobena nárazem okraje přední kapoty do oblasti břicha a hrudníku. Autoliv proto vyvinul airbag, který má řešit i tento problém. Airbag je spuštěn pre-crash senzorem např. radarem. Tím je airbag schopen rozvinout se několik milisekund před nárazem. [Autoliv, Online 2011]

Tento systém byl testován jak počítačovou simulací obr. 3.15, tak skutečnými nárazovými testy, které zahrnovaly zkušební figuríny reprezentující průměrného muže a malou ženu. Během simulací, Front Edge Airbag ukázal schopnost splnit náročné požadavky EuroNCAP, která hodnotí lehká (osobní) vozidla. Během skutečných nárazových zkoušek airbag podstatně snížil hodnoty všech kritických zranění. Největší pokles byl zaznamenán

v oblasti břicha mužské figuríny, kde riziko zranění kleslo z 99% na pouhá 3% za použití Front Edge Airbag. Testovací rychlost byla 40km/h, což je průměrná rychlost při nárazu u smrtelných nehod chodců. Podle nárazových zkoušek se odhaduje, že tento nový typ airbagu by mohl zachránit ročně stovky životů. [Autoliv, Online 2011]

**Obr. 3-15 Airbag pro chodce u vozů SUV (Front Edge Airbag)**



Zdroj: [www.autoliv.com](http://www.autoliv.com)

### 3.6.4 Systémy nočního vidění

Tentokrát se nejedná o řešení, které by chodci poskytovalo nějakou ochranu přímo při kolizi, ale, a to je ještě důležitější, jedná se o řešení preventivní. Systémy nočního vidění se neustále vyvíjejí a v dnešní době je už některé značky mají ve své příplatkové výbavě. [Kadrmas Lukáš, Brno 2009]

#### První generace systému nočního vidění

Systém pro noční vidění se skládá hlavně z citlivé infračervené kamery umístěné v přední části vozu, která snímá prostor před automobilem. Obraz se promítá do prostoru řidiče obr. 3.16, který na něm může vidět aktuální situaci před vozidlem. Tento systém se nejvíce uplatní při jízdě v noci, kdy nemáme čistý výhled. Například při míjení automobilů, kdy jsme dočasně oslněni světly protijedoucího vozidla, nebo při potkání chodců, kteří jsou laxní k vlastní bezpečnosti a mají na sobě tmavé oblečení, popřípadě nejsou mimo obec nijak osvětleni. Tento systém je rozezná a podá včasné varování řidiči, který má tak více



času nenadálou situaci řešit. Toto řešení nabízí poměrně jednoduchým způsobem určité zvýšení bezpečnosti vůči chodcům v nepříznivých situacích. [Kadrmás Lukáš, Brno 2009]

**Obr. 3-16** Obraz zobrazený řidiči



Zdroj: Kadrmás Lukáš, Brno 2009

### Druhá generace systému nočního vidění

Autoliv hrdě představil druhou generaci systému nočního vidění s pokročilou schopností rozpoznávání chodců. Systém je založen na prověřené technologii FAR-noční infračervené kamery s vysokým dosahem. Obdobně jako první generace nočního vidění je tento systém citlivý na infračervené světlo, které vyzařují teplé objekty např. chodci či zvířata a tím jsou pro řidiče viditelní i v naprosté temnotě. Výsledkem je, že naše zorné pole není limitované dosahem světlometů. Naše vylepšená infračervená kamera snímá silnici až do vzdálenosti třikrát větší, než kam dosvítí světlomety.

Jakmile je systémem detekován chodec dojde k jeho zvýraznění na displeji v autě obr 3.17. Pro poskytnutí co největší bezpečnosti, systém také analyzuje prostředí před vozidlem a dynamiku vozidla pro určení možného rizika srážky vozidla s chodcem. Varování je aktivováno s dostatečným předstihem, aby mohl řidič včas zareagovat, pro případ, že by chodec vkročil do dráhy vozidla.

Jeden z problémů při řízení v noci je včasné rozpoznávání chodců jdoucích před námi na silnici. I přesto že světlomety poskytují dobré osvětlení, řidič v noci obvykle nevidí objekty ve vzdálenosti dál než 40 metrů před vozidlem. Snížená viditelnost přináší chodcům a cyklistům velké riziko. Studie ukazují, že riziko smrtelných dopravních nehod chodců je skoro čtyřikrát vyšší v noci než během dne a každý rok je v noci na silnicích usmrceno více než 3500 chodců. Systém nočního vidění druhé generace nám pomůže tyto čísla snížit. [Autoliv, Online 2011]

Obr. 3-17 Obraz zobrazený řidiči při oslnění protijedoucím vozem



Zdroj: [www.autoliv.com](http://www.autoliv.com)

### Pre-cash sensing

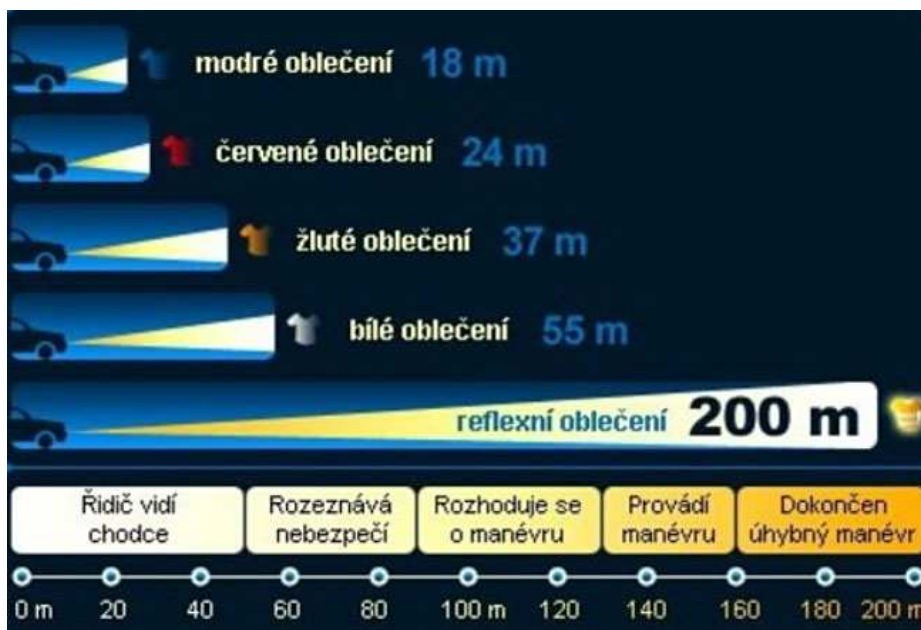
Další skupinou preventivních opatření je tzv. pre-crash sensing. Jedná se o celý poměrně komplikovaný systém, jehož účelem je předejít srážce vozidla s nenadálou překážkou. Sestává se ze zařízení monitorujícího situaci před vozidlem, většinou na bázi radaru, či laseru a systému, který dokáže rozpoznat typ překážky. Na základě vyhodnocených údajů pak může pomocí například brzdového asistenta nebo jiného elektronického stabilizačního systému zasáhnout řidiči do řízení a zabránit tak například kolizi s chodcem, či aktivovat nějaký z bezpečnostních prvků (např. airbag, aktivní kapotu).

[Pokorný Jan, Pardubice 2004]

### **3.6.5 Viditelnost chodce**

V neposlední řadě by bylo vhodné zmínit možnosti pro chodce, cyklisty a ostatní nechráněné účastníky provozu, jak se stát pro řidiče viditelnějším. Cyklisté mají povinnost mít kolo vybaveno příslušnými odrazkami a pro noční jízdu vpředu i vzadu svítilnou, tak jim to ukládá zákon. Pro chodce však taková povinnost neplatí a mnozí svou neviditelnost podporují nevhodnou volbou barev oblečení. I pro tyto důvody začaly padat návrhy, aby chodci nosili reflexní prvky. Z obr. 3.18 je patrné jaký má volba barvy oblečení vliv na viditelnost chodce.

Obr. 3-18 Rozdíly ve viditelnosti jednotlivých barev



Zdroj: [www.ibesip.cz](http://www.ibesip.cz)

S reflexním prvkem na oblečení je řidič schopen chodce zaregistrovat na vzdálenost 200 metrů, což mu postačí k náležité reakci. Na druhou stranu chodec v modrém oblečení je vidět jen na necelých dvacet metrů. Jelikož řidič jedoucí rychlostí jen 75 kilometrů v hodině potřebuje na patřičnou reakci nejméně půldruhé sekundy, během níž ujede 31 metrů, je jasné, že tito chodci vážně riskují.

Než se systémy nočního vidění, které řidiče na přítomnost chodce na vozovce dokonce samy upozorňují, a které jsou již nyní ve vozech prémiových značek jako BMW, Mercedes či Audi, rozšíří i do běžných rodinných vozů, byly by povinné reflexní prvky opravdu dobrým řešením. [ibesip, Online 2011]

Jako jedna z možností, jak lidem ušetřit starosti s připínáním a nošením neestetických reflexních prvků, je jejich integrování rovnou do oděvu. Tato metoda je již využívána ve sportovním odvětví, kde bývají např. loga či značky vyšívané z reflexních materiálů. Taktéž pracovní oděvy bývají vybaveny reflexními prvky a to od posádek záchranných složek přes silničáře až k popelářům. U těchto pracovních skupin, které se pohybují v provozu jak za dne, tak i po setmění, je takto vybavený oděv nezbytný s ohledem na jejich vlastní bezpečnost.

## 4 Vlastní analýza problému, výpočtová a experimentální

V této části diplomové práce se zaměřuji na provedení pokusů a měření kritických hodnot při nárazu impaktorem hlavy opatřeným tříosým akcelerometrem, a to zejména na přední kapotu automobilu. Přední kapota automobilu společně s čelním sklem je nejčastější místo, kam při kolizi dopadá hlava chodce. Velkým přínosem pro zpracování a vyhodnocení budou i data kolegů, se kterými jsem měření prováděl. Zajímavé je porovnání naměřených hodnot nárazu samotného impaktoru hlavy s impaktorem opatřeným jak cyklistickou, tak i motocyklovou helmou. Pokusy byly prováděny jako nárazy do různých povrchů:

- kmen stromu,
- kapota škoda Fabia,
- kapota Audi A4,
- železná nepoddajná deska.

### 4.1 Informace o měření

Měření bylo provedeno 18. února 2011 v VÚKV – Výzkumný ústav kolejových vozidel v obci Cerhenice nedaleko Kolína.

Měření probíhalo za asistence pracovníků VÚKV Ing. Jiřího Jelénka a Petra Bauera, za odborného dohledu doktorandů Ing. Josefa Míky a Ing. Jiřího Levého.

#### 4.1.1 Měřicí přístroje a pomůcky

##### Padostroj

Měření probíhalo na zařízení, jež se pro svoji funkci označuje za padostroj viz. obr. 4.1. Toto zařízení je sestrojeno za účelem simulace řízeného volného pádu. Zařízení umožňuje upevnění impaktoru hlavy, jeho vyzvednutí do požadované výšky a následné uvolnění. Impaktor padá volným pádem a narazí do předmětu, který je umístěný v pracovním prostoru zařízení.

Obr. 4-1 Padostroj



1. Impaktor hlavy
2. Koncové dorazy pro pohyblivý segment
3. Pohyblivý segment (nosič impaktoru)
4. Svislý vodící rám
5. zvedací mechanismus ( ocelový naviják, el. motor – dálkově ovládaný uvolňovací mechanismus)
6. Vysílače světelné závory
7. Přijímače světelné závory

- maximální výška volného pádu cca 4 m,
- funkci zdvihadčího mechanismu plní elektromotor ovládaný běžným průmyslovým ovladačem,
- mechanismus uvolnění je ovládán dálkově (bezdrátově),
- svislý pohyb spouštěné části je vymezen dvěma profilovými nosníky,
- impaktor je upevněn čepem, přítlakovou sílu na čep vytváří pružina s regulovatelným předpětím,
- k uvolnění impaktoru dojde důsledkem setrvačných sil po nárazu pohyblivého rámu na svislé dorazy.

Samotné upevnění je řešené vhodným způsobem podle konkrétního typu impaktoru, a také podle typu zkoušky jím prováděné. V našem případě jsme k upevnění využili svařenec ve tvaru T, jehož delší částí procházel upevňovací šroub skrz impaktor. Šroub byl z obou stran dotáhnut maticemi. V neprůchozí části bylo pomocí stavícího šroubu upevněno tělo vypouštěcího čepu. Impaktor jsme z vnitřní strany vybavili tříosým piezoelektrickým akcelerometrem, který je popsán v následující části.

### Akcelerometr

K provedení zkoušky je zapotřebí tříosý piezoelektrický akcelerometr obr. 4.2, kterým je v průběhu zkoušky měřeno zrychlení (zpomalení) impaktoru při volném pádu a následně při kontaktu s překážkou, a to v souřadnicovém systému x, y, z. Pro každou osu je k akcelerometru připojen vlastní vodič, který je sveden do jednoho kabelu vedoucímu k měřicí smyčce PULSE 3560-B-110 od společnosti Brüel & Kjær. Výstupní signál akcelerometru je předáván prostřednictvím modulovaného napětí na vedení. Přesnost zařízení je  $\pm 2 \%$  při 99 % hladině spolehlivosti.

Vlastnosti akcelerometru DeltaTron 4504-A:

- měření v souřadnicovém systému navzájem kolmých os x, y, z,
- rozsah provozních teplot  $-50^{\circ}\text{C}$  až  $125^{\circ}\text{C}$ ,
- maximální hladina pracovního přetížení (špička) 750 g,
- vysoký poměr citlivosti (10mV/g) a hmotnosti (15 gramů),
- nízká hladina rušení okolními vlivy.
- upevnění třemi 3 mm otvory pro šrouby M2 nebo M3.

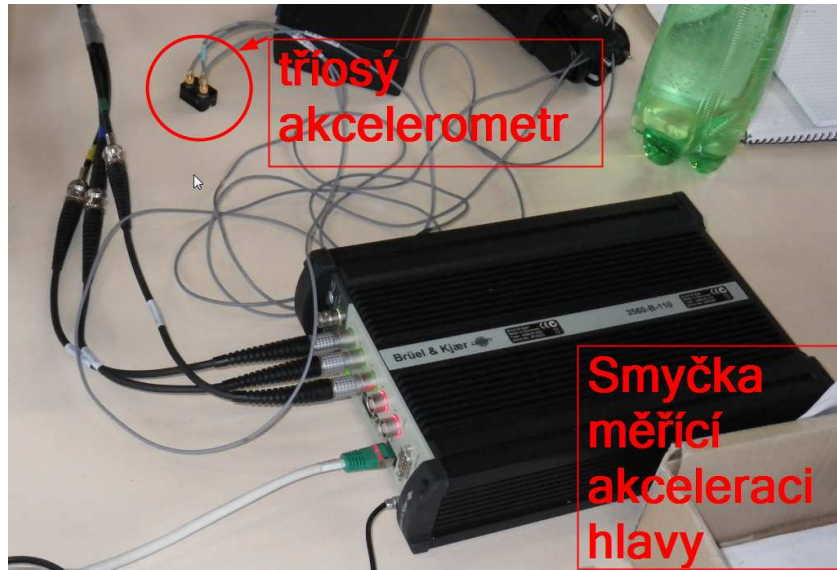
### Smyčka měřící akceleraci hlavy (PULSE SOUND and VIBRATION ANALYZER)

Pro vyhodnocení signálu tříosého akcelerometru byla použita měřicí smyčka PULSE 3560-B-110 výrobce Brüel & Kjær obr 4.2. Tato měřicí jednotka umožňuje hromadný sběr dat z pěti vstupních kanálů a je opatřena jedním výstupním.

Vlastnosti měřicí smyčky PULSE 3560-B-110:

- současné zpracování pěti kanálů při frekvenci 25,6 kHz,
- kompaktní a robustní pouzdro pro každodenní využití,
- integrovaná baterie včetně napájecího zdroje DC 10 – 32 V,
- tichý provoz při teplotách do  $35^{\circ}\text{C}$  (možnost vypnutí chladícího ventilátoru pro tichý provoz, auto - restart při přehřívání),
- vyhodnocení probíhá na PC s příslušným softwarem, jednotka poskytuje časovou základnu.

Obr. 4-2 Měřicí zařízení



#### Časoměrný systém SMRCP 01

Další nezbytný údaj, který je při testu nutno znát, je rychlost, jakou se impaktor pohybuje v okamžiku těsně před nárazem. Za tímto účelem jsme byli vybaveni časoměrným systémem typu SMRCP 01, který je určen pro měření času nebo rychlosti pohybu. Rychlost je určena z doby potřebné pro překonání vzdálenosti mezi dvěma snímacími body. V našem případě jsme použili dvě nad sebou umístěné světelné závory, jejichž vzájemnou vzdálenost jsme změřili. Ukazatel rychlosti po zadání známé vzdálenosti světelných závor vyhodnocuje rychlost a to dle požadovaného nastavení v jednotkách [ $m \cdot s^{-1}$ ] nebo [ $km \cdot h^{-1}$ ]. Údaj rychlosti je zobrazen na alfanumerickém displeji se znaky výšky 13 mm. Takto naměřená hodnota je však okamžitá hodnota ve středu světelných závor. K určení dopadové rychlosti je nezbytné provést dopočet rychlosti podle následujícího vztahu.

$$v_D = \sqrt{v^2 + 2 \cdot g \cdot H}$$

- kde  $v_D$  dopadová rychlost,  
 $v$  okamžitá rychlost, ve středu světelných bran,  
 $g$  gravitační zrychlení 9,81,  
 $H$  je výška od místa uvolnění impaktoru k překážce

### Impaktor

Impaktorem se rozumí maketa lidské hlavy obr. 4.3 a 4.4. Tato maketa je tvořená hliníkovou kostrou a gumovou imitací kůže. Rozměry a hmotnost makety lidské hlavy vyháží z průměrných hodnot získaných dlouholetým měřením. V našem případě hmotnost hlavy byla 3,725 kg, což odpovídá středně velkému dospělému člověku, přibližně o hmotnosti 75 kg.

**Obr. 4-3 Impaktor – hlava, čelní pohled**



**Obr. 4-4 Impaktor – hlava, boční pohled**



### Materiál simulující povrch dopadu

K simulaci povrchu dopadu impaktoru bylo využito čtyř různých dopadových podložek. Jako první jsme využili dřevěného špalku k simulaci nárazu do stromu. K vytvoření modelové situace jsme ukotvili část kmene stromu pod padostroj.

Další měřicí pokusy se odehrávaly na železnou desku o tloušťce 30 mm. Zde bylo cílem nasimulovat náraz do nepoddajné překážky s cílem zjistit maximální hodnoty zrychlení při takto náhlém a kritickém zpomalení. Tyto části měření se týkaly hlavně kolegů, kteří zkoumali vliv cyklistické, respektive motocyklové helmy na rozsah poranění cyklistů a motorkářů. Nicméně, považuji za vhodné ve své práci zmínit i tyto pokusy a naměřené hodnoty. Věřím, že je přínosné porovnat výsledky v případě použití helmy a bez ní.

K simulaci střetu chodce s vozidlem se podařilo získat dva kusy čelních kapot od vozů Škoda Fabia a Audi A4. Tyto sponzorem darované kapoty nebyly přímo výrobními originály, a je možné že výsledné hodnoty z měření budou mít drobnou odchylku od měření provedeného na originálních kapotách. Tyto kapoty jsou běžně používány pro



opravy vozidel, která se následně používají v běžném provozu. Náhradní díly musí funkčně odpovídat originálu, a proto lze oprávněně předpokládat, že na měření a výsledky práce nebudou mít zásadní vliv.

Tyto kapoty byly opatřeny samolepkou loga sponzora společnosti Elite. Podmínkou pro darování obou kapot bylo zpracování náležité fotografické dokumentace, kde bude vidět účel a způsob jejich využití.

## **4.2 Vyhodnocení naměřených dat**

Pro vyhodnocení naměřených dat byl využit program Hypergraph na Ústavu dopravní techniky v areálu ČVUT. Cílem bylo z naměřených dat zpracovat přehledné grafické vyjádření průběhu zrychlení v závislosti na čase. Nejprve bylo nezbytné vytvořit součtovou křivku všech zrychlení ( $x, y, z$ ) dle následujícího vztahu.

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

*kde:  $a$  - součtové zrychlení,  $a_x$  - okamžité zrychlení v ose  $x$ ,  
 $a_y$  - okamžité zrychlení v ose  $y$ ,  $a_z$  - okamžité zrychlení v ose  $z$*

Pro přehlednost následovala nezbytná filtrace dat křivky pomocí filtru SAE1000. Toto nám umožnilo získat přehledné vyobrazení křivky, ze které byla následně vypočtena hodnota HIC pro časový interval 15 ms (jelikož se jednalo o tvrdou nepoddajnou podložku). V neposlední řadě bylo nezbytné provést estetické úpravy grafů a to zejména měřítko a popisů os.

## **4.3 Náraz impaktoru na kmen stromu**

První měření sloužilo k testování, zda budou funkční všechny systémy měření a především, jak se osvědčí způsob ukotvení vodičů vedoucích k čidlu. Bylo nezbytné zajistit dostatečnou rezervu kabelu s vodiči jak pro volný pád, tak především rezervu, která zabezpečí nepřerušování vodičů při uvolnění impaktoru. K řešení tohoto problému jsme využili běžné izolační pásy, kterou byly vodiče lehce přichycené k pohyblivému rámu

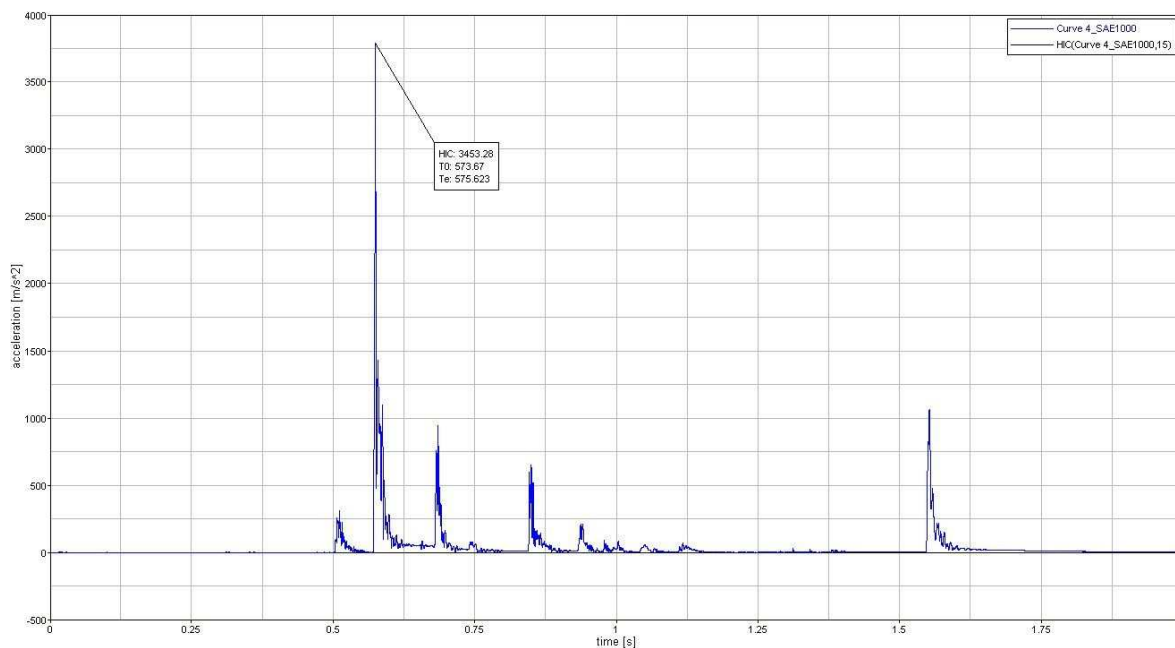
nesoucím impaktoru. To nám umožnilo, že se vodiče při nárazu pohyblivého rámu na doraz uvolnily a tak nedošlo k jejich přetržení.

Zpětný odraz impaktoru od všech překážek, především od kmene a železné desky, se ukázal jako závažný problém. V okamžiku odrazu již byly všechny vodiče uvolněny a hrozilo přerušení vodičů při případném sevření mezi pevné části padostroje a impaktoru opatřeného kotvícím čepem. K této události došlo dvakrát. K prvnímu přerušení došlo přibližně v polovině měření a podruhé při závěrečných pokusech. V obou případech se podařilo přerušené vodiče opravit pomocí pájení za pomoci pracovníků VÚKV, zejména pana Petra Bauera. I když tento pokus nárazu na kmen stromu zdánlivě nesouvisí s tématem, tak považuji za vhodné jej zde uvést. Je velmi zajímavé mít možnost srovnání hodnot kritéria poranění hlavy HIC jak při nárazu na kmen stromu či pevnou nepoddajnou desku, tak na „měkkou“ kapotu.

První měřený pokus byl veden z výšky 3,24 [m] a dopadová rychlost činila 25,58 [km/h]. Intenzita nárazu impaktoru na překážku byla značná stejně jako s tím spojený zpětný odraz. O to důležitější bylo ihned hlavu zachytit a eliminovat tak případné poškození datových kabelů.

Z grafu 4.1, na kterém je zobrazen průběh celkového zrychlení impaktoru v závislosti na čase, je pro maximální hodnoty zrychlení spočtena kritická hodnota poranění hlavy HIC. Námí naměřená hodnota  $HIC = 3453$  silně překročila doporučenou maximální hodnotu 1000, která je uvedena v kapitole 3.4.2. Dále je možné po špičce zrychlení, ve kterém byla spočtena hodnota HIC, pozorovat nižší hodnoty zrychlení s občasnými výkyvy. Tyto hodnoty byly způsobeny sekundárními nárazy hlavy o části padostroje a je zde i patrný okamžik v čase 1,55 [s], kdy byl impaktor zachycen.

**Graf 4-1 Náráz impaktoru hlavy na kmen stromu**



#### **4.4 Náráz impaktoru na kapotu Škoda Fabia**

V této části měření jsme pod padstroj umístili první ze dvou sponzorem darovaných čelních kapot. Jelikož jsme neměli k dispozici žádný upevňovací systém, kterým by byla kapota uchycena, využili jsme ke stabilizaci a podepření čelní kapoty čtyř velkých železných „U“ profilů zapůjčených pracovníky VÚKV. Jejich výška byla vhodná i z důvodu možnosti upevnění blízko k spodnímu rámu padostroje, který tak mohl simulovat pevné části motoru. Ty, jak již bylo zmíněno v kapitole 3.5.1, jsou tvrdé a neumožňují další deformaci samotné kapoty, čímž se zvyšují možná rizika poranění chodce.

##### **4.4.1 První měřící pokus (výška 1,83 m, rychlost 17,9 km/h)**

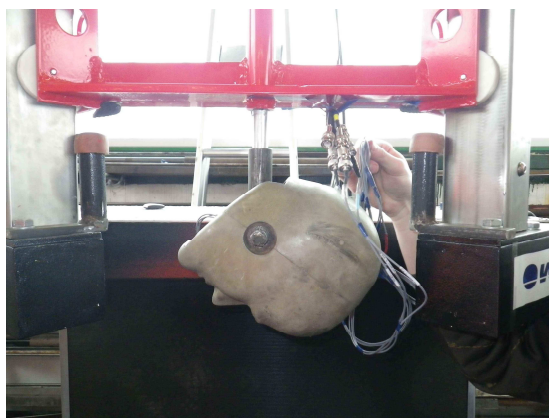
První simulace nárazu na kapotu byla vedena do středu přední části kapoty. Toto místo bylo vybráno jako možné místo dopadu při nižší rychlosti střetu vozidla s menší osobou např. dítětem. Při volbě místa bylo přihlédnuto ke spodní nosné konstrukci kapoty, tak abychom eliminovali možnost nárazu na nosné vzpěry obr. 4.5. Pro experiment jsme zvolili spouštěcí výšku 1,83 [m], při které byla dosažena dopadová rychlost 17,9 [km/h]. Při předchozím pokusu byla hlava v kolmé pozici vůči překážce, jelikož simulovala náraz cyklisty (motocyklisty) na překážku např. při nezvládnutí stroje a nárazu do stromu. Jak je

patrně z obr. 4.6 tentokrát byla hlava pro tento typ simulace nakloněna o 30° vůči svislé poloze, tak aby na kapotu dopadala obličejovou částí v oblasti čela.

**Obr. 4-5 Nosná konstrukce kapoty Škoda Fabia**



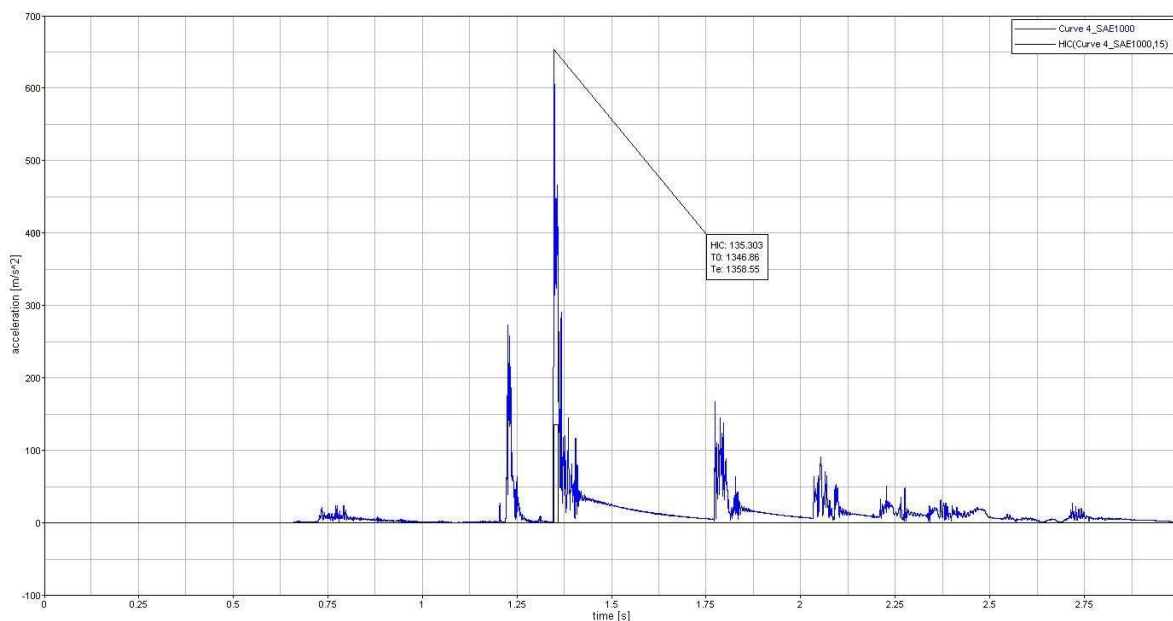
**Obr. 4-6 Naklonění impaktoru o 30°**



Tento úhel byl zvolen dle kapitoly 3.2, kde je z provedené simulace patrné, že chodec při čelním střetu dopadá v závislosti na rychlosti nárazu na kapotu případně na čelní sklo vozidla. Současně to byla maximální poloha, do které jsme mohli kvůli uchycení čepu impaktoru nastavit. Nicméně se domnívám, že takto natočený impaktor věrohodně odpovídá pravděpodobnému nárazu při střetu.

Při pohledu na následující graf 4.2. si můžeme povšimnout několika zajímavostí. První je chvilkový malý nárůst zrychlení v čase 0,75 [s]. Toto bylo způsobeno dálkovým uvolněním upínacího mechanismu v horní části padostroje. Poměrně vysoká hodnota zrychlení byla zaznamenána v čas 1,25 [s]. V tomto okamžiku došlo k nárazu uvolněného nosného rámu o spodní zarážky padostroje, přičemž nastalo uvolnění kotvícího čepu impaktoru. Vlastního nárazu a tedy i nejvyšší hodnoty zrychlení bylo dosaženo krátce nato v čase 1,35 [s]. V tomto bodě byl i zvolen časový úsek 15 [ms] pro výpočet hodnoty kritéria poranění HIC. Tato hodnota  $HIC = 135$  je nejnižší námi naměřená hodnota, která je velmi hluboko pod maximální přípustnou hranicí. Je patrné, že náraz byl proveden do měkké přední části kapoty, která umožnila svou vlastní deformací pohlcení velkého množství dopadové energie. Velmi zajímavé bylo i zjištění, že na testované kapotě nebyla patrná žádná významná změna tvaru.

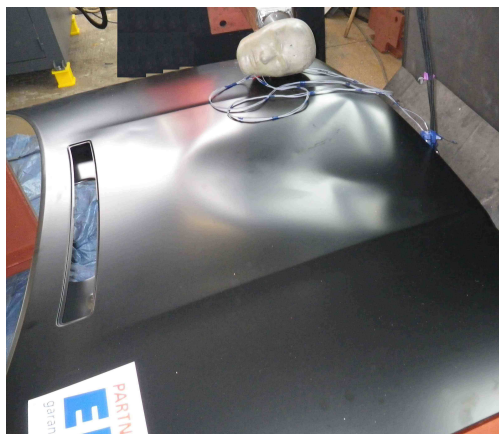
**Graf 4-2** Náraz impaktoru hlavy obličejovou částí do přední části kapoty z 1,83 m



#### **4.4.2 Druhý měřicí pokus (výška 3,385 m, rychlost 26,43 km/h)**

Při nárazovém pokusu na kapotu s pořadovým číslem dva jsme se rozhodli využít maximální spouštěcí výšky, kterou nám padostroj umožnil. Cílem bylo dosáhnout co nejvyšší spouštěcí rychlosti a zároveň také dopadové energie. Spouštěcí výška činila 3,385 [m] a rychlost při nárazu 26,43 [km/h]. Abychom mohli porovnávat tento pokus s předchozím, byl náraz opět veden do stejného místa. Při tomto nárazu již došlo k poměrně rozsáhlé deformaci kapoty vozu v místě nárazu, která je patrná z obr. 4.7.

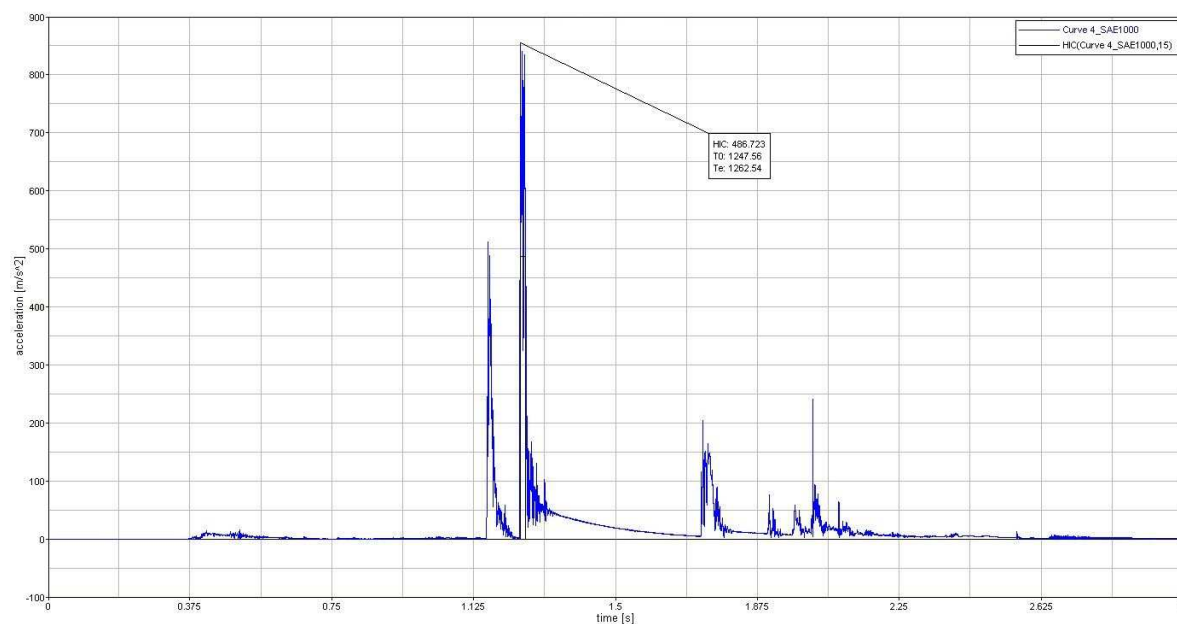
**Obr. 4-7** Rozsáhle poškození kapoty



Již během pokusů bylo jasné, že při takřka dvojnásobné výšce a rychlosti musí být i hodnota HIC vyšší. Předpoklad se potvrdil a naměřená hodnota hodnot HIC překročila čtyřnásobek hodnoty z předchozího měření  $HIC = 487$ . Pakliže k porovnání využijeme hodnot z měření nárazu na kmen stromu, jsou hodnoty HIC pětinašobně menší. I zde se potvrzuje, že konstrukční řešení kapoty zajišťuje dobré pohlcení dopadové energie při nárazu.

Na grafu 4.3 je patrný výrazně vyšší nárůst zrychlení v době nárazu uvolněného nosného rámu o zarážky padostroje.

**Graf 4-3 Náraz impaktoru hlavy obličejovou částí do střední části kapoty z 3,385 m**

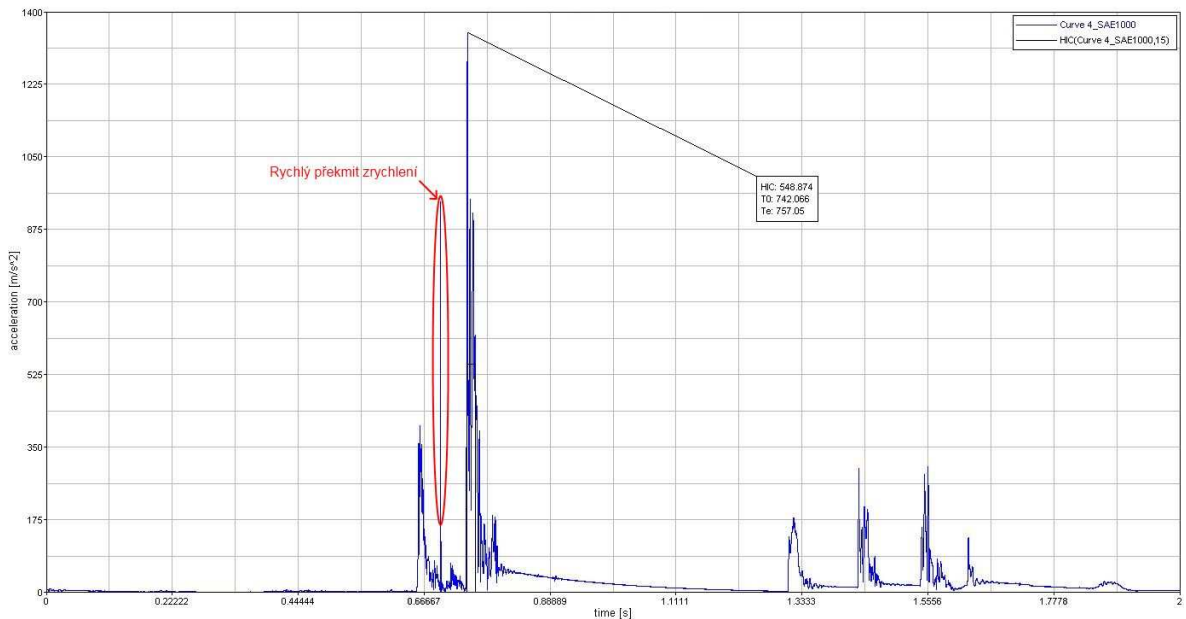


#### 4.4.3 Třetí měřící pokus (výška 3,385 m, rychlost 26,61 km/h)

Jelikož již byla testovaná kapota ve spodní části silně deformovaná, ke třetímu měřicímu pokusu jsme využili horní části kapoty. Při srážce dospělého člověka ve vyšších rychlostech je v těchto místech nejpravděpodobnější náraz.

Při pohledu na graf 4.4 je možné pozorovat rychlý překmit zrychlení v mimořádně krátkém čase. Domníváme se, že tento údaj je chybný, a byl ovlivněn zřejmě datovým šumem ve vodičích. Výpočet kritéria poranění to neovlivnilo a hodnota  $HIC = 549$ , to je o 62 více než při předchozím měřeném pokusu, při shodné výšce a téměř shodné rychlosti. Právě zde se projevila rozdílná schopnost deformace kapoty ovlivněná spodním nosným rámem, jak již bylo zmíněno v kapitole 4.4.

**Graf 4-4 Náráz impaktoru hlavy obličejovou částí do vrchní části kapoty z 3,385 m**



#### **4.5 Náráz impaktoru na kapotu Audi A4**

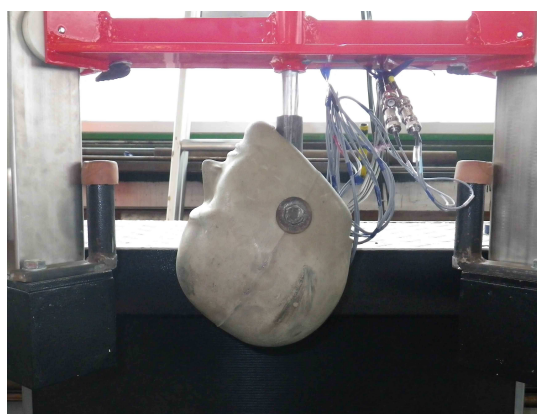
Pro následující pokusy jsme využili druhé dosud nepoškozené kapoty z vozu Audi A4. Její nosný rám je zobrazen na obr. 4.8. Při pokusech byl impaktor hlavy nakloněn v opačném směru, tak aby na kapotu dopadal týlem obr. 4.9. Hlava natočená o úhel 30° tentokrát opačným směrem má za úkol simulovat dopad hlavy na kapotu při srážce chodce, který stojí zády k vozidlu. I v tomto případě je to maximální úhel naklonění, kterého jsme mohli dosáhnout v závislosti na způsobu ukotvení impaktoru.

Při dalších pokusech (č. 5 a 6) je hlava opatřena cyklistickou (skate) helmou. Tyto pokusy měly za cíl zjištění, do jaké míry je helma schopna ochránit hlavu chodce.

**Obr. 4-8 Nosná konstrukce kapoty Audi A4**



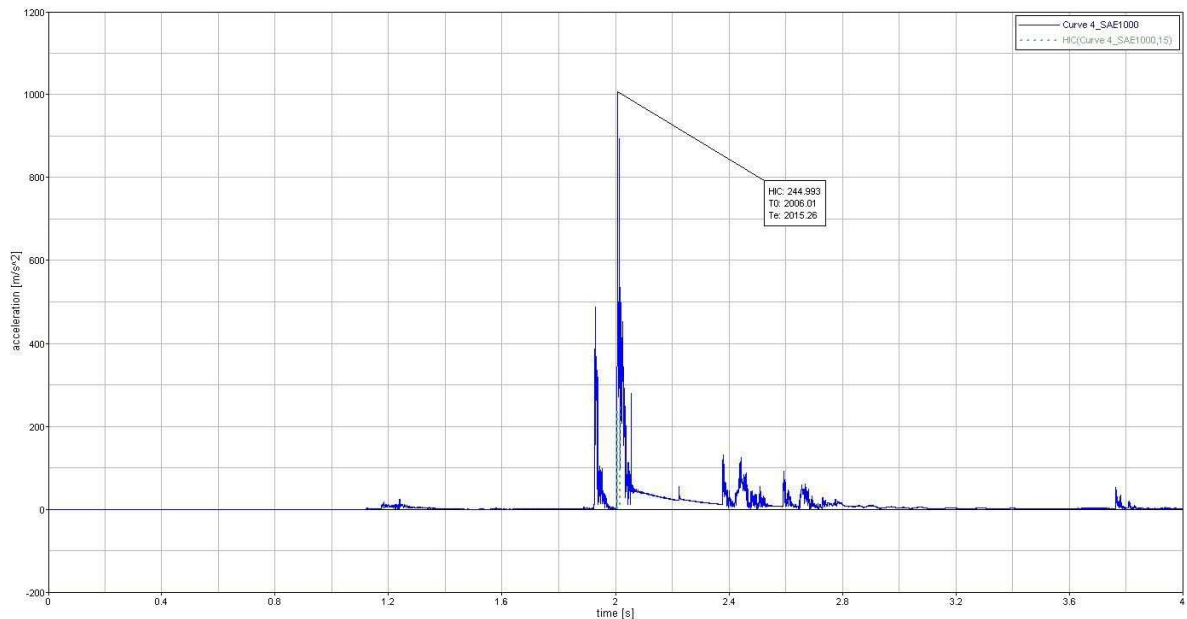
**Obr. 4-9 Impaktor nakloněný o 30° na týlovou část**



#### 4.5.1 Čtvrtý měřicí pokus (výška 3,38 m, rychlost 26,49 km/h)

V tomto měřicím cyklu jsme provedli výměnu kapoty Fabia za kapotu Audi A4 a při měření jsme změnili naklonění impaktoru, tak aby k nárazu docházelo z týlové strany. Hodnoty zrychlení byly srovnatelné s měřicím pokusem číslo dva, přesto hodnoty kritéria poranění HIC byly poloviční, a to  $HIC = 245$ .

Graf 4-5 Náraz impaktoru hlavy týlní částí do vrchní části kapoty z 3,38 m



#### 4.5.2 Pátý měřicí pokus (výška 2,4 m, rychlost 21,47 km/h)

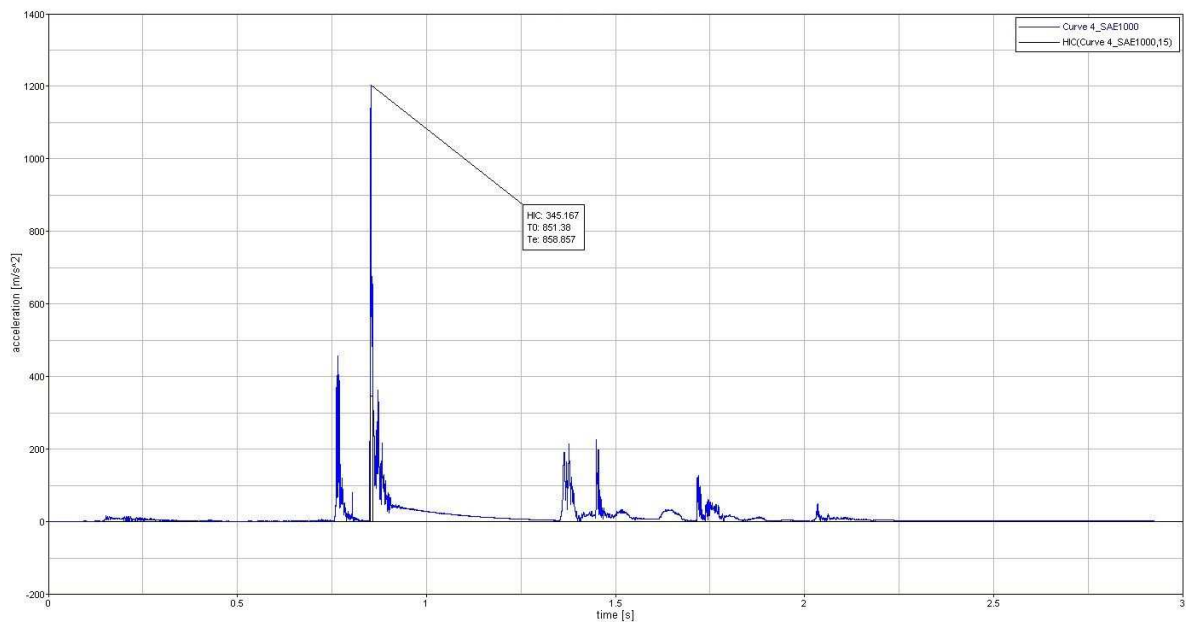
Cílem pátého a šestého měřicího pokusu bylo zjistit, jaký přínos by mohla mít pro bezpečnost chodce helma. Za tímto účelem jsme opatřili impaktor helmou určenou pro kolečkové bruslaře (skate). Cyklistické helmy jsme nemohli použít, jelikož po předchozích pokusech kolegů, kteří je testovali, došlo k jejich nenávratnému poškození. Bruslařská helma se od klasické cyklistické liší v tom, že její povrch je tvořen pevnou skořepinou, zatímco testované cyklistické helmy byly opatřeny pouze tenkou plastovou vrstvou na polystyrénovém jádře.



Jelikož jsme měli poslední použitelnou helmu, zvolili jsme nejprve nižší výšku a to konkrétně 2,4 [m] s dopadovou rychlostí 21,47 [km/h]. Naměřená hodnota dosáhla  $HIC = 345$ . Helma v tomto testu obstála, a tudíž jí bylo možno využít i k následujícímu pokusu z výšky maximální.

Nevýhodou tohoto přístupu je skutečnost, že není možné výsledky porovnat s ostatními měřeními pokusy s vyšší dopadovou rychlostí.

**Graf 4-6 Náráz impaktoru hlavy s helmou v přední části kapoty z 2,4 m**



### 4.5.3 Šestý měřicí pokus (výška 3,36 m, rychlost 26,49 km/h)

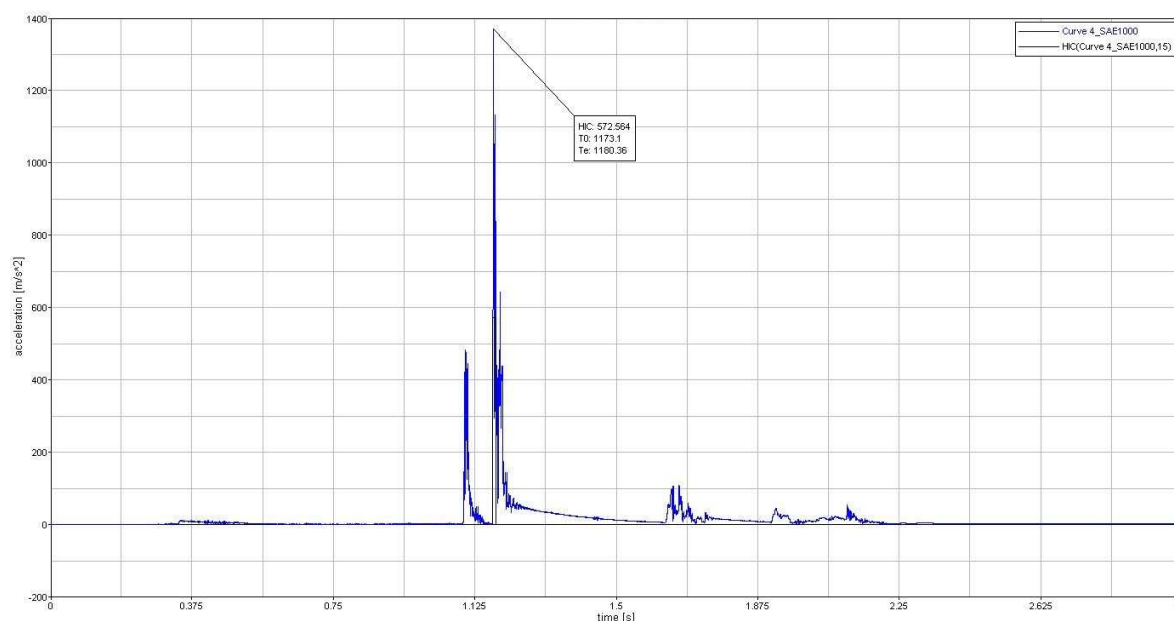
Graf 4.7 znázorňuje měřicí pokus s pořadovým číslem šest. Protože šlo o poslední měření pádu impaktoru s helmou na kapotu bylo možné pro pád zvolit maximální výšku a rychlost. Náráz byl veden do středu vrchní části kapoty. I když jsme se při měření domnívali, že helma musí pomoci a tudíž hodnoty naměřené s helmou by měly být nižší než samotnou maketou hlavy, v tomto případě se tak nenastalo. Naměřená hodnota  $HIC = 572$  tak lehce převyšuje měření samotného impaktoru, které činilo  $HIC = 549$ .

Tento na první pohled znepokojující fakt lze vysvětlit tím, že při pokusech bylo použito dvou rozdílných kapot, přičemž každá měla jinou konstrukci případně i jiné složení materiálu.

**Obr. 4-10 Upevnění helmy na impaktor**



**Graf 4-7 Náraz impaktoru hlavy s helmou do vrchní části kapoty z 3,36 m**

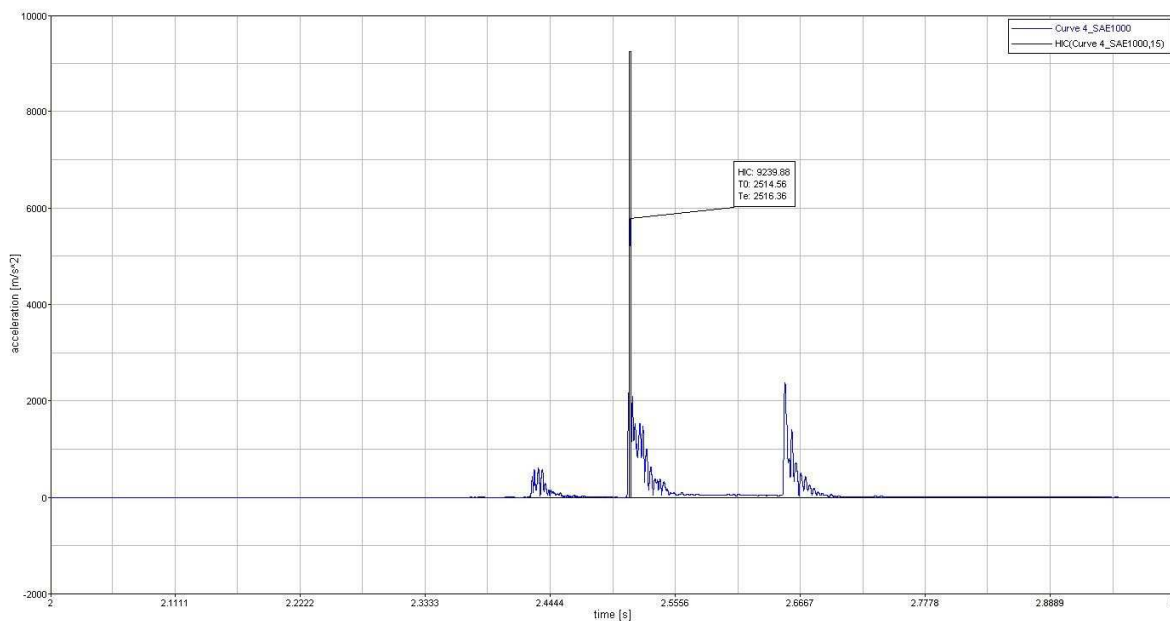


## **4.6 Náraz impaktoru na železnou nepoddajnou desku**

Poslední mnou uvedený měřený pokus může sloužit jako porovnání s měřením nárazu na kapotách. Jedná se zde o naměření maximálních hodnot poranění, která nám padostroj svou vlastní konstrukcí dovolil. Pokus byl proveden z maximální výšky padostroje na pevnou nepoddajnou podložku. K tomuto účelu jsme využili 30 mm tlusté železné desky.

Hodnota kritéria poranění se dostala při vyhodnocení, které je patrné na grafu 4.8 do oblasti vyšší, než je přípustná maximální hodnota  $HIC = 1000$ . Při hodnotě  $HIC = 9240$  je jasné, že vzniklá poranění nemohou být slučitelná se životem.

**Graf 4-8** Náraz impaktoru hlavy na železnou nepoddajnou podložku z 3,41 m



#### **4.7 Shrnutí poznatků, tvorba vlastního návrhu**

Námi provedená měření zastupují jenom malý reprezentativní vzorek, který nám stačil k vytvoření si představy, jaké faktory nejvíce ovlivňují zranění chodce. Důvodem omezeného počtu měření je materiálové zajištění měřících pokusů. Aby byla měření co nejpřesnější, museli jsme se vyvarovat nárazům do stejných míst kapot, opakovanému použití přileb, pro které byl měřící postup destruktivní, ale také respektovat časové omezení pracovníků VÚKV. Kompletní přehled měření je zpracován v tabulce 4.1.

Z těchto měření je jasně patrné, jak velký vliv na poranění, které je přímo úměrné kritériu HIC, má materiál kapoty a především tvar její nosné konstrukce. Důležitým faktorem také bylo, že námi testované kapoty byly volně položené bez zajištění v karosérii vozu. Můžeme tedy předpokládat, že hodnoty, které by byly měřené přímo na kapotě vozu, by byly vyšší. Jedním z faktorů, které by měly vliv na měření, je ukotvení samotné kapoty. Dalším a to velmi důležitým faktorem je motor a jiné tuhé součásti vozu, které jsou pod kapotou uloženy. Výsledky našich měření by tedy bylo lépe vztahovat na aktivní kapoty.

**Tab. 4-1 Shrnutí výsledku HIC**

Měření	Místo dopadu	Spouštěcí výška [m]	Dopadová rychlost [km/h]	HIC	Kategorie míry závažnosti	Pravděpodobné zranění hlavy
Náraz na kmen stromu	kmen stromu	3,24	25,58	3453	Maximální (smrtné úrazy)	Možná těžká zranění, bývají neslučitelná se životem.
První náraz na kapotu Fabia	střed přední části kapoty, impaktor nakloněn o 30° k obličejové části	1,83	17,90	135	Minimální poranění	Možná bolest hlavy, závratě, nevolnost.
Druhý náraz na kapotu Fabia	střed přední části kapoty, impaktor nakloněn o 30° k obličejové části	3,39	26,43	487	Malá poranění	Bolest hlavy, závratě, možné zlomeniny obličejové části.
Třetí náraz na kapotu Fabia	střed vrchní části kapoty, impaktor nakloněn o 30° k obličejové části	3,39	26,61	549	Mírná až střední poranění	Možné dlouhodobější bezvědomí např. 1-2 h, možné praskliny lebky.
Čtvrtý náraz na kapotu Audi	střed vrchní části kapoty, impaktor natočen o 30° k týlové části	3,38	26,49	245	Malá poranění	Bolest hlavy, závratě, možné zlomeniny v obličejové části.
Pátý náraz na kapotu Audi	střed přední části kapoty, impaktor opatřen helmou	2,40	21,47	345	Malá poranění	Bolest hlavy, závratě, možné zlomeniny v obličejové části.
Šestý náraz na kapotu Audi	střed vrchní části kapoty, impaktor opatřen helmou	3,36	26,49	572	Mírná až střední poranění	Možné dlouhodobější bezvědomí např. 1-2 h, možné praskliny lebky.
Náraz na železnou desku	železná deska	3,41	26,07	9240	Maximální (smrtné úrazy)	Bývá neslučitelné se životem.

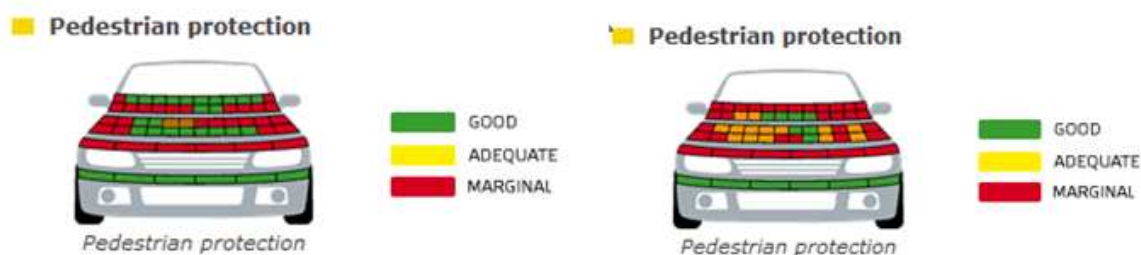
Nejlépe jsou porovnatelné měřicí pokusy tři a čtyři. V těchto případech se sice jedná o dvě různé kapoty, ale obě mají stejná dopadová místa a rychlosti. Na obr. 4.11 je znázorněn rozdíl v nosné konstrukci měřených kapot, který je pravděpodobnou příčinou rozdílů v hodnotách kritéria poranění HIC. Při třetím měřicím pokusu byl náraz veden do středu vrchní části kapoty, pod kterým byla nosná vzpěra. Oproti tomu ve čtvrtém měřicím pokusu při stejné volbě dopadového místa byla vlivem jinak rozmístněných nosných prvků kapoty umožněna vyšší deformace a s tím spojené snížení hodnoty HIC na polovinu. Tento příklad ilustruje, jaký vliv na poranění chodce má konstrukce a místo dopadu.

**Obr. 4-11 Porovnání měřicího pokusu tři a čtyři**



K porovnání může sloužit i měření EuroNCAP. V testech ochrany chodců získala Škoda Fabia za 17 bodů dvě hvězdičky. Body byly přiděleny hlavně zásluhou nárazníku, který získal maximální počet bodů. Oproti tomu za čelní hranu kapoty nebyl připsán bod žádný. Automobil Audi A4 na tom bylo ještě hůře. Celkem v testu ochrany chodců nasbíral jen 14 bodů, což stačilo také na dvě hvězdičky. Avšak kapota byla vyhodnocena za převážně špatnou.

**Obr. 4-12 Škoda Fabia vlevo a Audi A4 vpravo**



Zdroj: [www.euroncap.com](http://www.euroncap.com)

## 5 Závěr

Úkolem této práce bylo posoudit faktory ovlivňující pasivní bezpečnost chodců. Z tohoto rozsáhlého tématu jsem se zaměřil na poranění hlavy zejména z toho důvodu, že bývá nejzávažnější, a má pro chodce a lidi obecně největší následky. I když jsem se ve své práci zaměřil na poranění vznikající následkem dopravní nehody, myslím si, že bych zde neměl zapomenout zmínit i preventivní opatření. Chodci nevěnují dostatek pozornosti oblasti bezpečnosti, kterou mohou sami jednoduše ovlivnit. Každý chodec by si měl uvědomit svou nevýhodnou pozici v dopravě a přizpůsobit se jí. Jednoduchými reflexními prvky dát ostatním účastníkům silničního provozu možnost, aby ho řidič včas zpozoroval, např. za snížené viditelnosti. Pohybovat se výhradně na místech určených pro chodce, věnovat zvýšenou pozornost nebezpečným místům, např. přechodům pro chodce na dvoupruhové silnici apod.

### Měření

Pro upřesnění a statistickou prokazatelnost by bylo nezbytné provést více opakovaných měření, tak aby se podařilo eliminovat náhodné vlivy (např. drobné odchylky v místě dopadu impaktoru). Pro možnost vztažení výsledků na současná vozidla by bylo nutné upevnit kapotu na testovací stoličce, která by vhodně simulovala uchycení kapoty na skutečném vozidle a zároveň použít imitace bloku motoru a jiných tvrdých součástí vozidla v motorovém prostoru. Nebo ještě lépe využít celého vozu, kde je kapota zakomponovaná v karosérii a pod ní je kompletní sestava motorového prostoru.

### Vliv místa nárazu

Faktorem, který zvláště ovlivňuje následky poranění hlavy při srážce je místo nárazu. Jak je z výše uvedených měření patrné, nosná konstrukce, která je výrazně „tvrdší“, nepoddajná a tím neumožní maximální deformaci, při které se pohlcuje dopadová energie, zvyšuje riziko zranění chodce. Stačí poměrně malá odchylka dvou zdánlivě stejných dopadových míst a výsledky měření jsou významně odlišné. I pouhé přiblížení impaktoru k místu, kde je spodní nosná konstrukce kapoty, vede k výraznému zhoršení následků poranění.

### Vliv helmy na poranění

Z našeho omezeného počtu měřících pokusů, které byly vedeny na plochá místa kapoty, se nepodařilo prokázat, že by měla námi testovaná bruslařská (skate) helma pozitivní výsledek na snížení poranění chodce. Helma jako taková by měla být nápomocná především při nárazu na výčnělky, hrany automobilu a pevné části karosérie například „A“ - sloupek. V těchto případech by měla zafungovat jedna z jejích hlavních funkcí a to rozložení bodového nárazu do větší plochy a tím zmenšit následky poranění. Tyto testy by bylo užitečné provést a vyhodnotit, a to například v navazující disertační práci či podobném tématu jiné diplomové práce.

## 6 Použitá literatura

- [1] First, Jiří a kol.: *Zkoušení automobilů a motocyklů*. Praha: S&T CZ s.r.o., 2008. 348 s. ISBN 978-80-254-1805-5.
- [2] Kovanda J., Šatochin V.: *Pasivní bezpečnost vozidel*. CVUT, Praha, 2000. 69 s. ISBN 80-01-02235-8
- [3] Kovanda J., Riva R.: *VEHICLE – HUMAN INTERACTION*. Edizioni Spiegel, 1999. 79 s. ISBN 88-7660-104-X
- [4] Kovanda J. a kol.: *Pasivní bezpečnost chodce při kolizi s vozidlem, biomechanika a vliv informačních technologií*. Praha 2009. 113 s. Identifikační kód projektu: 1F44I/901/505.
- [5] Mraček Z. *Kraniocerebrální poranění*. Avicenum/zdravotnické nakladatelství, Praha, 1988. 304 s.
- [6] Pike J.A.: *AUTOMOTIVE SAFETY*. Society of Automotive Engineers, USA, 1990. ISBN 1-56091-007-0
- [7] Fanta O.: *Biomechanika poranění hlavy*. Bakalářská práce, Praha 2008
- [8] Kadrmas L.: *Homogenní kapota – chování při nárazech impaktorem hlavy*. Diplomová práce, Brno 2009, dostupné z:  
[http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=15880](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=15880)
- [9] Kučera J.: *Normativní požadavky na činnost zádržných systémů vozidel*. Diplomová práce, Brno 2010, dostupné z:  
[http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=28682](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=28682)
- [10] Pokorný J.: *Bezpečnost a ochrana chodců*. Pardubice 2004  
[http://envi.upce.cz/pisprace/ostatni/pokorny\\_text.pdf](http://envi.upce.cz/pisprace/ostatni/pokorny_text.pdf)
- [11] Schejbalová Z.: *Kolize chodce s vozidlem*. Diplomová práce, Praha 2002
- [12] McHenry, B. G.: *Head Injury Criterion and the ATB [Online]*. [Citace 9. února 2011] dostupné z: <http://www.mchenrysoftware.com/HIC%20and%20the%20ATB.pdf>
- [13] Autoliv: [Online]. [Citace: 20. února 2011] dostupné z: <http://www.autoliv.com>
- [14] Besip: [Online]. [Citace: 24. února 2011] dostupné z:  
[http://www.ibesip.cz/1087\\_Sef-dopravky-pozaduje-aby-chodci-nosili-reflexni-prvky](http://www.ibesip.cz/1087_Sef-dopravky-pozaduje-aby-chodci-nosili-reflexni-prvky)
- [15] Úřední věstník Evropské unie. [Online]. [Citace: 25. února 2011], PDF dostupné z:  
<http://eur-lex.europa.eu/cs/index.htm>
- [16] Brüel & Kjær: [Online]. [Citace: 25. března 2011] dostupné z: <http://www.bksv.com>
- [17] EuroNCAP: [Online]. [Citace: 3. dubna 2011] dostupné z: <http://www.euroncap.com>



## 7 Zkratky

EHK/OSN	Evropská hospodářská komise, organizace spojených národů
EHS/ES	Evropské hospodářské společenství
MDČR	Ministerstvo dopravy České republiky
MVČR	Ministerstvo vnitra České republiky
CZSO	Český statistický úřad
HIC	Head Injury Criterion
SUV	Sport Utility Vehikle
EEVC	European Enhanced Vehicle – Safety Committee
ACEA	Evropskou asociací výrobců automobilů
ISO	International Organization for Standardization
ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
WG	Working Group
AIS	Abbreviated Injury Scale
EuroNCAP	European New Car Assessment Programme
VÚKV	Výzkumný ústav kolejových vozidel
WSTC	Wayne State Tolerance Curve

## 8 Seznam obrázků, tabulek a grafů

### Obrázky:

Obr. 3-1 Průběh střetu figuríny s modelem automobilu Škoda Fabia .....	13
Obr. 3-2 Lebka .....	14
Obr. 3-3 Le-Fortovy linie – čelní projekce .....	15
Obr. 3-4 Le-Fortovy linie – boční projekce .....	15
Obr. 3-5 Zlomeniny klenby lební      Obr. 3-6 Linie zlomenin base lební.....	16
Obr. 3-7 Mozek a jeho obaly .....	16
Obr. 3-8 Poranění „par contre-coup“ .....	17
Obr. 3-9 Wayne State Tolerance Curve .....	18
Obr. 3-10 Systém aktivní kapoty .....	21
Obr. 3-11 Srážka chodce s aktivní kapotou .....	21
Obr. 3-12 Airbag pro chodce .....	22
Obr. 3-13 Systémy airbagové ochrany.....	22
Obr. 3-14 Graf porovnání testu bez a s airbagem pro chodce .....	23
Obr. 3-15 Airbag pro chodce u vozů SUV (Front Edge Airbag).....	24
Obr. 3-16 Obraz zobrazený řidiči .....	25
Obr. 3-17 Obraz zobrazený řidiči při oslnění protijedoucím vozem .....	26
Obr. 3-18 Rozdíly ve viditelnosti jednotlivých barev.....	27
Obr. 4-1 Padostroj .....	29
Obr. 4-2 Měřicí zařízení.....	31
Obr. 4-3 Impaktor – hlava, čelní pohled      Obr. 4-4 Impaktor – hlava, boční pohled .....	32
Obr. 4-5 Nosná konstrukce kapoty Škoda Fabia      Obr. 4-6 Naklonění impaktoru o 30° ..	36
Obr. 4-7 Rozsáhle poškození kapoty .....	37
Obr. 4-8 Nosná konstrukce kapoty Audi A4      Obr. 4-9 Impaktor nakloněný o 30° na týlovou část .....	39
Obr. 4-10 Upevnění helmy na impaktor .....	42
Obr. 4-11 Porovnání měřícího pokusu tři a čtyři .....	45
Obr. 4-12 Škoda Fabia vlevo a Audi A4 vpravo .....	45

### **Tabulky:**

Tab. 3-1 Vývoj počtu dopravních nehod v ČR .....	11
Tab. 3-2 Stupnice AIS s příklady zranění a dosahovaných mezí biomechanických limitů. ....	19
Tab. 4-1 Shrnutí výsledku HIC .....	44

### **Grafy:**

Graf 3-1 Počet dopravních nehod .....	12
Graf 3-2 Počet usmrcených osob .....	12
Graf 4-1 Náraz impaktoru hlavy na kmen stromu .....	35
Graf 4-2 Náraz impaktoru hlavy obličejovou částí do přední části kapoty z 1,83 m .....	37
Graf 4-3 Náraz impaktoru hlavy obličejovou částí do střední části kapoty z 3,385 m.....	38
Graf 4-4 Náraz impaktoru hlavy obličejovou částí do vrchní části kapoty z 3,385 m .....	39
Graf 4-5 Náraz impaktoru hlavy týlní částí do vrchní části kapoty z 3,38 m.....	40
Graf 4-6 Náraz impaktoru hlavy s helmou v přední části kapoty z 2,4 m .....	41
Graf 4-7 Náraz impaktoru hlavy s helmou do vrchní části kapoty z 3,36 m .....	42
Graf 4-8 Náraz impaktoru hlavy na železnou nepoddajnou podložku z 3,41 m.....	43