

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ
INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

VLIV PRVKU PASIVNÍ BEZPEČNOSTI VOZIDEL PŘI KOLIZÍCH S CHODCI

THE INFLUENCE OF PASSIVE SAFETY FEATURES DURING VEHICLE COLLISIONS WITH
PEDESTRIANS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAN MRÁZEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. STANISLAV TOKAŘ

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jan Mrázek

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

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

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

Vliv prvku pasivní bezpečnosti vozidel při kolizích s chodci

v anglickém jazyce:

The Influence of Passive Safety Features During Vehicle Collisions with Pedestrians

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V DP se pojedná o konstrukci a řešení jednotlivých prvků pasivní bezpečnosti vozidel, které zmírňují následky při kolizích s chodci. Také se provede syntéza jednotlivých prvků a jejich přínos ke zvýšení bezpečnosti chodce.

Cíle diplomové práce:

1. Rešerše podkladů - vytvoření přehledu jednotlivých prvků pasivní bezpečnosti vozidel při kolizích s chodci.
2. Konstrukce a využití těchto prvků v automobilech.
3. Porovnání účinků jednotlivých prvků, na zmírnění následků při DN.
4. Možnosti vývoje bezpečnostních prvků vozidel pro zvýšení bezpečnosti chodců při vzájemných kolizích.

Seznam odborné literatury:

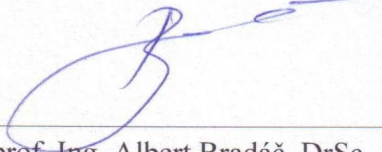
- [1] BRADÁČ, Albert a kol. Soudní inženýrství. Brno : CERM Akademické nakladatelství, s.r.o.. 1999. 725 s. ISBN 80-7204-133-9.
- [2] BURG, MOSER. Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion. Weisbaden : Triedr. Vieweg & Sohn Verlag. 2007. 985 s. ISBN 978-3-8348-0172-2.
- [3] KASANICKÝ, Gustáv. Teória pohybu a rázu při analýze a simulácii nehodového deja. Žilina : EDIS - vydavateľstvo ŽU. 2001. 350 s. ISBN 80-7100-597-5.
- [4] Odborné příručky, internet.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Stanislav Tokař

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 30.11.2010





prof. Ing. Albert Bradáč, DrSc.
Ředitel vysokoškolského ústavu

Abstrakt

Práce se zabývá vlivem prvků pasivní bezpečnosti při kolizích s chodci. První část práce je zaměřena na obecné seznámení s prvky aktivní a pasivní bezpečnosti vozidel. V následující části se zabývá konstrukcí a využitím moderních prvků pasivní bezpečnosti při kolizích s chodci. V třetí kapitole je pozornost věnována porovnání modelových situací střetu vozidla s chodcem, řešených pomocí simulačního programu. V závěru této kapitoly je provedena syntéza výsledků těchto modelových situací. Poslední část se zabývá možností zvýšení bezpečnosti chodců při vzájemných kolizích s automobily s výhledem do blízké budoucnosti.

Abstract

This thesis deals with the influence of passive safety features during vehicle collisions with pedestrians. The first part focuses on introducing the basic components of active and passive vehicle safety. The second part deals with construction and usage of modern components of passive safety during vehicle collisions with pedestrians. A comparing situation model of vehicle collisions with pedestrian is introduced in the third part for which a simulation programme has been used. At the close of this part there is a result synthesis of these model situations. The last part deals with the possibility of increasing pedestrian safety.

Klíčová slova

Aktivní kapota, bezpečnost, počítačová simulace, systémy airbagů pro chodce.

Keywords

Active bonnet, safety, computational simulation, airbag system for pedestrians.

Bibliografická citace

MRÁZEK, J. *Vliv prvku pasivní bezpečnosti vozidel při kolizích s chodci*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Ústav soudního inženýrství, 2011. 74 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Stanislav Tokař.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27.5.2011

.....

podpis diplomanta

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval především vedoucímu diplomové práce Ing. Stanislavu Tokařovi za cenné rady a odborné vedení.

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 BEZPEČNOST VOZIDEL.....	13
1.1 Podstata aktivní bezpečnosti	13
1.2 Podstata pasivní bezpečnosti.....	16
1.2.1 Vnitřní pasivní bezpečnost.....	17
1.2.2 Vnější pasivní bezpečnost.....	20
2 KONSTRUKCE A VYUŽITÍ PRVKŮ PASIVNÍ BEZPEČNOSTI PŘI KOLIZÍCH S CHODCI.....	27
2.1 Konstrukce nárazníku.....	27
2.1.1 Deformační prvky nárazníku	28
2.2 Konstrukce kapoty.....	31
2.3 Aktivní kapota	32
2.4 Aktivní spoiler a nárazník	37
2.5 Systémy airbagů pro chodce.....	38
2.6 Tvar předě vozidla	40
2.7 Konstrukce čelního skla	42
3 DOPRAVNÍ NEHODY S CHODCI	45
3.1 Střety vozidla s chodcem.....	45
3.2 porovnání modelových situací střetu vozidla s chodcem a jejich důsledky.....	48
3.2.1 Modelová situace vkročení chodce do vozovky z řady vozidel.....	49
3.2.2 Chůze zády ke směru projíždějící dopravy	56
3.2.3 Celkový přehled míst dopadu hlavy.....	59
3.2.4 Vyhodnocení míst dopadů hlavy.....	59
3.3 Porovnání účinků moderních prvků pasivní bezpečnosti na zmírnění následků střetu vozidla s chodcem	62
3.3.1 Aktivní kapota.....	62

3.3.2	<i>Systém airbagů pro chodce</i>	63
4	MOŽNOST VÝVOJE BEZPEČNOSTNÍCH PRVKŮ PRO ZVÝŠENÍ BEZPEČNOSTI CHODCŮ PŘI VZÁJEMNÝCH KOLIZÍCH	65
	ZÁVĚR.....	69
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	70
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	73
	SEZNAM PŘÍLOH	74

ÚVOD

Neustálý rozvoj automobilové dopravy sebou přináší pozitivní, ale zároveň i negativní dopady. Jako příklad je možno uvést negativní vliv na životní prostředí. Dalším negativním následkem dopravy jsou pak dopravní nehody. Při nich dochází nejenom ke ztrátám materiálním, ale hlavně se jedná o ztráty na lidských životech a závažné poruchy zdraví, často s trvalými následky.

Dopravní nehody s chodci představují nejvážnější dopravní nehody. Chodci představují nejzranitelnější účastníky silničního provozu. Podle statistiky Evropské dopravní komise tvoří téměř 21 % obětí všech dopravních nehod na území Evropské unie. [2] Chodci však mnohdy své vlastní smrtelné nebezpečí jakoby nevnímali. Jen za rok 2009 zavinili chodci na českých silnicích 1304 dopravních nehod, při nichž bylo usmrceno 32 osob. [3]

Velká zranitelnost chodců je dána nesrovnatelnou rychlostí a hmotností chodce v porovnání s osobním automobilem. Na rozdíl od chodce disponuje automobil značnou deformační zónou pohlcující energii nárazu a dále je ochrana posádky automobilu zajištěna bezpečnostními prvky. Naopak chodec není při střetu ničím chráněn a také má jen velmi omezenou možnost zvýšit svou bezpečnost za použití vlastních ochranných prostředků. Je proto důležité hledat řešení, které by vedlo jednak k potlačení vzniku střetu s chodcem, ale také hledat možnosti zvýšení bezpečnosti chodce před riziky, které pro něj plynou v případě střetu s automobilem.

Je prokázáno, že nejvíce smrtelných následků chodců při nárazu s automobilem nastává v důsledku těžkého nárazu hlavy na tuhou kapotu nebo čelní sklo. Proto je v této práci těmto částem automobilu věnována značná pozornost.

Cílem této práce je usnadnit orientaci v nejběžněji používaných bezpečnostních prvcích pasivní bezpečnosti vozidel, které pomáhají zmírnit často fatální následky střetu automobilu s chodcem. Dalším cílem této práce je zhodnotit vliv jednotlivých používaných prvků při nehodové situaci a na základě simulací ve virtuálním prostředí PC programu navrhnout vhodné návrhy zlepšení vnější pasivní bezpečnosti pro konkrétní kategorii vozidel.

1 BEZPEČNOST VOZIDEL

Jednou z důležitých priorit při výrobě vozidel je jejich bezpečnost. Bezpečnost vozidel lze rozdělit do dvou hlavních směrů. Jedním z těchto směrů je vytvořit vozidlo, které je schopné svými vlastnostmi a použitými bezpečnostními prvky nehodě zabránit. V tomto případě mluvíme o aktivní bezpečnosti vozidla. I přes veškerá opatření však může k nehodě dojít a proto druhým hlavním směrem bezpečnosti vozidel je jejich samotná konstrukce, kterou je možno snížit následky vzniklé nehody. V tomto případě mluvíme o pasivní bezpečnosti vozidel.

V minulosti byly prvky bezpečnosti vozidel zaměřeny pouze na ochranu vlastní posádky. S růstem životní úrovně však došlo ke značnému zvýšení počtu automobilů v silničním provozu. Tímto se i zvýšila míra rizikovosti smíšeného provozu automobilů s velmi zranitelnými chodci, cyklisty a motocyklisty. Proto je v dnešní době a to zejména v případě pasivní bezpečnosti kladen důraz nejen na ochranu posádky vozidla, ale také na opatření pro ochranu zranitelnějších účastníků silničního provozu. K potlačení těchto negativních následků dopravy vedou nejen samotné automobilky, ale také vlády vyspělých zemí. Moderní automobily tak získávají do své výbavy nejruznější prvky poskytující všestrannou ochranu.

1.1 PODSTATA AKTIVNÍ BEZPEČNOSTI

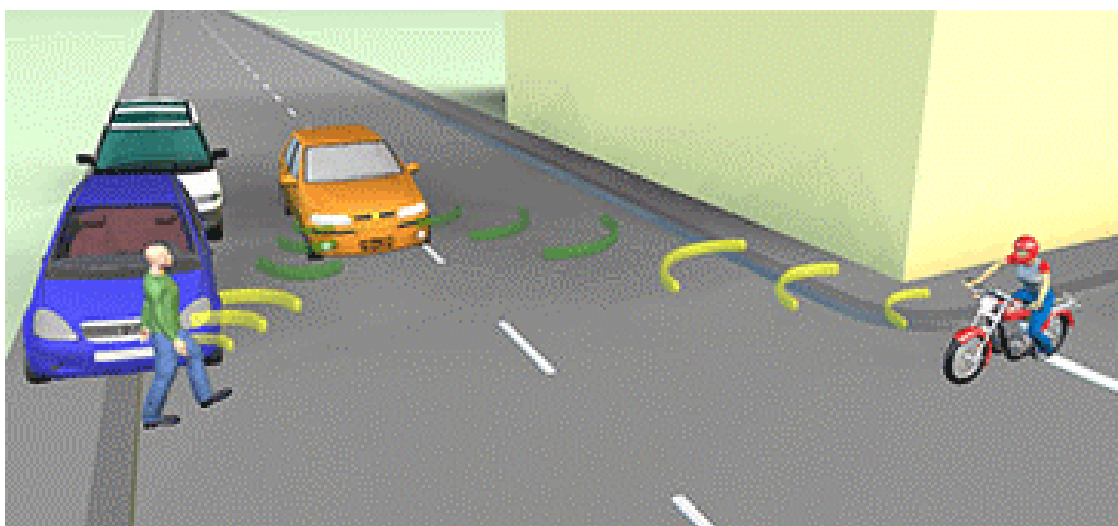
Aktivní bezpečnost je souhrn opatření a vlastností pomáhající zabránit vzniku nehody. Ze strany chodců je velmi omezená možnost zvýšení své vlastní bezpečnosti. Proto jsou i pro ochranu chodců cyklistů a motocyklistů využívány ve vozidlech prvky aktivní bezpečnosti, které napomáhají předcházet vzniku kolizních situací.

Mezi vlastnosti zmenšující jízdní nedostatky zejména patří:

- neutrální jízdní chování v zatáčkách,
- stabilní přímá jízda vozidla,
- precizní řízení s lehkým chodem,
- co největší možné zpomalení bez zablokování kol (např. protiblokovací systém kol - ABS),
- optimálně sladěné pérování a tlumení se zavěšením kol,
- protiskluzové zařízení (např. systém regulace prokluzu kol - ASR, nebo elektronický stabilizační program - ESP) [4]

Možným příkladem prvku aktivní bezpečnosti jsou brzdové asistenční systémy. Tyto systémy snižují nejen riziko zranění pro chodce, ale pomáhají také předcházet nárazům do vpředu jedoucího vozidla, nebo jiné překážky. Od 24. listopadu 2009 jsou brzdové asistenční systémy nařízené jako povinné pro všechny nové typy lehkých komerčních vozidel prodávaných na území Evropské unie. [5]

Mezi moderní preventivní opatření patří systém zvaný Pre-crash sensing.¹ Jedním ze zástupců tohoto opatření je systém Watch-over, nebo-li „dohled-přes“. Tento prvek aktivní bezpečnosti je tvořen kamerou, senzory a centrální jednotkou. K aktivaci celého systému je zapotřebí potvrzení přítomnosti objektu jak kamerou, tak i senzory. Senzory a kamera jednoznačně identifikují objekt a v případě nebezpečí srážky, například s chodcem neprodleně upozorní řidiče a pomohou tak odvrátit možný střet. Výstraha řidiče je uskutečněna výstražným zvukovým signálem, nebo případně zobrazením na čelním skle.



Obr. č. 1 – Systém Watch-over [6]

Jako další moderní prvek aktivní bezpečnosti uvedeme systém nočního vidění. Tento systém zajišťuje řidiči lepší přehled o dění na vozovce a napomáhá tak zabránit i možnému střetu s chodcem. Napomáhá zejména při jízdě v noci, špatného počasí, oslnění protijedoucím vozidlem a nevhodně zvoleného oblečení chodce, případně cyklisty. Za takto ztížených

¹ Pre-Crash Sensing, nebo-li „před-srážkové snímání“, je bezpečnostní systém, který napomáhá zabránit srážce vozidla s jakoukoliv jinou překážkou. Prostřednictvím získaných informací může tento systém aktivovat další bezpečnostní prvky vozidla, např. předpínače bezpečnostních pásů, nebo brzdový asistent.

podmínek jsou rozpoznávací schopnosti řidiče značně omezené a řidiči potom nemusí zůstat dostatek času na reakci.



Obr. č. 2 – Systém nočního vidění [7]

Systém nočního vidění umožňuje řidiči usnadnit orientaci v nepříznivých podmínkách řízení. Prostřednictvím kamery, umístěné v přední části automobilu a displeje, umístěného v zorném poli řidiče je zobrazena na displeji aktuální situace před vozidlem s větší citlivostí, než je schopno zaznamenat oko řidiče. Kamera je totiž citlivá na infračervené světlo, kterým je osvětlován prostor před vozidlem. V případě nebezpečné situace před vozidlem je řidič varován akustickým signálem a tak je například při oslnění protijedoucím vozidlem schopen reagovat.



Obr. č. 3 – Obrazovka systému nočního vidění vozidel BMW [8]

1.2 PODSTATA PASIVNÍ BEZPEČNOSTI

Pasivní bezpečnost napomáhá zmírnit následky dopravní nehody. Jak již bylo uvedeno, nepomáhá jen zmírnit následky nehody pro posádku vozidla. Z tohoto důvodu dělíme pasivní bezpečnost automobilu na vnitřní a vnější. Mezi základní prvky pasivní bezpečnosti automobilů patří bezpečnostní pásy, nafukovací vaky (airbagy) a konstrukce karoserie s deformovatelnými zónami.

Doposud platné základní principy pasivní bezpečnosti automobilů stanovil prof. Larry Patrick: [9]

- Posádka vozidla musí mít dostatečný prostor pro přežití, a to i při převrácení vozidla a jízdě po střeše.
- Do prostoru pro přežití nesmí nadměrně proniknout žádná část vozidla, která tam nepatří.
- V prostoru pro přežití nesmí být žádné části, které mohou přispět ke zranění posádky, všechny ostré výstupy a hrany pokud možno odstranit, případně zakulatit, minimální rádius hran je 2,5 mm.
- Vnitřní část automobilu opatřena materiály tlumícími náraz a případné plochy, které mohou přijít do styku s lidským tělem, musí být co největší.
- Prostor pro posádku musí být co nejtužší, aby se při havárii co nejméně deformoval a umožnil otevření aspoň jedné dveří bez pomoci nástrojů, kabina musí zůstat celistvá.
- Sedačky musí být upevněny tak pevně, aby zůstaly v případě nárazu na svém místě.
- Posádka musí být fixována na sedadlech speciálním zařízením, které zachytí energii nárazu a nedovolí kontakt těla s pevnými částmi kabiny.
- Dveře vozidla se nesmí při nárazu samovolně otevřít, posádka nesmí z auta vypadnout.
- Přední a zadní část vozidla pohlcující energii nárazu a rozprostřující ji na určitý minimální čas, aby zpoždění kabiny a tedy i posádky při nárazu nepřekročilo kritické hodnoty.
- Konstrukce oken ve vozidlech nezpůsobující řezné poranění posádky.
- Při havárii nesmí dojít k požáru vozidla a úniku paliva z nádrže.
- V interiéru používat nehořlavé materiály, případně s omezenou hořlavostí.

1.2.1 Vnitřní pasivní bezpečnost

O ochranu pasažérů v okamžiku nehody se v automobilech starají zádržné bezpečnostní prvky. Jsou to prvky, které se aktivují automaticky v okamžiku vzniku nehody. Mezi tyto bezpečnostní prvky patří zejména bezpečnostní pásy a nafukovací vaky – airbagy. Tyto prvky mají své opodstatnění zejména při čelním nárazu.

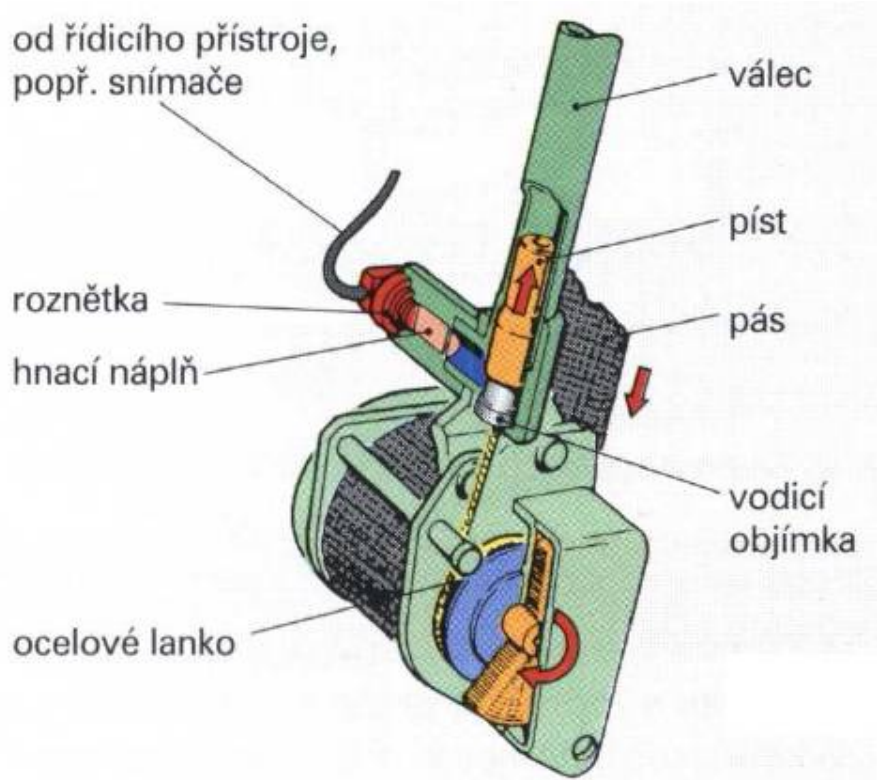
Cílem vnitřní bezpečnosti je snížit, nebo ještě lépe úplně zamezit vzniku zranění posádky havarovaného vozidla. Jednou z podmínek potlačení rizika vzniku zranění je velikost zbylého prostoru po nárazu. Nebude-li tento prostor dostatečně velký, tak je zde potom také nižší šance k zabránění vzniku zranění a celkově i menší šance na přežití. Nutnou podmínkou je však připoutání pasažérů bezpečnostními pásy. Bez připoutání bezpečnostními pásy ztrácí velikost zbylého prostoru po nárazu smysl a to z důvodu malé deformační zóny vnitřního prostoru. Bezpečnostní pásy zachytávají lidské tělo na malé ploše a při velkém tlaku těla mohou být příčinou poranění hrudníku. Bezpečnostní pásy proto vhodně doplňují airbagy, které tak spolu vytváří kompaktní bezpečnostní prvek. Samotné airbagy bez použitých bezpečnostních pásů nedokážou dostatečně ochránit posádku.

Bezpečnostní pásy

Bezpečnostní pásy jsou nejdůležitějším bezpečnostním prvkem automobilů. Zajišťují nejefektivnější ochranu posádky vozidla v případě nehody. Efektivně zachycují a přidržují těla členů posádky na sedadlech. Zabraňují tak vymrštění těla například z převracejícího se, nebo jinak nekontrolovatelně se pohybujícího vozidla. Pro dosažení co nejmenšího zpomalení musí bezpečnostní pás zachycovat tělo na co nejdelší dráze.

Pro správnou funkci bezpečnostního pásu musí pás těsně doléhat k tělu cestujícího z důvodu co nejrychlejšího zachycení těla. Zejména kvůli rozdílnému druhu oblečení a vůli v cívce navíjecího mechanismu bezpečnostních pásů však často dochází k mírné volnosti pásu. Tuto volnost bezpečnostních pásů právě eliminují manuálně, nebo lépe pyrotechnicky ovládané předpínače bezpečnostních pásů a usnadňují tak pásu co nejdříve zachytit tělo. K aktivaci předpínačů dochází prostřednictvím řídícího přístroje, nebo také často prostřednictvím řídící jednotky airbagů. Při pokynu k aktivaci airbagu je totiž současně vydán signál i k aktivaci předpínače bezpečnostního pásu. Dochází tak k aktivaci hnací plynové náplně, která při explozi uvede do pohybu píst s ocelovým lankem, který otáčí navíjecí cívku pásu a ta okamžitě bezpečnostní pás pevně dopne. Toto pevné dopnutí bezpečnostního pásu je také důležité pro rovnoměrnější zátěž těla v celém průběhu zachycení. Předpínače

bezpečnostních pásů také zajišťují zabránění nežádoucího pohybu těla při náraze takovým způsobem, aby se hlava a hrudník člověka zabořili do airbagu právě ve správný okamžik. Nejnovější generaci systému ochrany představují bezpečnostní pásy s předpínači, které pracují s explozivními látkami – pyrotechnicky.



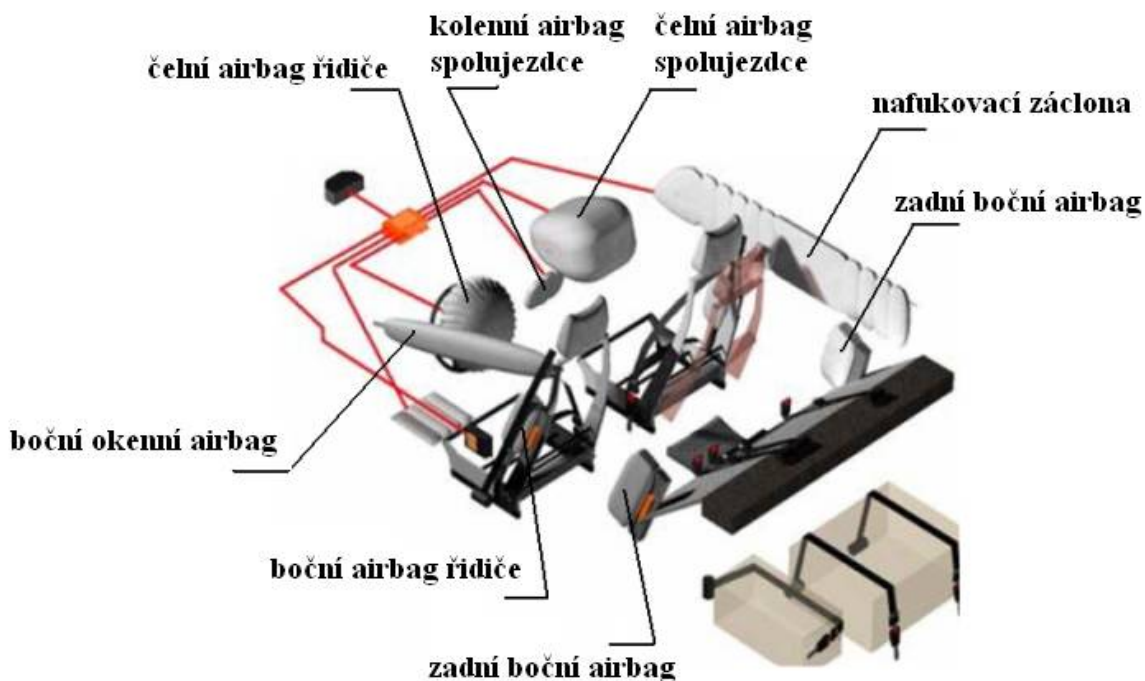
Obr. č. 4 – Pyrotechnický předpínač bezpečnostního pásu [10]

Z biomechanického hlediska je žádoucí, aby síla v bezpečnostním páse v průběhu srážky nepřekročila určitou hodnotu. K tomuto účelu se používají omezovače zádržné síly. Omezení síly je možné dosáhnout například speciálním švem bezpečnostního pásu, nebo plastickou deformací v navíječi prostřednictvím torzní tyče. [10]

Bezpečnostní pásy s předpínači v kombinaci s omezovači zádržné síly musí být navrhnuté tak, aby byly v souladu s prostorem, který je k dispozici ve vnitřním prostoru vozidla a především potřebným pro pohyb cestujících směrem dopředu.

V moderních automobilech se tak umisťují airbagy na další nejrozumnější kritická místa. Jde například o boční hlavové airbagy chránící hlavy posádky při bočním střetu, dále boční kolenní airbagy zmírňující poranění kolen nebo také boční airbagy pro oblast pánve a hrudníku. Objevují se i airbagy zabudované do bezpečnostních pásů.

Na obrázku č. 5 jsou znázorněny nejrozličnější druhy vnitřních airbagů chránících posádku vozidla. Původně byly v automobilech umísťovány jen airbasy chránící řidiče a spolujezdce při čelním střetu, tedy čelní airbasy. Postupem času se začaly airbasy umísťovat i na další místa chránící posádku vozidla i při jiných, než čelních střetech.



Obr. č. 5 – Různé druhy airbagů v interiéru vozidla [10]

K aktivaci airbagů je zapotřebí senzorů. Tyto senzory vyšlou signál řídicí jednotce o zpomalení. Pokud řídicí jednotka rozhodne o aktivaci airbagu, potom dojde k iniciaci rozbušky elektrickým impulsem a následné explozi rozbušky. Vzniklá exploze dále iniciuje pyrotechnickou nálož vyvíječe plynu, kterým se za krátký okamžik vzduchový vak nafoukne.

Nafukovací vaky se bezprostředně po nárazu automobilu nafouknou a vytvoří tak ochranou zónu chránící vybrané části lidského těla před přímým kontaktem s pevnými částmi interiéru. Tímto mohou snížit, nebo i úplně omezit možné zranění. Možnost vzniku zranění posádky vozidla je dále možno omezit vhodnou konstrukcí karoserie.

Mimořádně tuhá karoserie je základem bezpečnosti při všech typech nehod. V oblastech pro posádku je požadována pouze minimální deformace. Proto je zejména pro

tyto oblasti používáno vysokopevnostních materiálů a to pro dosažení dostatečné míry tuhosti karoserie. Vyžadována je proto robustní konstrukce prahů a sloupků.



Obr. č. 6 – Deformační zóny automobilu [4]

U moderních automobilů je díky přední a zadní části vozu, která je progresivně deformovatelná, zajištěn optimální průběh deformace k co největšímu pohlcení vzniklé energie při nárazu. Vhodnou konstrukcí přední a zadní části vozidla tak lze dosáhnout lepší ochrany prostoru pro cestující. Starší vozy měly špatné deformační zóny a docházelo tak k extrémně rychlému zpomalení při nárazu. Na cestující tak vyvíjely obrovské síly při nárazu.

Pro zabránění vniknutí motoru vozidla do prostoru pro posádku je požadována speciální konstrukce uložení motoru. Motor vozidla je tak v případě nárazu směřován do prostoru pod posádkou. [11]

1.2.2 Vnější pasivní bezpečnost

Tato bezpečnost automobilu je zaměřena na ostatní účastníky silničního provozu. Zejména se jedná o zmírnění následků poranění nejzranitelnějších účastníků silničního provozu, tedy chodců a cyklistů při střetu s automobilem. Tématu poranění chodců při těchto střetech bude v dalších částech práce věnována pozornost.

Kromě zmírnění následků střetu chodců a cyklistů s automobilem zahrnuje vnější pasivní bezpečnost automobilů i ochranu posádek ostatních vozidel. V tomto případě se jedná o tzv. nárazovou kompatibilitu. Například u nákladních automobilů je proto používáno prvků, které zabraňují podjetí osobního vozidla pod vozidlo nákladní.

Pro zvýšení bezpečnosti chodců jsou neustále hledány a vyvíjeny nejrůznější prvky pasivní bezpečnosti pro minimalizaci vzniku vážných následků vzájemné kolize.

K nejdůležitějším prvkům vnější pasivní bezpečnosti vozidel patří zejména následující prvky:

Systémy airbagů pro chodce

V minulosti se airbagy používaly jen pro ochranu posádky vozidla. Airbagy však mohou značně snížit riziko smrtelného zranění i pro ostatní účastníky silničního provozu a tak se na základě osvědčených vnitřních airbagů objevily i airbagy pro chodce. Proto také další možné využití těchto bezpečnostních prvků směřuje k ochraně zranitelných chodců. Na následujícím obrázku je znázorněn koncept od Toyoty chránící nejkritičtější místa při střetu vozidla s chodcem.



Obr. č. 7 – Systém airbagů Toyota [12]

Společnost Autoliv vytvořila systém ochrany chodců Pedestrian Protection Airbag (PPA). Společně s aktivní kapotou představuje tento systém pro chodce značnou šanci na přežití srážky s vozidlem při rychlosti do 40 km/h. Systém sestává z dvojice airbagů chránících na každé straně chodce před nárazem do A sloupku. V případě nárazu pošle senzor v předním nárazníku elektrický impuls, který aktivuje oba airbagy, společně s vystřelením aktivní kapoty.[13]

Aktivní kapota

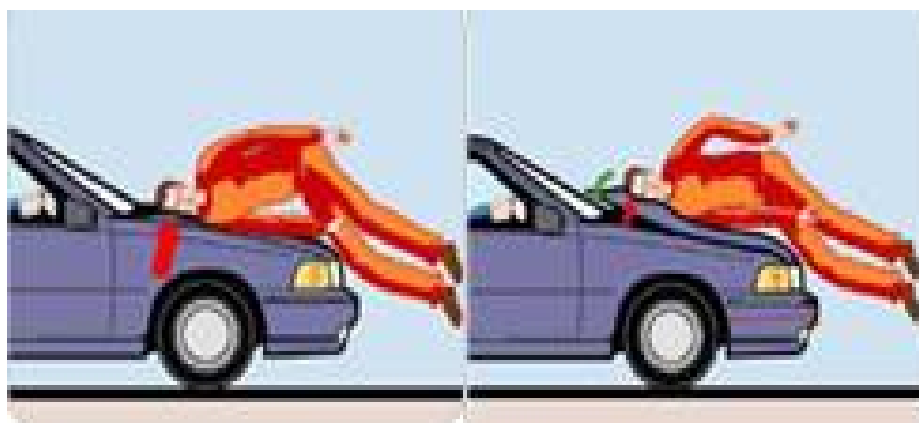
Aktivní kapota napomáhá chránit nejrizikovější partii lidského těla – hlavu člověka. Prostřednictvím aktivní kapoty je částečně omezen velmi rizikový náraz hlavy na pevnou část při průhybu kapoty až například na motor vozidla. Pro zmírnění následků nehody je tak v případě aktivní kapoty zvětšen prostor pro její deformaci.

System aktivní kapoty je založen na poměrně jednoduchém principu, kdy je v případě nárazu kapota motoru okamžitě a běžně o 10 centimetrů přizvednuta.[11] Tímto je zvětšen prostor pro měkký průhyb kapoty. Energie nárazu je lépe pohlcena a tak i část těla je lépe zabrzděna. Dochází tak k jistému menšímu namáhání této části těla a je zásadně zvětšena šance chodce na přežití.



Obr. č. 8 – Přizvednutá aktivní kapota [14]

Primárním cílem aktivní kapoty je tedy přizvednutí kapoty s cílem zvýšit rozdíl mezi kapotou a tvrdou strukturou pod ní. Dalším přínosem aktivní kapoty je zlepšení změny úhlu mezi kapotou a čelním sklem a dále i vykrytí tvrdého a velmi nebezpečného prostoru přechodu čelního skla na kapotu. Tyto přínosy aktivní kapoty jsou patrné z následujícího obrázku.



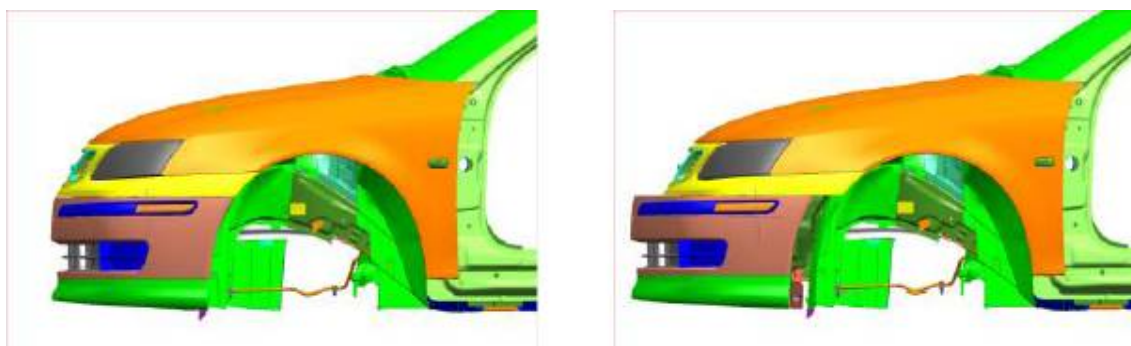
Obr. č. 9 – Srovnání nárazu chodce a vozidla bez aktivní kapoty a s aktivní kapotou [13]

Aktivní spoiler

Pro zmírnění nejčastějšího druhu poranění při nárazu automobilu s chodcem – poranění spodní končetiny lze docílit vysunutím předního spoileru až na úroveň nárazníku. Tímto je dosaženo větší styčné plochy prvotního kontaktu. Takto se sníží riziko značně komplikovaných zlomenin spodní části dolní končetiny z důvodu menšího ohybového momentu. [15]

Aktivní nárazník

Vysunutím celého nárazníku vpřed vznikne dodatečný prostor pro pohlcení energie nárazu. Při nárazu vozidla do chodce může tento prvek zabránit vážnějšímu poranění nohy chodce.



Obr. č. 10 – Aktivní nárazník [16]

Na následujícím obrázku je znázorněn detail vysunutého aktivního nárazníku vozidla Fiat Stilo při komplexním testu pro ochranu chodců. Z obrázku je také patrná přizvednutá kapota.



Obr. č. 11 – Aktivní nárazník vozidla Fiat Stilo [17]

Zaoblení vnějších hran

Riziko míry zranění chodce je možno minimalizovat eliminací ostrých hran a přechodů karoserie.

Tvary dveřních klik a stěračů

Vhodný tvar těchto součástí snižuje možnost tržných ran vzniklých při střetu s cyklistou nebo chodcem. Velmi nebezpečné jsou nezapuštěné dveřní kliky, které byly v minulosti na vozidlech používány. Na následujícím obrázku je znázornění srovnání nezapuštěné kliky vozidla Škoda Spartak (r.v. 1957) a zapuštěné kliky dveří vozidla Peugeot 205 (r.v. 1992).



Obr. č. 12 – Rozdílný tvar dveřních klik [autor]

Tvar přechodu kapoty na čelní sklo

Mimo zlepšení aerodynamického odporu je plynulý přechod kapoty motoru na čelní sklo významným prvkem omezujícím přímý náraz hlavy chodce do kapoty motoru, nebo čelního skla.

Pružné nárazníky

Nárazník je nejčastější místo prvního kontaktu s chodcem. Při tomto kontaktu dochází k nejčtetnějšímu poranění a to poranění spodní části dolní končetiny. Závažnost poranění dolních končetin nejsou tak závažného charakteru jako další zranění a to zejména velmi zranitelné hlavy. I přesto je však konstrukce nárazníku důležitá. Pro snížení rizika zranění chodce přispívá nárazník, který nevyčnívá až do oblasti kolen, ale pokryje co největší část v oblasti bérce člověka. Proto také důležitým konstrukčním prvkem přispívajícím ke snížení tohoto rizika zranění dolních končetin je měkčí nárazník. Měkčím nárazníkem dochází

ke zvýšení kontaktní plochy a tímto se omezí množství ohybu kolena změnou geometrie přední části vozidla.

Sklápěcí zrcátka

Tvar, použitý materiál a konstrukce zpětných zrcátek jsou taktéž důležitým prvkem vnější pasivní bezpečnosti vozidel. V minulosti bylo používáno nevhodných pevných kovových zrcátek, která mohla způsobit vážná tržná zranění.

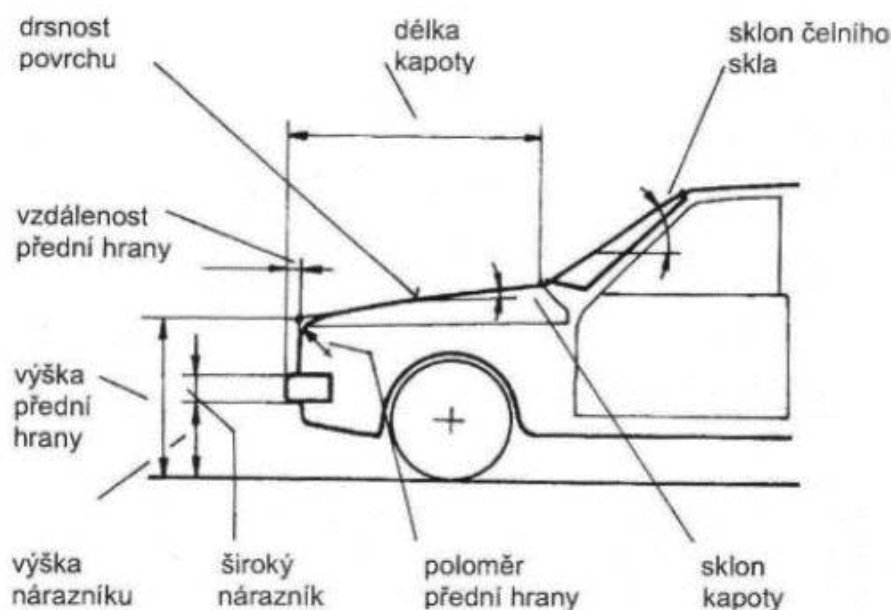
Kryty kol

Nevhodně vystouplé kryty kol z tvrdých plastových materiálů a s ostrými hranami mohou být příčinou vážného poranění nechráněných účastníků silničního provozu.

2 KONSTRUKCE A VYUŽITÍ PRVKŮ PASIVNÍ BEZPEČNOSTI PŘI KOLIZÍCH S CHODCI.

Konstrukce jednotlivých komponent automobilu musí splňovat řadu funkčních požadavků a podléhá náročným testům. Provádí se testování jak reálných prototypů, tak virtuální testování vlastností použitých materiálů a jejich zvolené konstrukce. Testování probíhá prostřednictvím nárazových impaktorů, které modelují jednotlivé části lidského těla. Místa dopadu impaktorů se nestanovují náhodně, ale jsou záměrně hledána kritická místa. Například u kapoty vozidla se jedná o prolisy, nebo o tvarování spodního výztužného plechu. Pro konstrukci jednotlivých prvků automobilu je důležité, aby tuhost nárazových oblastí nepřekračovala biomechanické limity pro jednotlivé části lidského těla.

Základní parametry přední části automobilu, které mají vliv na ochranu chodců, jsou znázorněny na následujícím obrázku. Jednotlivým částem automobilu bude dále věnována pozornost.



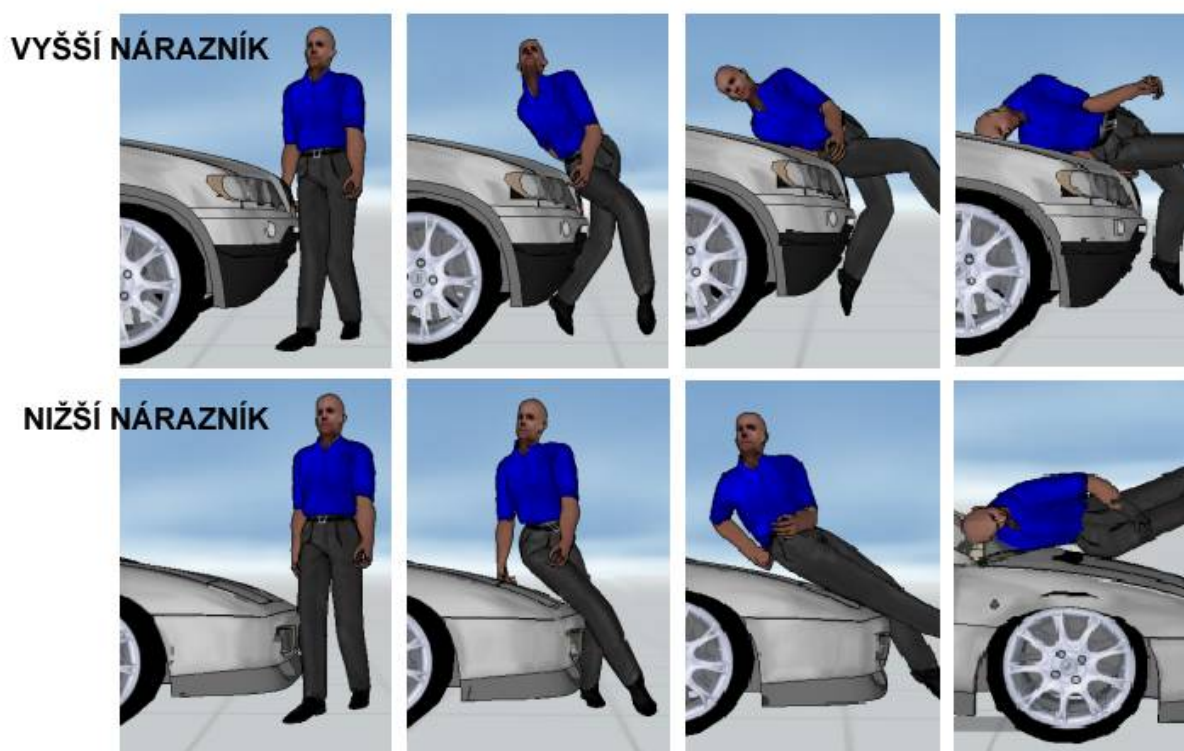
Obr. č. 13 – Základní parametry pro ochranu chodců [1]

2.1 KONSTRUKCE NÁRAZNÍKU

Díky počítačovým simulacím a vyšetřováním zraněných chodců je prokázáno, že auta s nižšími nárazníky přispívají k snížení pravděpodobnosti poranění vazů. Toto snížení možnosti zranění vazů je dáno z důvodu společné rotace stehen a dolní části končetin, protože

dochází k menšímu ohybu kolen. V případě nárazníků přesahujících výšku kolen dochází k opačným rotacím nohou a těla. [15]

Modelová simulace je znázorněna na následujícím obrázku. V horní řadě je znázorněn střet chodce s s vyšším automobilem SUV. Ve spodní řadě je znázorněn střet chodce s vozidlem s nižším nárazníkem.



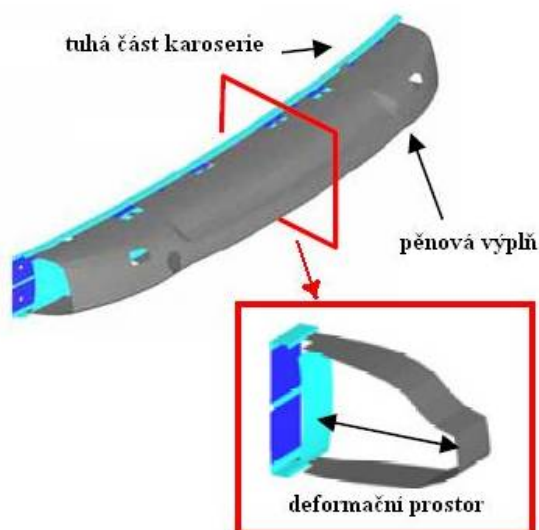
Obr. č. 14 – Více-polohová simulace

2.1.1 Deformační prvky nárazníku

Pro zvýšení bezpečnosti chodců je prostor za nárazníkem moderních vozidel doplněn konstrukčními prvky pohlcující energii vzniklou při nárazu. Jeden z těchto prvků je umístěn v oblasti holenní kosti a druhý v oblasti kolene dospělého člověka. Rozlišujeme zde tak horní a dolní energii absorbující prvek.

Horní deformační prvek nárazníku

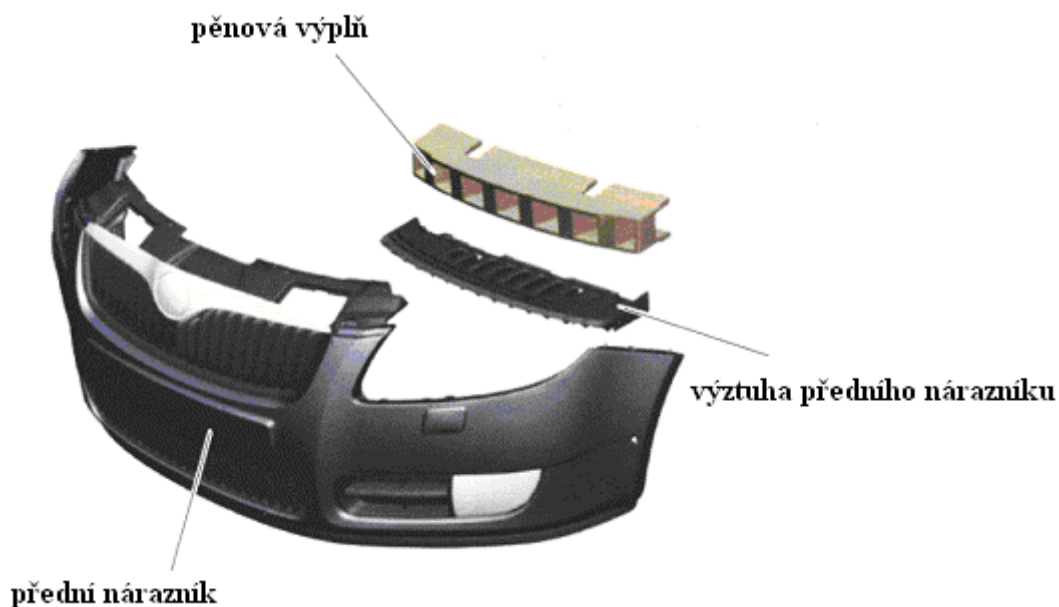
Doplňující, horní prvek nárazníku se umísťuje pod střední část nárazníku na pevnou součást karoserie, zpravidla na ocelový příčný nosník nárazníku. Je tvořen pěnovou výplní sloužící k pohlcení energie, která vznikla nárazem vozidla do chodce (viz. obrázek č. 15). Progresivnějším pohlcením vzniklé energie dochází při menších rychlostech k žádanému předcházení možného vážného zranění chodce.



Obr. č. 15 – Horní deformační prvek předního nárazníku[18]

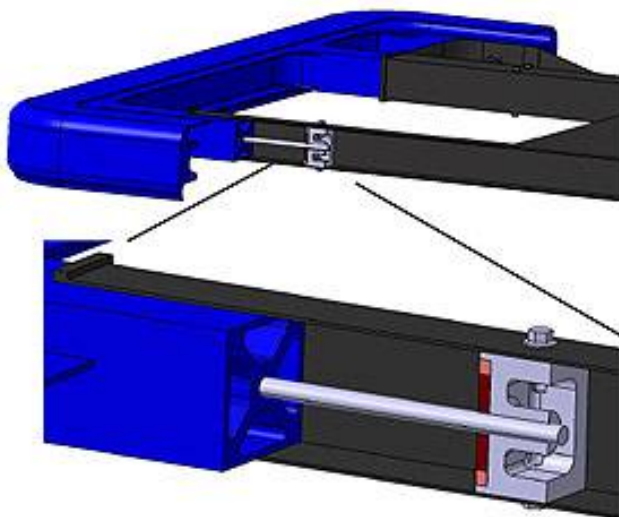
Spodní deformační prvek nárazníku

Druhým používaným konstrukčním prvkem předních nárazníků pro zvýšení bezpečnosti chodců je plastová výztuha nárazníku. Tato výztuha se umísťuje do spodní části nárazníku z důvodu celkové zvýšení tuhosti nárazníku. Úkolem tohoto prvku je zamezit ohybu kolene. Při střetu vozidla s chodcem je tak díky této výztuze dosaženo sražení chodce na kapotu vozidla. V opačném případě by mohlo dojít k nežádoucímu sražení chodce pod kola vozidla a dojít k mnohem vážnějšímu poranění chodce.



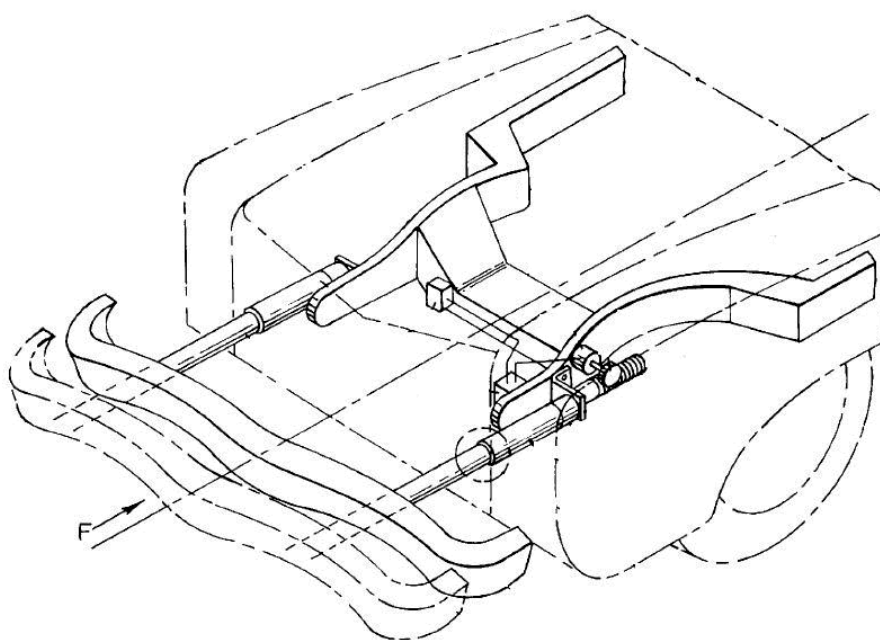
Obr. č. 16 – Pěnová výplň a plastová výztuha nárazníku vozidla Škoda Roomster [11]

Pro minimalizaci vzniku poranění při střetu vozidla s chodcem lze použít energii absorbujícího nárazníku následující konstrukce (obr. č. 17). Při nárazu dochází k zasunutí nárazníku do jeho nosné konstrukce. Tímto je dosaženo zvětšení prostoru pro absorpci energie vzniklé při nárazu.



Obr. č. 17 – Konstrukce energie absorbujícího předního nárazníku [18]

Další z možných konstrukčních řešení energie absorbujícího předního nárazníku je znázorněno na obr. č. 18. Prostřednictvím dvou stlačitelných tlumičů je lépe vstřebán střet vozidla s překážkou.



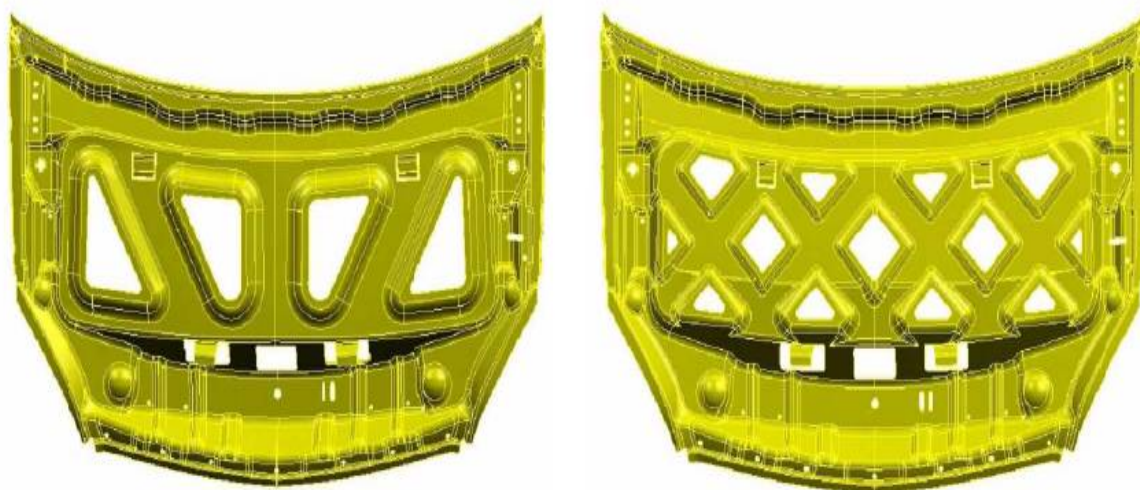
Obr. č. 18 – Konstrukční řešení energie absorbujícího nárazníku [19]

2.2 KONSTRUKCE KAPOTY

Kapota představuje v případě střetu vozidla s chodcem jednu z nejdůležitějších oblastí automobilu. Na oblast kapoty dopadá v drtivé většině hlava chodce. Pro zmírnění následků nehody s chodcem nesmí dojít k průhybu kapoty motoru až na pevnou část pod kapotou. V takovém případě má charakter poranění hlavy často fatální – smrtelné následky. Pro konstrukci kapoty je tedy důležitá vhodná poddajnost a dále mezera mezi kapotou a pevnými součástmi motoru. Tato mezera při vzdálenosti například 10 cm významně snižuje riziko smrtelného zranění. Vytvářet dostatečný prostor pod kapotou motoru však není vždy jednoduché a to z různých konstrukčních omezení, například z důvodu aerodynamiky nebo vzhledových požadavků na kapotu. Toto omezení je však možno potlačit aktivní kapotou, které bude věnována pozornost dále.

Požadavky na poddajnost kapoty:

Především přední část kapoty by měla být tvořena poddajným materiálem, zejména z důvodu ochrany dětí. Kvůli častému nárazu horní části nohy do hrany kapoty je důležité konstruovat tuto hranu takovým způsobem, aby se po nárazu dostatečně deformovala. Délka kapoty by měla být co nejdelší z důvodu zabránění naražení hlavy chodce na tuhou oblast rámu čelního skla. Důležitá je i vnitřní konstrukce výztuh kapoty. Tradiční konstrukce je znázorněna na obrázku č. 19 vlevo. V tomto případě se jedná o méně vhodnou konstrukci z důvodu menší jednotnosti celkové tuhosti kapoty. Vhodnějšího výsledku je možné dosáhnout zvýšením počtu žeber. [20] (viz. obrázek č. 19 vpravo)



Obr. č. 19 – Klasický a vylepšený vnitřní profil kapoty [20]

Optimalizovaný vnitřní profil kapoty je také patrný z následujícího obrázku. Na obrázku je vyobrazena inovovaná kapota automobilu Ford Focus C-Max.

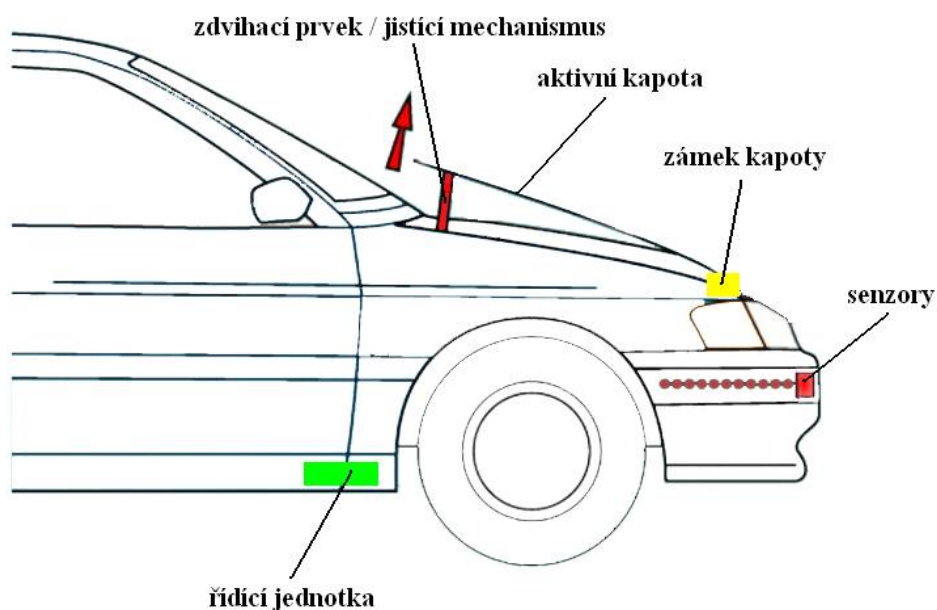


Obr. č. 20 – Vnitřní profil kapoty Ford Focus C-Max [20]

Z konstrukčních požadavků na tvar kapoty by neměla být výška přední hrany extrémně malá, nebo extrémně vysoká. Nízká poloha přední hrany má totiž za následek větší točivý impuls. Tímto je způsobeno větší natočení chodce a je tak i zvětšeno nebezpečí nárazu hlavy chodce na vozovku. Dále by neměl být sklon kapoty zbytečně veliký. Pro bezpečnost chodců je udáván vhodný sklon kapoty 0 až 6°. [1]

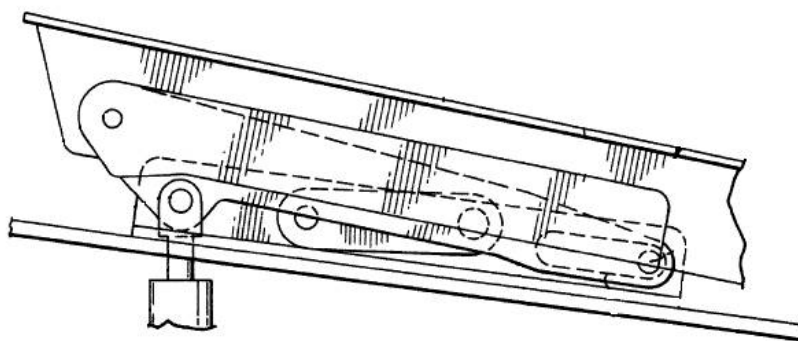
2.3 AKTIVNÍ KAPOTA

Systém aktivní (zdvihací) kapoty je založen na poměrně jednoduchém principu. V přední části nárazníku jsou umístěny senzory pro vyhodnocení nárazu. V případě rozpoznání srážky s chodcem je okamžitě poslán signál k aktivaci zdvihacích prvků, které přizvednou zadní část kapoty.



Obr. č. 21 – Prvky systému aktivní kapoty

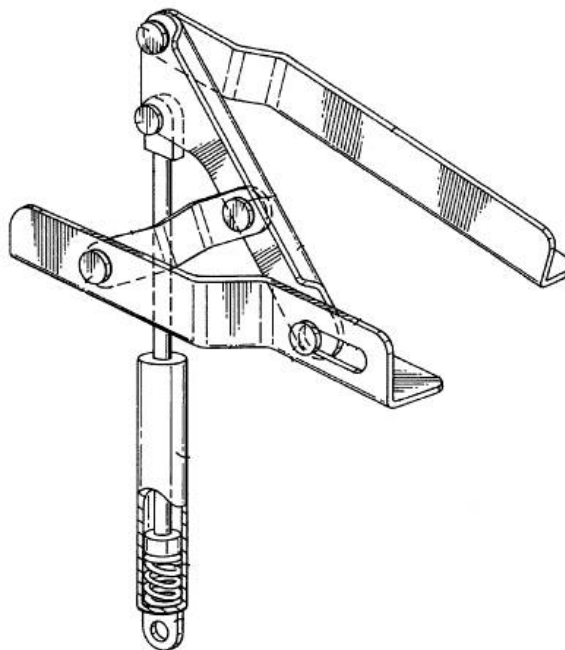
Zdvihací prvky aktivní kapoty jsou aktivovány signálem z řídící jednotky. V tomto případě je uvolněn jistící mechanismus. Okamžitě tak dochází k odblokování kapoty a jejímu zajištění proti zpětnému pohybu.



Obr. č. 22 – Jistící mechanismus aktivní kapoty v klidové poloze [21]

Zdvihací prvky kapoty jsou nejrůznějších konstrukcí. Mohou být v provedení stlačených měchů, které jsou v případě potřeby okamžitě naplněny plynem od plynových generátorů. Dále se používá stlačených vinutých pružin, nebo například předejatých torzních tyčí. Na následujícím obrázku je znázorněn zdvihací prvek a jistící mechanismu v horní

poloze, tzn. při nadzvednuté kapotě. Při této poloze je uvolněna ze základní polohy stlačená vinutá pružina.

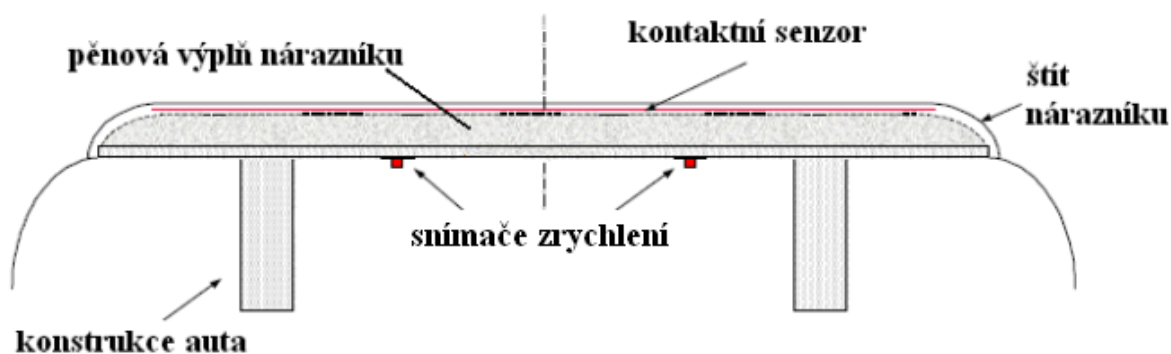


Obr. č. 23 – Zdvihací prvek aktivní kapoty v odjištěné poloze [21]

V případě nárazu vozidla s aktivní kapotou do pevné překážky, například do zdi by s pootevřenou kapotou docházelo k nežádáným větším deformacím a posádka by byla vystavena závažnějším poraněním. Proto je nutné vyhodnotit informace o nárazu takovým způsobem, aby celý systém aktivní kapoty byl schopen rozlišit náraz do jednotlivých překážek. V případě potřeby tak lze přizvednutí aktivní kapoty deaktivovat. K vyhodnocení nárazu se používají dva odlišné principy detekce. Jeden z těchto principů je tvořen prvky membránových spínačů. Druhá možnost rozpoznání střetu s chodcem je založena na systému optických vláken.

Detekce nárazu prostřednictvím membránových snímačů.

Senzorový systém membránových snímačů se skládá ze dvou různých komponentů. Jedním z těchto komponentů je membránový snímač, který pokrývá celou délku nárazníku a je umístěn v pěnové výplni uvnitř plastového krytu nárazníku. Dále jsou na zadní straně nárazníku umístěny dva snímače zrychlení.



Obr. č. 24 – Pozice senzorů v nárazníku [22]

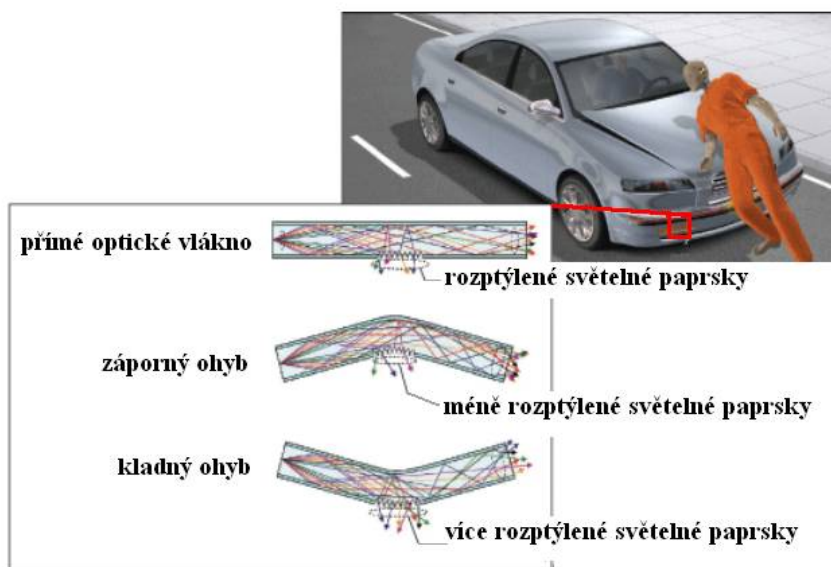
Kontaktní senzor je umístěn v pásu a je rozdělen na jednotlivé části po 100 mm. Každá část pásu kontaktního senzoru je dále rozdělena na soustavu vypínačů, které vysílají signál, pokud je detekován náraz. Tímto je vyhodnocen prvotní údaj o šířce objektu při nárazu. Pro aktivaci aktivní kapoty je dále zapotřebí získat informaci o tom, jestli se jedná o náraz například do kovové tyče, nebo nohy člověka. Z tohoto důvodu jsou zde umístěny snímače zrychlení.

Snímače zrychlení jsou umístěny 250 mm na každé straně od osy vozidla. Toto rozložení je zvoleno za účelem získání co nejlepších informací o místě nárazu, bez ohledu na přesném místě nárazu. Z maximální hodnoty zrychlení a doby od prvotního nárazu detekovaného kontaktním senzorem je vyhodnocena informace o tuhosti objektu. V případě vyhodnocení nárazu do kovové tyče je tak zabráněno nežádoucímu přizvednutí aktivní kapoty.

Detekce nárazu prostřednictvím optických vláken.

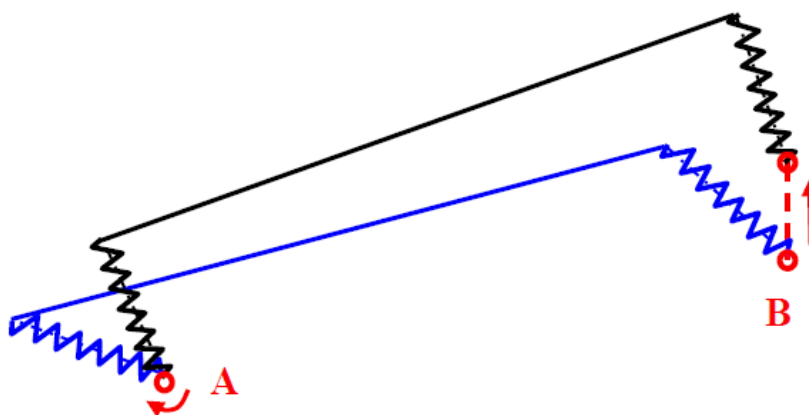
Systém optických vláken je tvořen LED diodami, které vyzařují světelné impulsy. Detekci světelných impulsů zajišťuje fotodioda, jejímž úkolem je převést světelné impulsy na elektrický signál. Elektrický signál je přenášen pomocí optických vláken. Tyto vlákna jsou citlivá na ohyby a mechanická namáhání. Záporné a kladné ohyby lze odlišit díky horšímu a lepšímu přenosu světla v porovnání s přímým vedením. (viz. obr. č. 25) Optická vlákna jsou vedle sebe umístěna paralelně a lze díky nim vytvořit pás určité šířky. V řídicí jednotce se vyhodnotí takto získané informace a z paralelně vedených vláken lze identifikovat objekt, s kterým se vozidlo střetlo. Pokud systém rozpozná například kovovou trubku, potom zůstane

aktivní kapota deaktivována. V případě, že je detekován náraz chodce do vozidla, tak je vydán impuls k aktivaci přizvednutí kapoty vozidla.



Obr. č. 25 – Rozptyl světelných paprsků při různých ohybech [23]

Pohyb kapoty je znázorněn dvěma pohyby na následujícím obrázku. Přizvednutím zadní části kapoty z bodu B dochází k zajištění kapoty jistícím mechanismem v horní poloze. Současně dochází k mírnému vysazení přední části kapoty (A). Mírným vysazením přední části kapoty se zvyšuje vzniklý deformační prostor.

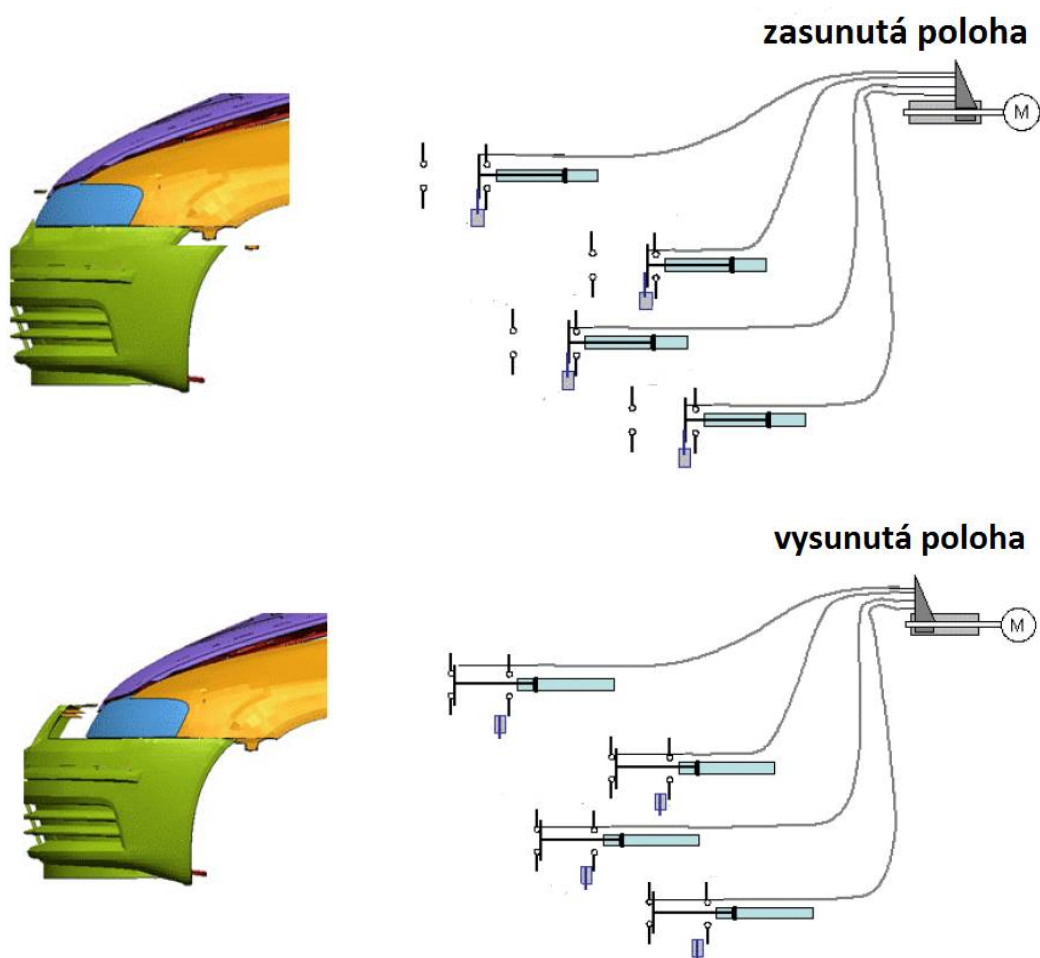


Obr. č. 26 – Mechanismus aktivní kapoty [24]

2.4 AKTIVNÍ SPOILER A NÁRAZNÍK

Pro zvýšení bezpečnosti chodců je možné použít buď aktivní spoiler, nebo aktivní nárazník. Vysunutím aktivního spoileru, nebo nárazníku lze dosáhnout zvětšení deformačního prostoru.

Na následujícím obrázku je znázorněn posun aktivního nárazníku směrem dopředu. Vysunutí nárazníku je možno zajistit několika rozdílnými způsoby. Používá se například posouvání prostřednictvím pneumatických válců, nebo je také možno vysunutí nárazníku zajistit elektrickými motorky. Na obrázku č. je znázorněno vysunutí aktivního nárazníku prostřednictvím čtyř plynových/pružinových jednotek.



Obr. č. 27 – Plynové pružiny pro aktivaci aktivního nárazníku [25]

Automobilka Fiat ve spolupráci s technickou univerzitou Chalmers vyvinula tento koncept aktivního nárazníku. Prostřednictvím jednoduchých senzorů je v případě rozpoznání střetu vozidla s chodcem vydán impuls z elektromotoru, který aktivuje čtyři

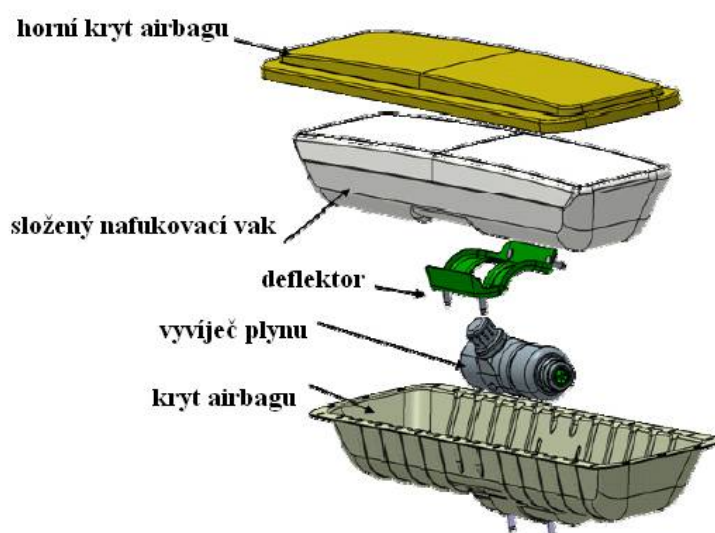
plynové/pružinové jednotky. Dochází k uvolnění zámků dolních dorazů čtyř vysouvacích prvků, které okamžitě poskočí do vysunuté polohy. Tyto prvky aktivního nárazníku slouží také jako tlumič k lepší absorpci energie vzniklé při nárazu.

2.5 SYSTÉMY AIRBAGŮ PRO CHODCE

Konstrukce airbagů pro chodce vychází z osvědčených vnitřních airbagů chránící posádku vozidla. Snahou je umístit airbasy pro chodce na ta místa, kde je obtížná jakákoliv jiná ochrana. Jde především o čelní sklo a A-sloupky. Pevná konstrukce čelního skla a A-sloupků je důležitým prvkem pasivní bezpečnosti pro ochranu posádky. V těchto místech se tak objevují protichůdné požadavky na konstrukci. Na rozdíl od posádky vozidla představuje pro chodce tato tuhá konstrukce značné riziko vážného poranění. K zamezení styku chodce s touto oblastí jsou tak právě vhodné systémy airbagů pro chodce, díky kterým je možno tato místa překrýt.

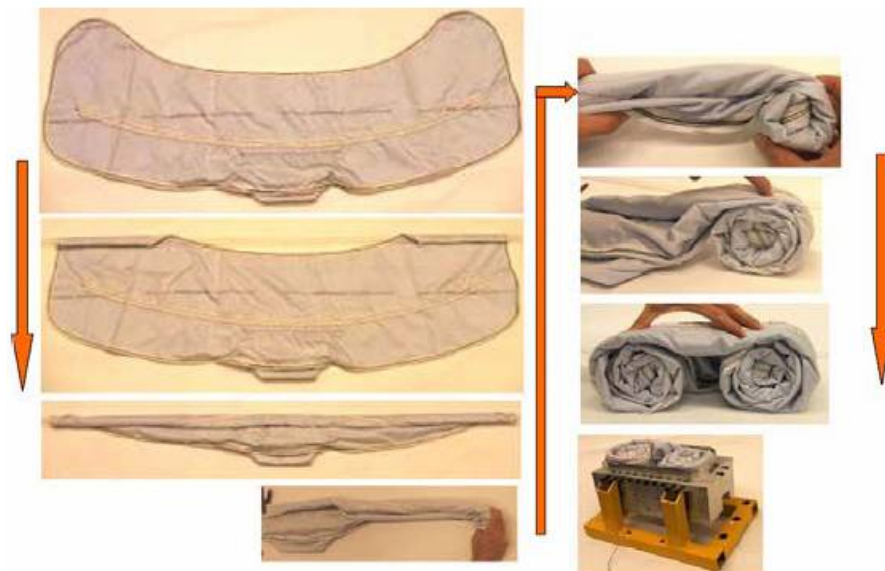
Komponenty systému airbagu pro chodce

Systém airbagu pro chodce je tvořen z následujících komponentů.(obr. č. 28) Jedním ze základních komponentů je vyvíječ plynu. Vyvíječ plynu je jištěn deflektorem a v případě potřeby je tímto prvkem vyvíječ plynu odjištěn. V tomto případě dochází k okamžitému nafouknutí složeného nafukovacího vaku. Na obrázku je znázorněn nafukovací vak pro chodce, který se umísťuje pod kapotu vozidla. V případě aktivace tohoto airbagu dochází taktéž k přizvednutí aktivní kapoty, pokud je vozidlo tímto systémem vybaveno.



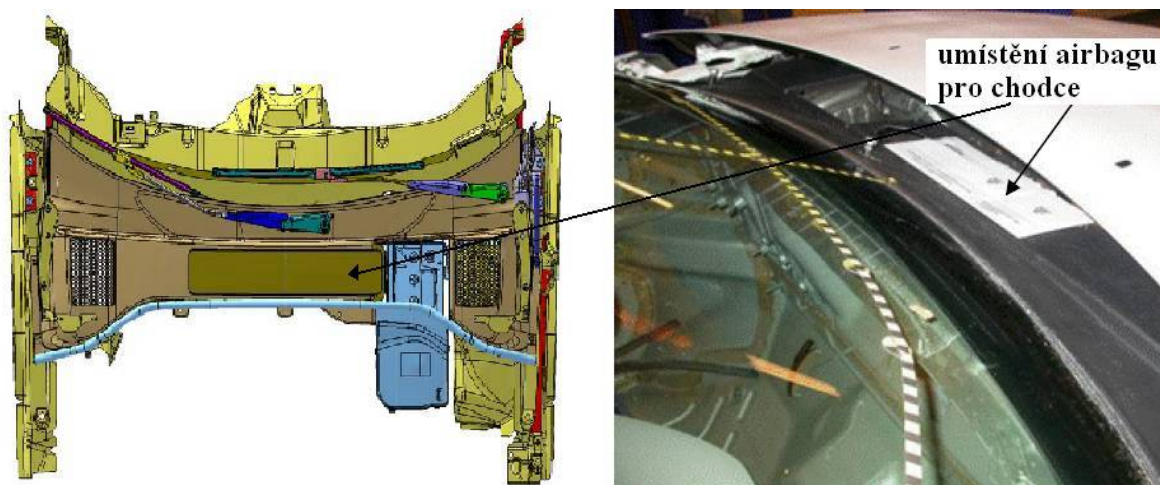
Obr. č. 28 – Komponenty systému airbagu pro chodce [26]

Na následujícím obrázku je znázorněn proces složení nafukovacího vaku pro ochranu chodců do krytu airbagu a držáku celého modulu airbagu. Zobrazený nafukovací vak má protažené límce pro vykrytí pro chodce nebezpečného prostoru v oblasti „A“ sloupků vozidla.



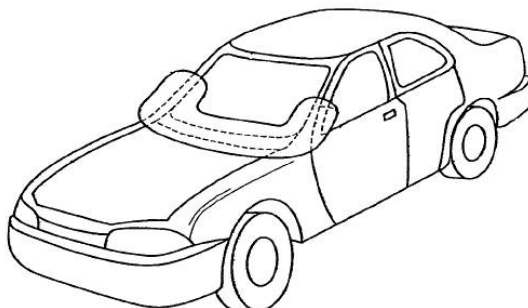
Obr. č. 29 – Proces složení nafukovacího vaku do upevňovací konzole [26]

Celá konzole airbagu pro chodce je pevně umístěna mezi čelní sklo a kapotu automobilu. Z tohoto důvodu je poměrně obtížné umístit celý modul airbagu do již vyrobených vozidel bez tohoto ochranného prvku pro chodce. V uvedené oblasti by bylo potřeba vyřešit specifické uložení stěračů, a dále případně změnit uložení posilovače brzd, nebo nádrže brzdové kapaliny, které bývají často v těchto místech umístěny.



Obr. č. 30 – Umístění konzole airbagu pro chodce [26]

Jak již bylo výše uvedeno, pro chodce je značným rizikovým prvkem tuhá konstrukce čelních „A“ sloupků. Protážením límců nafukovacího vaku lze docílit zakrytí těchto nebezpečných míst. Protážení límců nafukovacího vaku airbagu je patrná z následujícího obrázku.



Obr. č. 31 – Aktivovaný nafukovací vak [34]

Protože i čelní sklo je samo o sobě deformovatelné, pohlcuje energii a tak v kombinaci s airbagy v A sloupcích tvoří poměrně efektivní ochranu chodců.

2.6 TVAR PŘÍDĚ VOZIDLA

Tvar přídě vozidla se postupem času mění nejen z důvodu vzhledových trendů, ale mimo jiné také z důvodu zvýšení bezpečnosti nechráněných účastníků silničního provozu. Na následujícím obrázku je možno porovnat nevhodný tvar přední části automobilu totožného modelu z 80. let a bezpečnosti lépe přizpůsobeným nárazníkem moderního modelu Volkswagen Golf.



Obr. č. 32 – Srovnání vývoje automobilu VW Golf [27]

Pro bezpečnost chodců je ze srovnání čelních částí automobilu nejvíce patrný tvar předního nárazníku. U starého modelu je jeho tvar velmi nebezpečný pro chodce z důvodu

většího ohybového momentu, který bude v případě srážky na chodce působit. Dalším nevhodným prvkem starého modelu je velmi ostrá hrana přechodu čelní masky na kapotu motoru. Zlepšení tvaru přidě lze také pozorovat na světlech, která jsou u novějšího modelu vhodněji zaoblena. Pro bezpečnost chodců je rovněž důležitý i tvar zpětných zrcátek, která jsou u novějšího modelu lépe deformovatelná.

Některé světlomety jsou přizpůsobeny střetům s chodci. Na obrázku č. 33 je znázorněn světlomet automobilu Citroen C4. Světlomety tohoto automobilu jsou navrženy s ohledem na možné střety s chodci a v případě střetu jsou schopny absorbovat část vzniklé energie. Světlomety jsou uchyceny ve speciálních držácích, které svou konstrukcí umožňují pohyb dozadu a do strany.



Obr. č. 33 – posunovatelné upevňovací body automobilu Citroën C4 [18]

Se stejným cílem – poskytnout chodci dodatečný prostor pro absorpci vzniklé energie při nárazu mohou být ve speciálních posunovatelných držácích umístěny i další části automobilu. V případě Citroënu C4 jsou kromě předních světel posunovatelně připevněny i přední blatníky.

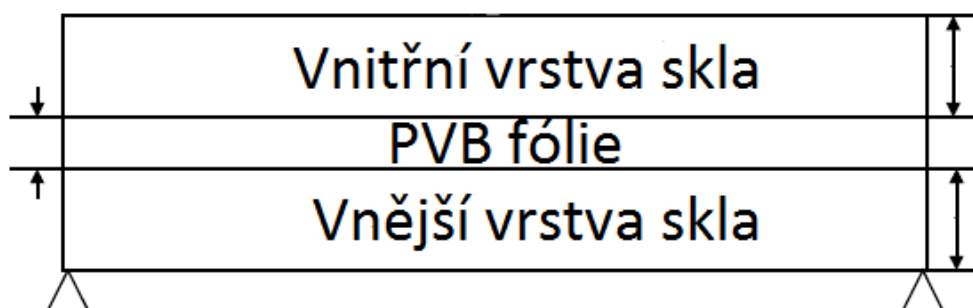
Na obrázku č. 34 je znázorněno testování makety nohy. V počátečním stavu jsou světlomety a blatníky v klasické poloze. Při nárazu jsou však oba díly díky speciálním posunovacím držákům mírně posunuty dozadu.



Obr. č. 34 – Kinematika světlometu a blatníku Citroënu C4 [18]

2.7 KONSTRUKCE ČELNÍHO SKLA

Vhodná konstrukce čelního skla je důležitá z důvodu častého smrtelného poranění hlavy v případě střetu automobilu s chodcem. Požadavkem na čelní sklo je jeho zaoblený tvar v půdorysu a plochý sklon. Struktura čelního skla je znázorněna na obrázku č. 35. Pro čelní sklo se používá vrstvené sklo. Na obrázku je znázorněno čelní sklo, které je tvořeno dvěma vrstvami skla. Mezi obě skla je vložena plastová fólie, která spojuje obě vrstvy skla a v případě nárazu drží úlomky skla pohromadě. Tímto zabraňuje vzniku řezných poranění pro posádku i chodce.



Obr. č. 35 – Struktura čelního skla

Výhodou vrstveného skla je také dostatečný výhled při prasknutí skla. Díky fólii dochází k lepšímu pohlcení energie z důvodu roztahení fólie.

Pro ochranu chodců navrhla organizace Cranfield Impact Center (CIC) speciální konstrukci pro umístění čelního skla se zlepšenými deformačními vlastnostmi. Mezi sklo a rám automobilu je vložen kovový pás ve tvaru písmene „Z“. Tento prvek umožňuje pružně přizpůsobit čelní sklo a tím je schopno absorbovat více energie v případě nárazu.



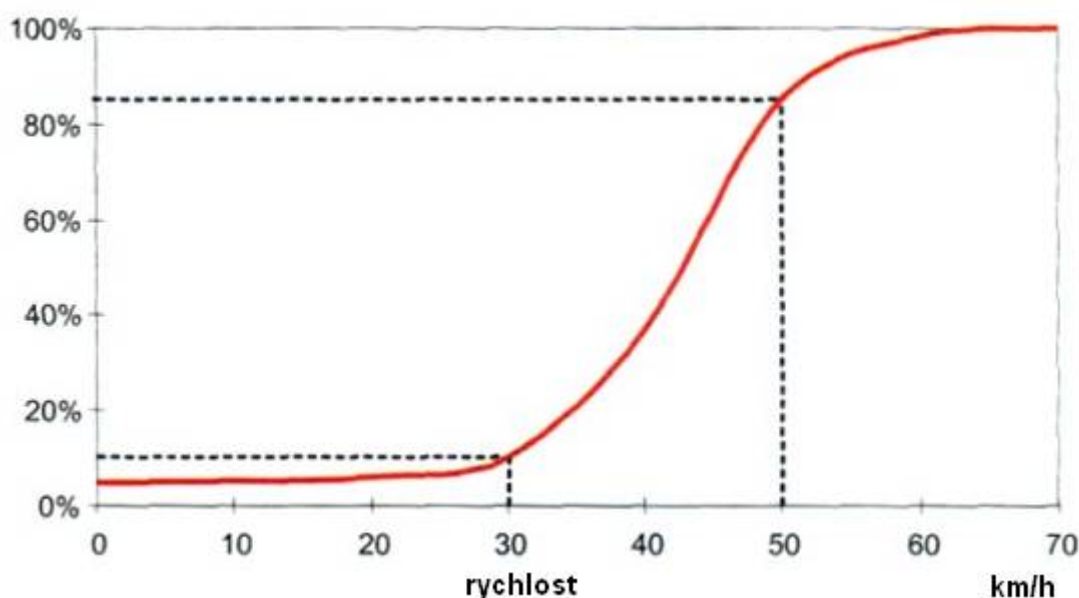
Obr. č. 36 – Systém energii pohlcujícího čelního skla [17]

3 DOPRAVNÍ NEHODY S CHODCI

Nejčastější příčinou dopravních nehod s chodci je náhlé vstoupení chodce do vozovky. Často je to z důvodu, že se chodec nesprávně domnívá, že má na přechodu absolutní přednost. Přednost chodce je však v některých případech omezena. Například pokud automobil jede tak rychle, že by nestačil zastavit, tak by chodec z vlastního zájmu neměl do vozovky vkročit. Dále by neměl na cestu vcházet, pokud se k přechodu blíží vozidlo s výstražným majákem, nebo tramvaj. Bohužel ani řidiči vozidel nemají v otázce, kdy jsou povinni dát chodci přednost vždy jasno. Zejména se jedná o situace na světelných křižovatkách. Řada řidičů si myslí, že pokud vjedou do křižovatky na zelenou a odbočují vpravo, nebo vlevo, tak mají automaticky před chodci křižujícím jejich směr přednost. Řidič však musí dát chodci přednost a nechat jej bezpečně přejít na druhou stranu vozovky.[27]

3.1 STŘETY VOZIDLA S CHODCEM

Střet vozidla s chodcem má často fatální následky. Je prokázáno, že negativní následky střetu vozidla s chodcem značně vzrůstají se zvyšující se rychlostí vozidla.



Obr. č. 37 – Pravděpodobnost smrtelného zranění chodců při kolizi s vozidlem [29]

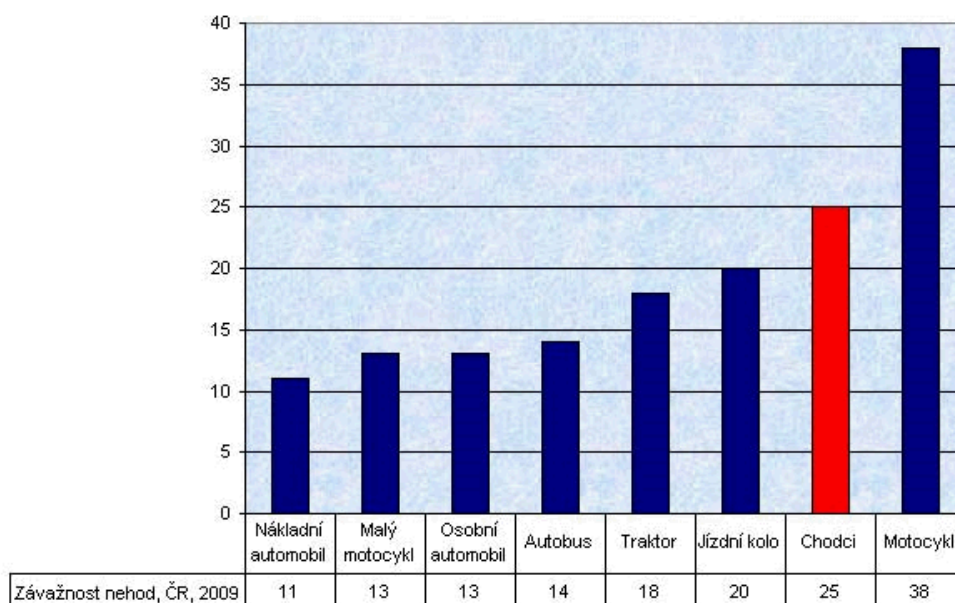
Z grafu vyplývá zvyšující se pravděpodobnost usmrcení chodce se zvyšující se rychlostí. Ze zkoumání střetu chodce a osobního automobilu byl zjištěn výsledek, že 90 % chodců přežije náraz s osobním automobilem při rychlosti 30 km/h. Při rychlosti vozidla 50

km/h se šance na přežití rapidně sníží na pouze 20%. Z hodnot grafu je taktéž patrné, že šance člověka na přežití je při rychlosti 40-50 km/h 50 %. Tato skutečnost byla důvodem k zavedení nejvyšší dovolené rychlosti v obci na 50 km/h.

Z uvedeného přehledu lze říci, že k dopravním nehodám s chodci dochází mimo špatného chování chodců také z důvodu jejich neznalosti pravidel provozu na pozemních komunikacích. Ze statistik Ministerstva dopravy ČR dále vyplývá, že jen za rok 2009 zapříčinili chodci pod vlivem alkoholu téměř 16 procent z celkového počtu dopravních nehod zaviněných chodci. Jak již bylo uvedeno výše, nejčastější příčinou nehod vozidel s chodci je nenadálé vstoupení chodce do vozovky a právě v tomto případě představuje alkohol významnou roli.

Mimo dopravních nehod motorových vozidel s chodci, které způsobí sám chodec dochází mnohem častěji k nehodám vozidel, které zaviní řidič vozidla. Za rok 2009 bylo těchto nehod 3619, proti 1304 nehodám, zaviněných chodci. Jen za rok 2009 došlo na přechodech pro chodce z důvodu nedání přednosti chodci na přechodu pro chodce k 949 nehodám. Při těchto nehodách bylo 16 osob usmrceno, 219 zraněno těžce a 734 zraněno lehce. Žádné zranění neutrpělo pouze 35 chodců. [30],

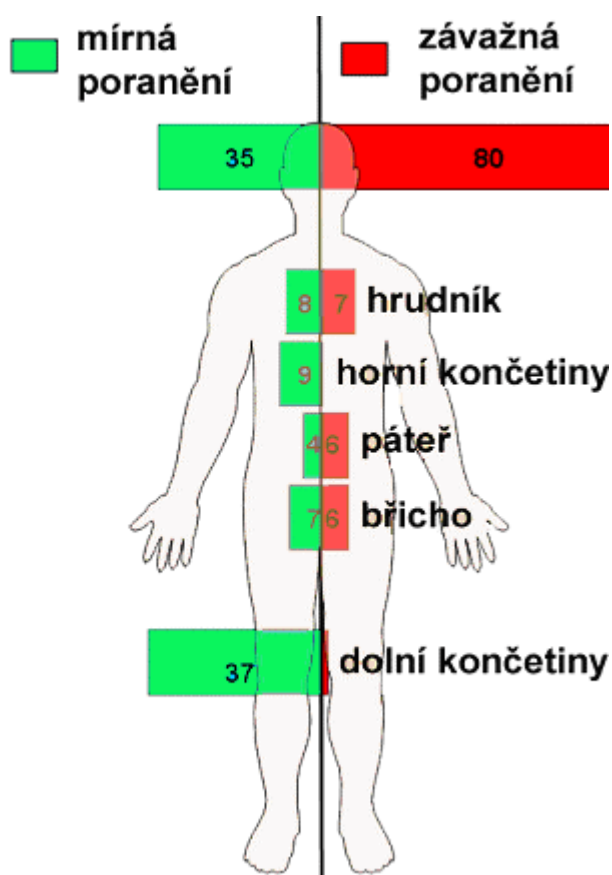
Závažnost dopravních nehod chodců byla v roce 2009 2. nejvyšší hned po závažnosti dopravních nehod motocyklů.



Obr. č. 38 – Závažnost dopravních nehod[30]

Z uvedeného srovnání závažnosti dopravních nehod² vyplývá, že dopravní nehody s chodci jsou téměř dvojnásobně závažnější než dopravní nehody osobních automobilů.

Téměř 35 procent zaviněných nehod chodců s automobily bylo v roce 2009 zapříčiněno dětmi. [2] Díky zúženému perifernímu vidění nejsou děti schopny zrakem zachytit projíždějící vozidla tak jako dospělý člověk. Dalším rizikovým faktorem u dětí je jejich menší tělesný vzrůst a tím i omezenější výhled na vozovku. Na druhou stranu je tak i pro řidiče dítě hůře viditelné. Hlavním důvodem častých střetů vozidel s dětmi je však skutečnost, že si děti často neuvědomují a nechápou vlastní ohrožení v silničním provozu. Mnohdy přebíhají nebo přechází přes cestu bez ohledu na provoz na komunikaci. [31]



Obr. č. 39 – Podíl poranění jednotlivých částí těla chodce[15]

Při střetu vozidla s chodcem je nejčastější poranění dolních končetin (37 %). Druhým nejčastějším poraněním je poranění hlavy (35 %). Dále jsou zraněním vystaveny dolní končetiny (9%), břicho (8%) a páteř (4%). Následky poranění hlavy jsou nejzávažnějšího

² Závažnost dopravních nehod se udává jako podíl usmrcených na 1000 dopravních nehod.

charakteru v případě poranění hlavy a to až z 80 %. Zamezení vzniku poranění velmi choulostivé hlavy je proto věnována zvýšená pozornost. Všechny uvedené hodnoty byly zjištěny na základě průzkumu čtyř vyspělých států světa (USA, Japonska, Austrálie a Německa).[15]

V případě střetu chodce a vozidla dochází nejčastěji k prvotnímu kontaktu u dospělého člověka v oblasti kolene a spodní části nohy. U dětí je místo kontaktu závislé na věku, obvykle toto místo může být až po hrudník dítěte.

3.2 POROVNÁNÍ MODELOVÝCH SITUACÍ STŘETU VOZIDLA S CHODCEM A JEJICH DŮSLEDKY

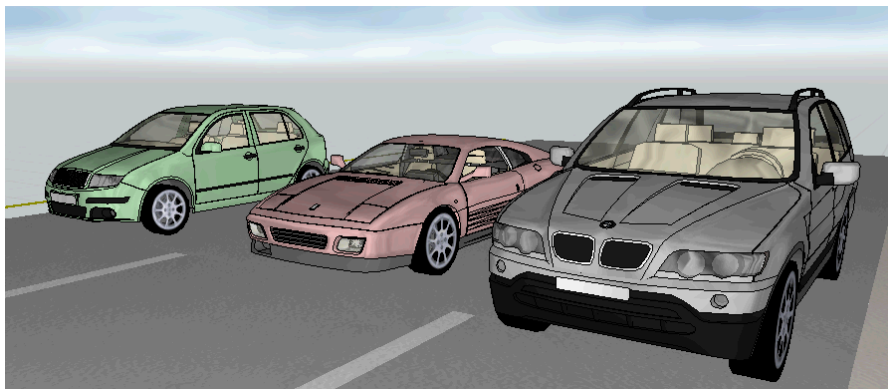
Účast chodců při dopravních nehodách s automobily lze rozdělit do několika hlavních příčin a to zejména: [32]

- Chůze zády ke směru projíždějící dopravy,
- vkročení do vozovky z řad vozidel,
- přecházení mimo přechod pro chodce,
- čekání na vozovce,
- náhlé vkročení na přechod pro chodce,
- ignorování dopravních signálů,
- špatný odhad vzdálenosti a rychlost projíždějícího vozidla,
- zbrklé a spontánní chování,
- hra na vozovce.

Vybraným situacím bude dále věnována detailnější pozornost při modelové situaci nehodového děje ve virtuálním prostředí programu Virtual CRASH. Modelové situace jsou zaměřeny na nejzranitelnější partii lidského těla – hlavu člověka. Pro porovnání modelových situací jsou zvolena 3 různá osobní vozidla odlišných kategorií. Záměrně je zvolen klasický osobní, SUV a sportovní automobil.

Zvoleným zástupcem klasického osobního automobilu je Škoda Fabia s motorem o zdvihovém objemu 1.0 a hmotnosti 1050 kg. Dále je simulacím podrobena vozidlo kategorie SUV a to BMW X5 o zdvihovém objemu 3.0d a hmotnosti 2230 kg. Posledním

zvoleným porovnávaným vozidlem je vozidlo sportovní kategorie a to Ferrari F348 o hmotnosti 1450 kg.

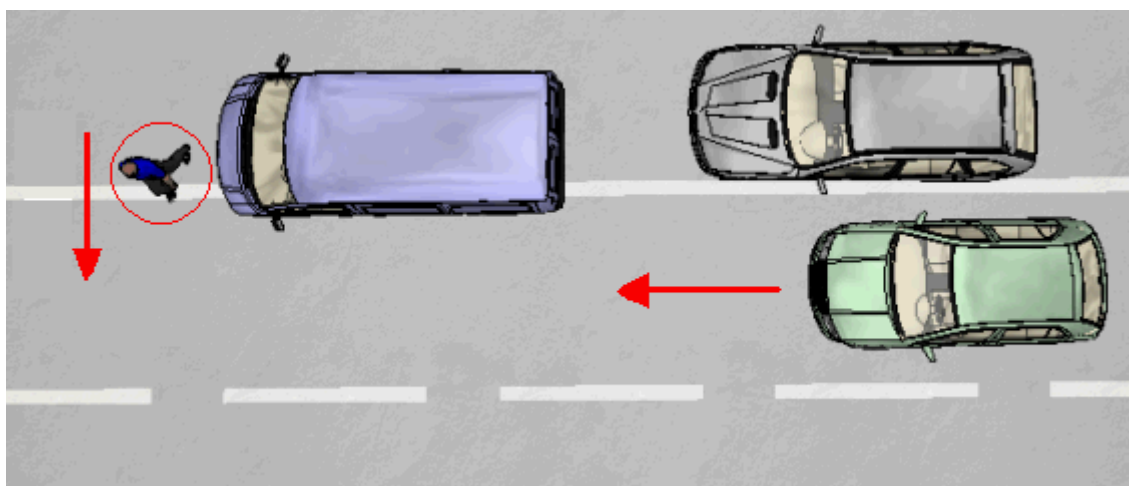


Obr. č. 40 – Vozidla použitá při simulaci nárazu hlavy chodce

3.2.1 Modelová situace vkročení chodce do vozovky z řady vozidel

Na následující modelové situaci (obr. č. 41) je znázorněna častá riziková situace, kdy chodec náhle vstoupí do vozovky z řady zaparkovaných vozidel. Díky neočekávanému vstoupení chodce do vozovky mimo vyhrazené místo pro přecházení nemusí řidič vůbec zareagovat a může chodce srazit v plné rychlosti. Proto také v následujících modelových situacích uvažujeme s tím, že řidič stlačí naplno brzdový pedál až v okamžiku střetu vozidla s chodcem.

Přímo do dráhy automobilu může chodec vstoupit, ať už z nepozornosti, nebo z důvodu špatného výhledu přes zaparkované automobily. Zejména jedná-li se o automobily větších rozměrů, může být výhled značně omezen.



Obr. č. 41 – Modelová situace vkročení chodce do vozovky z řady vozidel

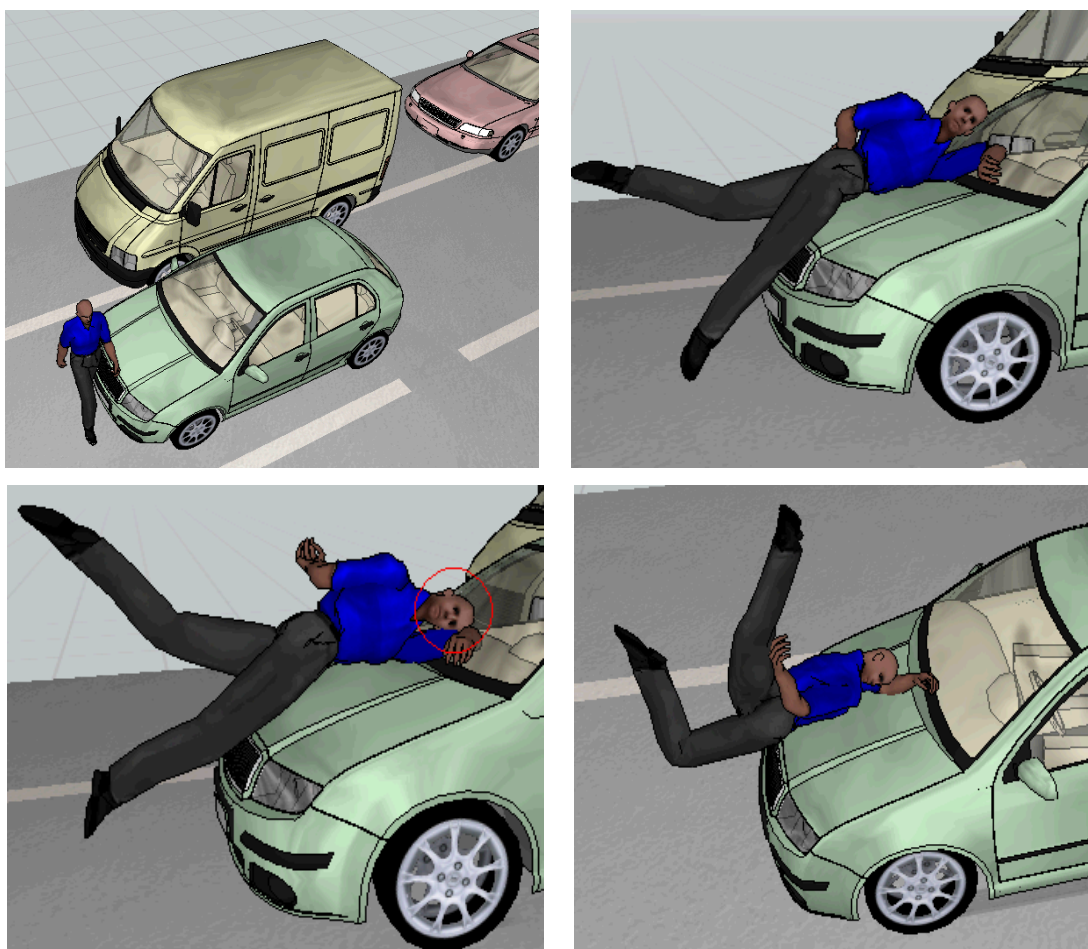
Pro porovnání nehodového děje bude znázorněn průběh nehodového děje ve virtuálním prostředí pro různé rychlosti automobilů a odlišný úhel přecházení vozovky.

Chodec přechází kolmo na vozovku

Špatné výhledové poměry a nepozornost chodce způsobí, že chodec vstoupí přímo do dráhy osobního vozidla. Přes vysoké dodávkové auto řidič osobního vozidla vůbec chodce nezaregistruje a srazí ho v plné rychlosti. Okamžitě po nárazu zareaguje řidič plným sešlápnutím brzdového pedálu.

Kategorie klasického automobilu

Pro klasický osobní automobil jedoucí rychlostí 30 km/h je průběh nehodového děje, zaměřený na místo nárazu hlavy následující (viz. obr. č. 42). Na této modelové situaci je nejprve znázorněna vzniklá nehodová situace, dále je vyobrazen chodec před střetem hlavy, poté je znázorněno místo nárazu hlavy a nakonec postřetový pohyb.



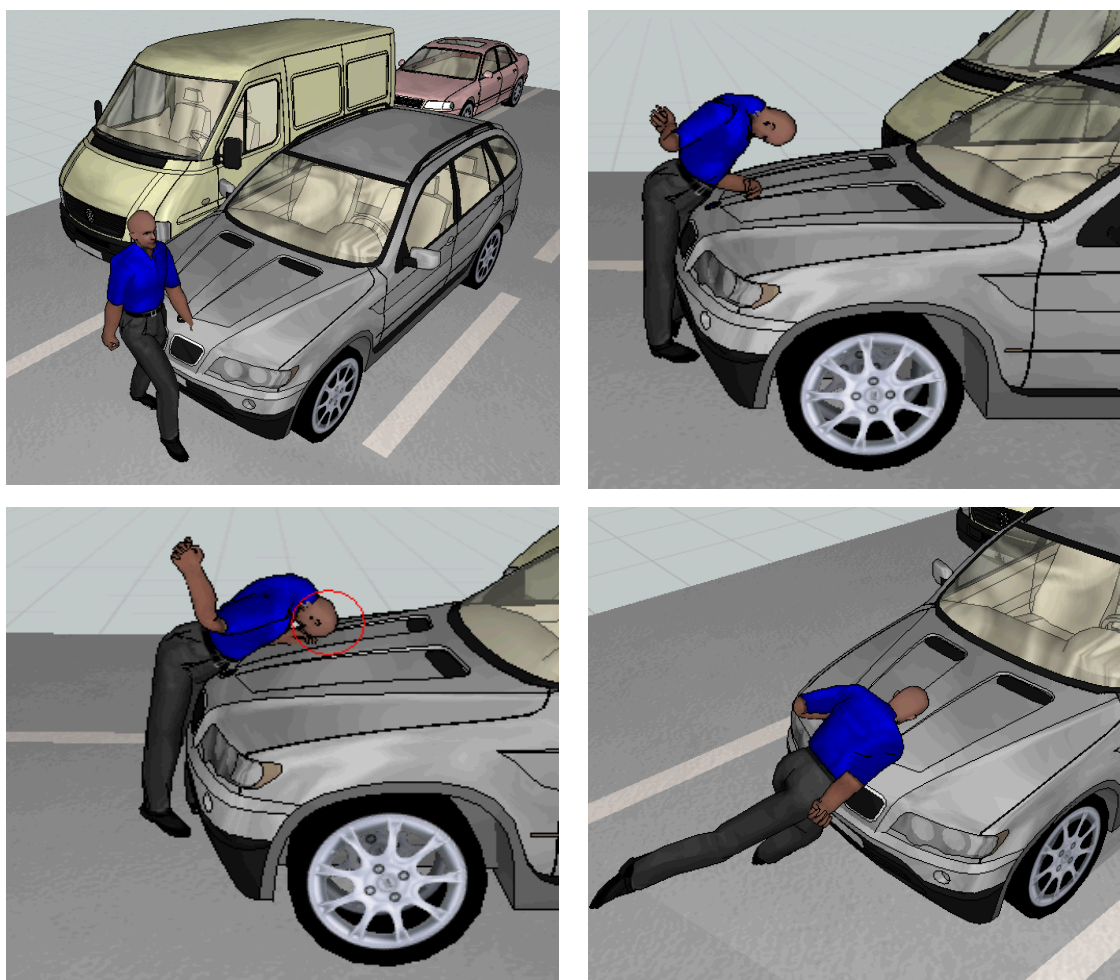
Obr. č. 42 – Znázornění nárazu hlavy chodce při rychlosti 30 km/h

Chodec je sražen na kapotu vozidla a jeho hlava zasáhne spodní polovinu čelního skla. Díky brzdění vozidla se chodec „sklouzne“ po kapotě a dopadne před vozidlo, které ještě stačí před sraženým chodcem zastavit.

Při rychlosti 50 km/h je chodec taktéž sražen na kapotu vozidla. Dochází však k rotaci horní části těla, včetně hlavy. Hlava chodce narazí v tomto případě o něco výše – do středu čelního skla. Při rychlosti 70 km/h dochází k ještě větší rotaci horní poloviny těla a hlavy. Hlava chodce směřuje k nebezpečnému prostoru „A“ sloupku (viz. příloha 1).

Kategorie vozidla SUV

Z následující modelové situace střetu SUV vozidla BMW s chodcem (viz. obr. č. 44) je patrný zcela odlišný průběh nárazu. Díky vysokému čelu vozidla není chodec vůbec vymrštěn až do oblasti čelního skla, jako v předešlém případě osobního automobilu Škoda Fabia. V tomto případě dochází k značnému ohybu těla chodce ve vyšší partii jeho těla. Hlava chodce tak narazí do středu kapoty vozidla.

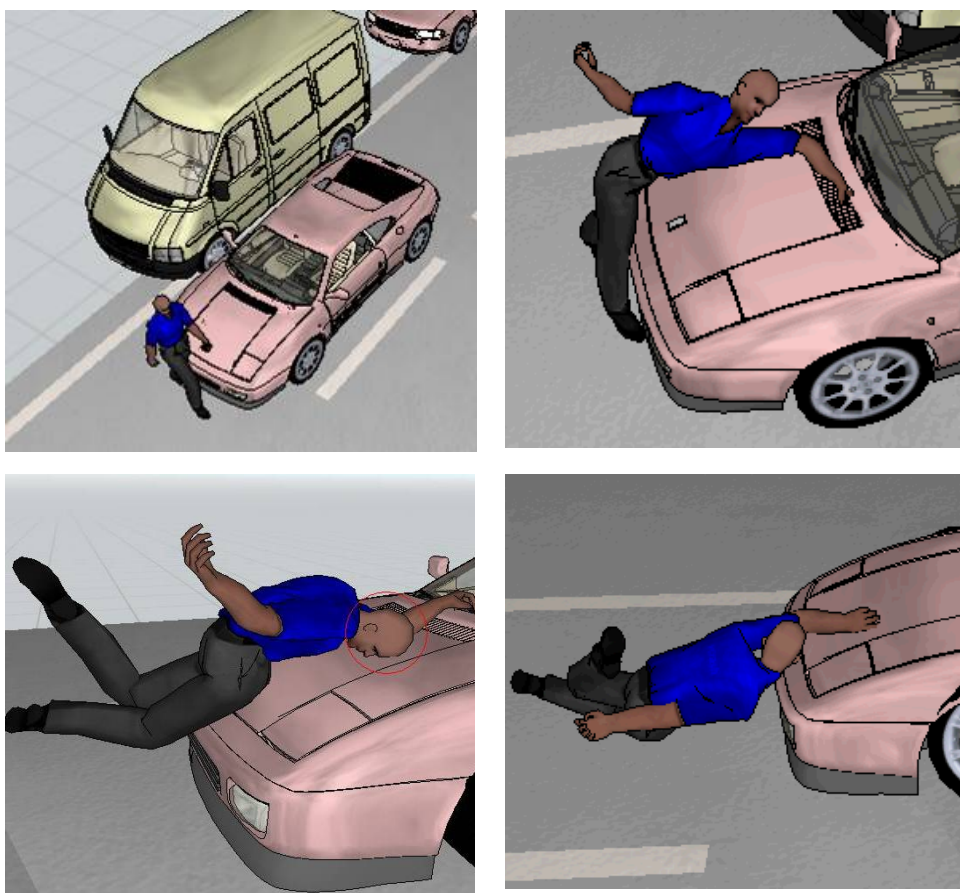


Obr. č. 44 – Znázornění nárazu hlavy chodce při rychlosti 30 km/h

Ani při vyšší rychlosti vozidla nedochází u vozidla BMW X5 k vymrštění hlavy chodce do oblasti čelního skla a tak i pro rychlost 50 km/h dochází k nárazu hlavy chodce do kapoty vozidla. Náraz hlavy do kapoty je v tomto případě zaznamenán o něco výše, než při rychlosti 30 km/h. Při rychlosti 30 km/h dopadla hlava do středu kapoty, při rychlosti 50 km/h dopadla mírně odchýlená od středu(viz. příloha 2). Prvotní průběh nárazu vozidla BMW X5 s chodcem se pro rychlost 70 km/h téměř neliší od nárazu při rychlosti 50 km/h. Hlava chodce taktéž narazí mírně nad střed kapoty vozidla a je taktéž od středu kapoty mírně odchýlena jako v rychlosti 50 km/h (viz. příloha 2).

Kategorie sportovního vozidla

V tomto případě dochází k zcela odlišnému průběhu střetu, než u předchozích automobilů. Při rychlosti 30 km/h dochází k velkému podlomení chodce, z důvodu nízkého nárazníku a tělo chodce je tak z velké části sraženo na kapotu vozidla. Hlava při této rychlosti dopadá do horní poloviny kapoty (viz. obr. č. 47). V rychlosti 50 km/h dochází u kategorie sportovního vozidla k značně rizikovějšímu střetu, nejen z důvodu vyšší rychlosti. V tomto případě je totiž hlava chodce sražena k nebezpečné oblasti přechodu čelního skla a kapoty (viz. příloha 3).



Obr. č. 47 – Znázornění nárazu hlavy chodce při rychlosti 30 km/h

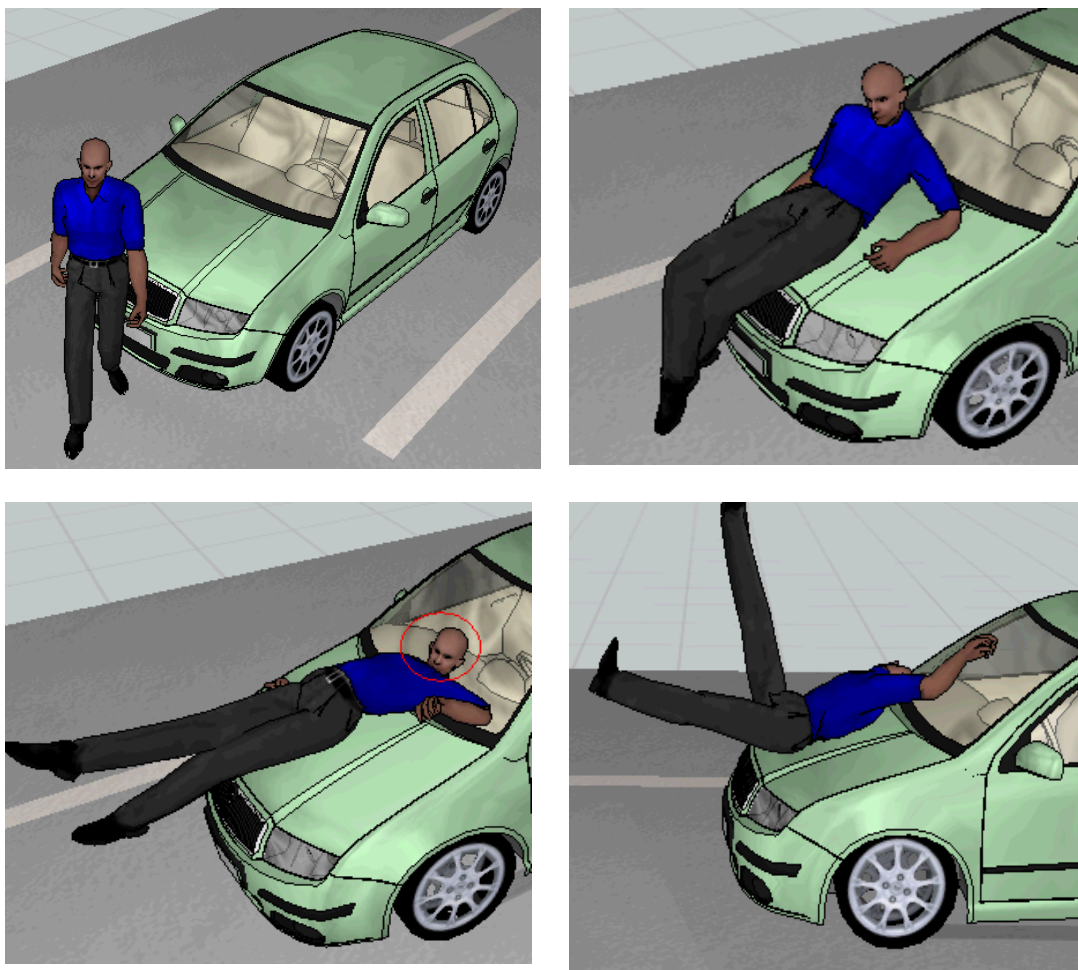
Chodec přechází vozovku v úhlu 45°

Pro porovnání nehodové děje byl pro další simulaci použit stejný modelový příklad, kdy chodec náhle vstoupí do vozovky ve směru jízdy automobilu. Z důvodu srovnání vlivu rozdílného úhlu při sražení byl z kolmého směru na osu vozovky zvolen úhel 45°.

Kategorie klasického automobilu

Pro zvolené vozidlo této kategorie, vozidlo Škoda Fabia, je průběh této nehody znázorněn na obrázku č. 48. Chodec je při rychlosti 30 km/h podobně jako při nárazu, kdy kolmo přechází vozovku sražen ke spodní polovině čelního skla. Vlivem odlišného úhlu nárazu je sražen zády ke kapotě a hlava taktéž dopadá svou zadní částí na čelní sklo. Po střetu je chodec odvalen přes kapotu vozidla před vozidlo a dopadne na zem. Vozidlo při rychlosti stačí před sraženým vozidlem zabrzdit a tak není chodec vystaven dalšímu riziku zranění.

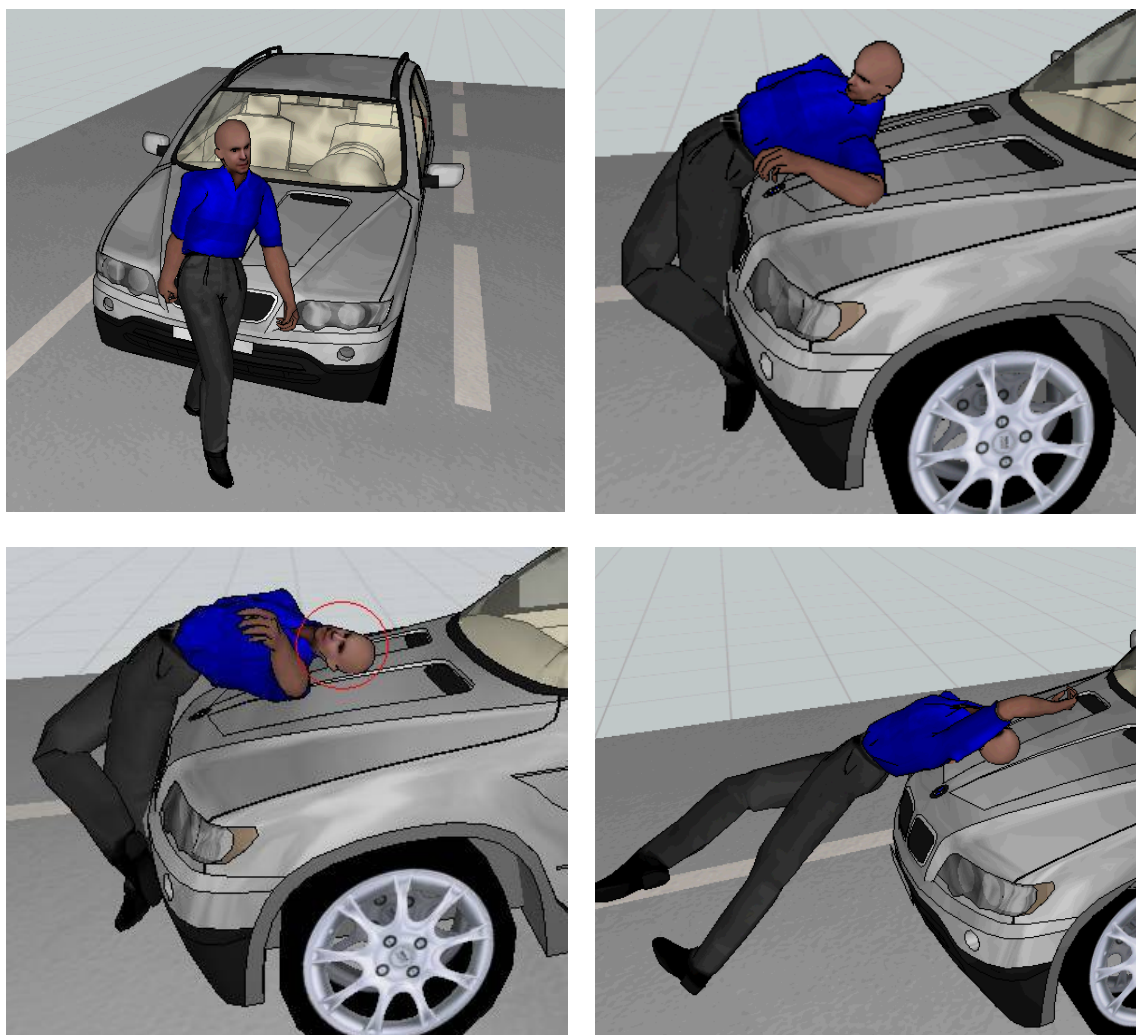
Při rychlosti 50 km/h dopadá hlava chodce blízko nebezpečné oblasti přechodu čelního skla a kapoty. Při rychlosti 70 km/h dopadá hlava o něco výše, do spodní poloviny čelního skla (viz. příloha 4).



Obr. č. 48 – Znázornění nárazu hlavy chodce při rychlosti 30 km/h

Kategorie SUV vozidla

Na obrázku č. 49 je znázorněn průběh kolize SUV vozidla s chodcem, který přechází vozovku v úhlu 45° na její osu. Průběh kolize je v tomto případě odlišný než, když chodec přechází vozovku kolmo na její osu. V tomto případě dochází k sražení chodce zády ke kapotě a hlava taktéž dopadá svou zadní částí na kapotu. Dochází však ještě k překřížení nohou a chodec je tak vystaven dalšímu riziku poranění. S vzrůstající rychlostí dochází k intenzivnějšímu překřížení nohou. Dopad hlavy na kapotu vozidla je pro rychlosti 30, 50 i 70 km/h velmi podobný dopadu hlavy při shodných rychlostech a kolmému přecházení vozovky. Pro rychlosti 50 km/h a 70 km/h je průběh nárazu hlavy na kapotu vozidla uveden v příloze 5.

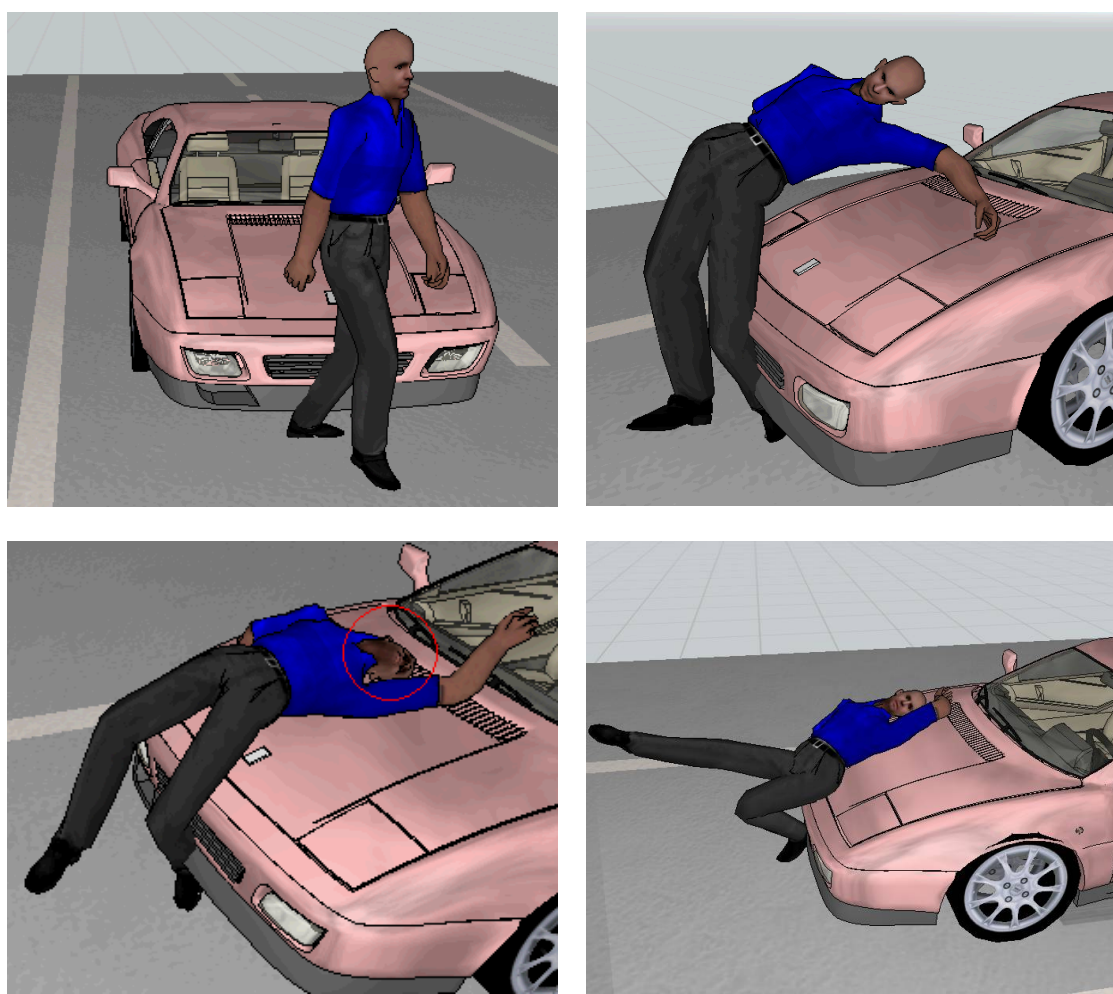


Obr. č. 49 – Znázornění nárazu hlavy chodce při rychlosti 30 km/h

Kategorie sportovního vozidla

Z důvodu nízkého nárazníku dochází k podlomení spodní části dolní končetiny, vzniku velkého ohybového momentu a značnému průhybu těla. Hlava padá z velké výšky a dopadá při rychlosti 30 km/h k zadní části kapoty. Po střetu s kapotou tělo chodce sklouzne po přední kapotě a je mírně odhozeno před vozidlo. Průběh této kolize je znázorněn na obrázku č. 50.

Při rychlosti 50 km/h dochází k závažnějšímu dopadu hlavy do oblasti přechodu kapoty a čelního skla. Při rychlosti 70 km/h dochází také k dopadu hlavy k místu přechodu kapoty a čelního skla (viz. příloha 6).



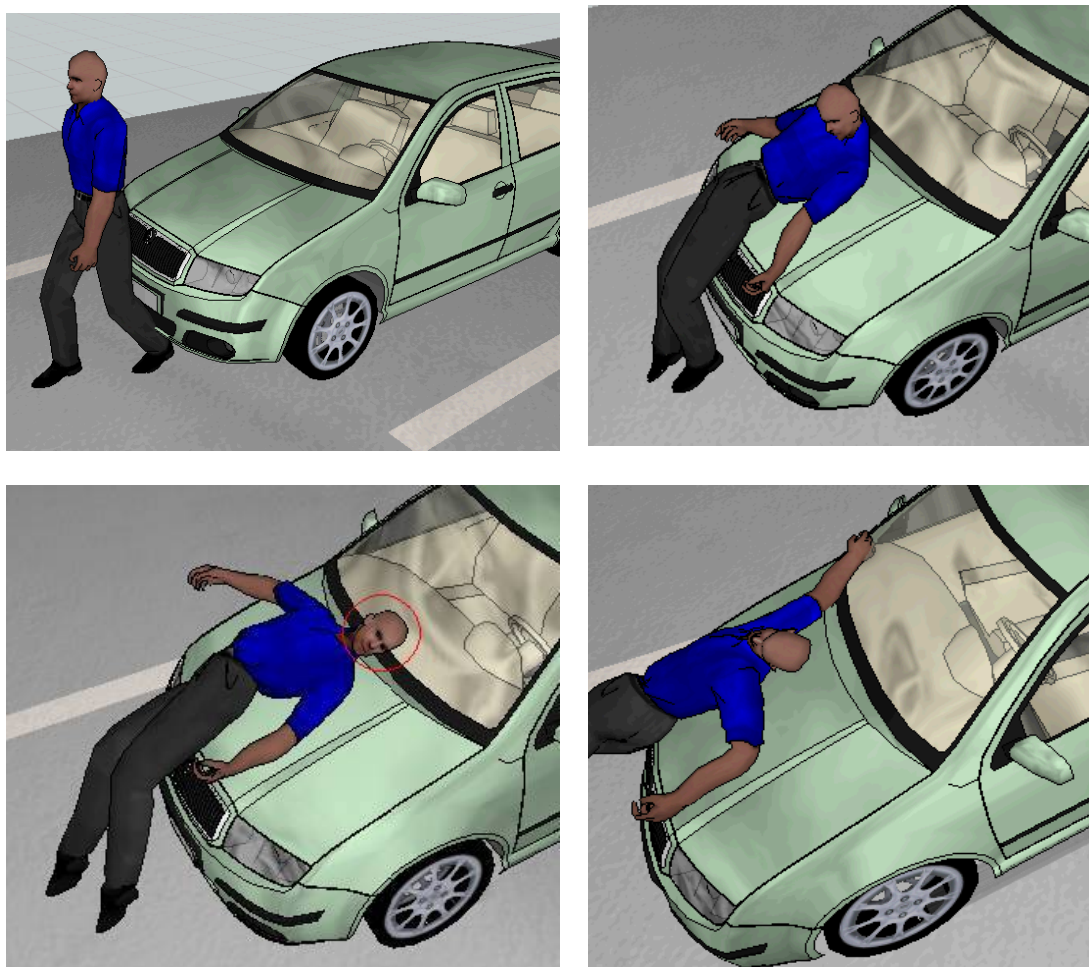
Obr. č. 50 – Znázornění nárazu hlavy chodce při rychlosti 30 km/h

3.2.2 Chůze zády ke směru projíždějící dopravy

Chodci často porušují pravidla silniční provozu tím, že jdou ve směru projíždějící dopravy po krajnici vozovky, nebo často ohrožují především sami sebe svou chůzí přímo v jízdním pruhu vozovky. Ať už jde o chůzi vynucenou z důvodu překážky u krajnice, nebo o chůzi z nerozváženosti chodce, vždy se jedná o velmi nebezpečnou situaci. Nic netušící chodec může být zezadu sražen vozidlem. Řidič tohoto vozidla může chodce zaregistrovat na poslední chvíli, například z důvodu špatné viditelnosti a nestačí provést úhybný manévř.

Kategorie klasického automobilu

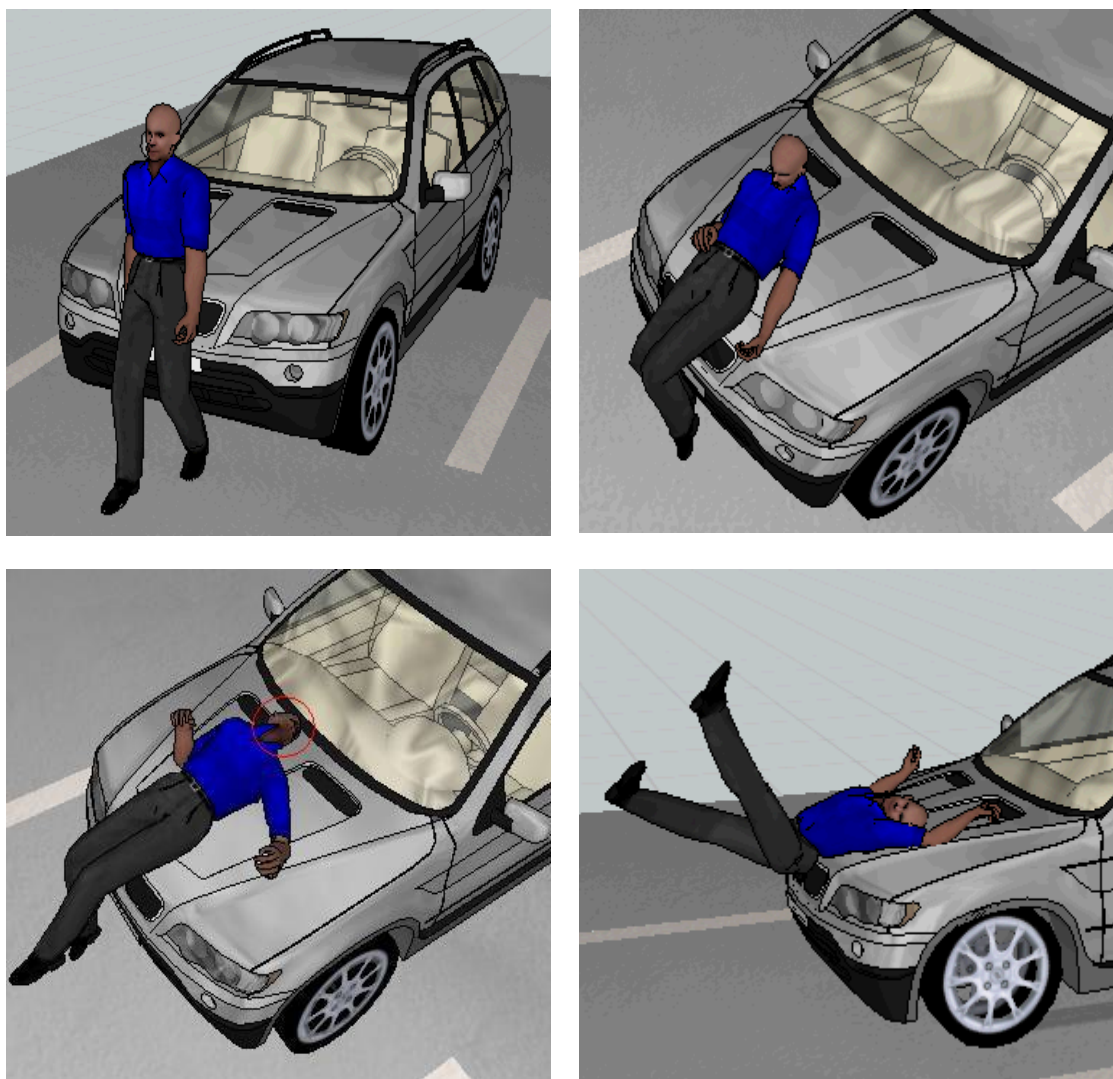
Při rychlosti 30 km/h je tělo chodce zády sraženo na kapotu vozidla a hlava dopadá do oblasti přechodu čelního skla a kapoty (viz. obr. č. 51). Při vyšších rychlostech dochází k sražení těla chodce až na čelní sklo. Hlava chodce dopadá při rychlosti 50 km/h a 70 km/h do středu čelního skla (viz. příloha 7).



Obr. č. 51 – Znázornění nárazu hlavy chodce při rychlosti 30 km/h

Kategorie SUV vozidla

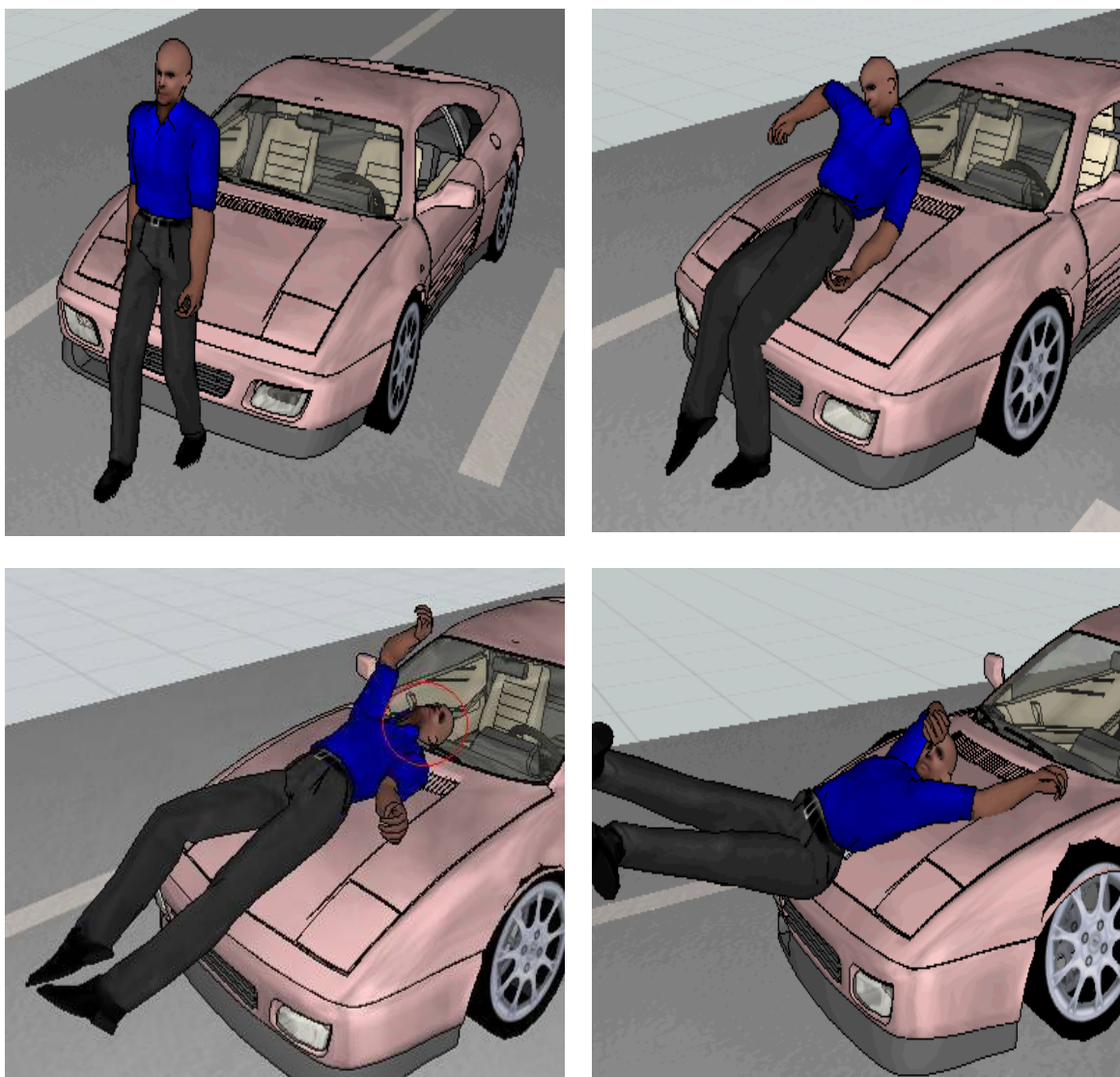
Při nárazu osobního automobilu BMW X5 do chodce, který je otočen zády k automobilu dochází k podlomení těla chodce. Pánev chodce dosedne na kapotu vozidla a záda společně s hlavou chodce narazí do kapoty. Při rychlosti 30 km/h hlava narazí do horní části kapoty. Průběh tohoto střetu je znázorněn na obrázku č. 52. Podobně i při 50 km/h a 70 km/h dochází k srovnatelnému průběhu sražení chodce na kapotu vozidla. Hlava také dopadá na horní část kapoty (viz. příloha 8).



Obr. č. 52 – Znázornění nárazu hlavy chodce při rychlosti 30 km/h

Kategorie sportovního vozidla

Při sražení chodce, který je otočen zády k vozidlu s nižším nárazníkem dochází k zcela odlišnému nárazu hlavy chodce, než v předchozím případě vozidla SUV. V tomto případě je při rychlosti 30 km/h hlava chodce sražena do nebezpečné oblasti prostoru mezi kapotou a čelním sklem (viz. obr. č. 53). Při rychlostech 50 a 70 km/h narazí hlava o čelní sklo (viz. příloha 9).



Obr. č. 53 – Znázornění nárazu hlavy chodce při rychlosti 30 km/h

3.2.3 Celkový přehled míst dopadu hlavy

V následující tabulce je uveden celkový přehled míst dopadu hlavy pro srovnávané kategorie vozidel, různé kolizní situace a odlišné rychlosti.

Tab. č. 1 – Přehled jednotlivých míst dopadu hlavy pro různé střetové konfigurace

poloha chodce/rychlost vozidla	kategorie vozidel		
	klasické	SUV	sportovní
chodec přechází kolmo na vozovku			
30 km/h	dolní část čelního skla	střed kapoty	horní část kapoty
50 km/h	střed čelního skla	mírně odchýlená od středu kapoty	přechod čelního skla a kapoty
70 km/h	střed čelního skla	mírně odchýlená od středu	horní část kapoty
chodec přechází vozovku v úhlu 45°			
30 km/h	dolní část čelního skla	střed kapoty	horní část kapoty
50 km/h	spodní část čelního skla	mírně odchýlená od středu kapoty	přechod čelního skla a kapoty
70 km/h	přechod čelního skla a kapoty	mírně odchýlená od středu kapoty	přechod čelního skla a kapoty
chodec je sražen zády k automobilu			
30 km/h	přechod čelního skla a kapoty	horní část kapoty	přechod čelního skla a kapoty
50 km/h	střed čelního skla	horní část kapoty	dolní část čelního skla
70 km/h	střed čelního skla	horní část kapoty	dolní část čelního skla

3.2.4 Vyhodnocení míst dopadů hlavy

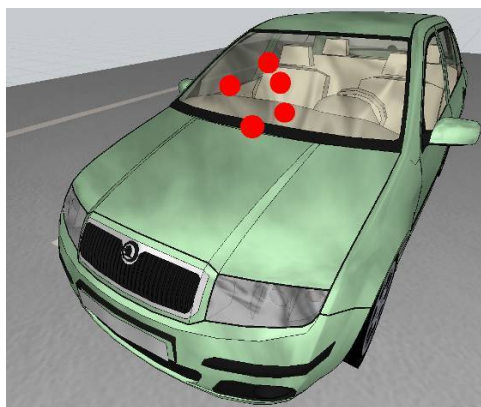
Pro vyhodnocení míst dopadu hlavy byla sestavena následující tabulka, která přehledně zobrazuje nejčtenější místa dopadů hlavy chodce. Pro zvýšení bezpečnosti chodců by se těmto místům měla věnovat zvýšená pozornost. Proto také jsou na základě těchto, ze simulací získaných údajů, navrženy vhodné opatření pro zmírnění následků kolize automobilu s chodcem.

Tab. č. 2 – Přehled nejčtetnějších míst dopadu hlavy pro různé kategorie vozidel

	návrhy
klasické	
střed čelního skla (4x)	zlepšení deformačních vlastností čelního skla, pružné uložení čelního skla
dolní část čelního skla (2x)	systém airbagu pro chodce
přechod čelního skla a kapoty (2x)	systém airbagu pro chodce
spodní část čelního skla (1x)	systém airbagu pro chodce
SUV	
mírně odchýlená od středu kapoty (4x)	aktivní kapota
horní část kapoty (3x)	aktivní kapota
střed kapoty (2x)	aktivní kapota
sportovní	
přechod čelního skla a kapoty (4x)	aktivní kapota + systém airbagu pro chodce
horní část kapoty (3x)	aktivní kapota
dolní část čelního skla (2x)	systém airbagu pro chodce

Kategorie klasického automobilu

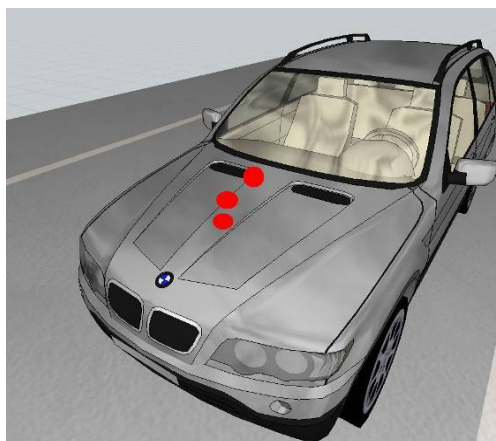
U vozidla Škoda Fabia bylo na základě provedených simulací střetu s chodcem zjištěno, že ve většině případů narazí velmi zranitelná hlava chodce do čelního skla. Pro zvýšení bezpečnosti chodců by tedy především této partii vozidla měla být věnována zvýšená pozornost. Zlepšením deformačních vlastností čelního skla, případně použitím konstrukce pružného uložení čelního skla by bylo možné zajistit přívětivější podmínky pro přežití sraženého chodce. Z důvodu možného tečného nárazu, tedy nárazu bokem vozidla a následnému vymrštění do oblasti nebezpečných „A“ sloupků by bylo vhodné toto vozidlo vybavit systémem airbagu pro chodce klasického „U“ tvaru. Tento airbag by zabezpečil překrytí čelního skla a „A“ sloupků.



Obr. č. 48 – Nejčtetnější místa dopadu hlavy klasického vozidla

Kategorie SUV vozidla

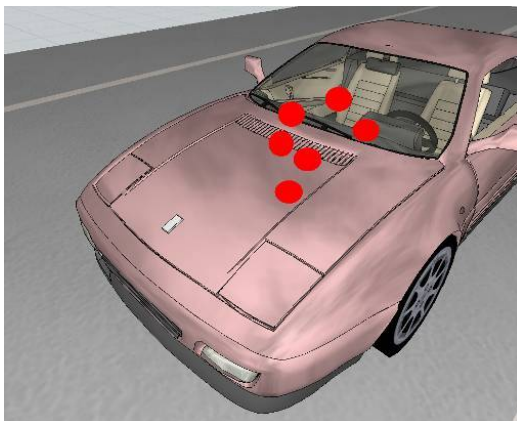
Ani v jednom modelovaném případě nedošlo vlivem vysoké přídě vozidla BMW X5 k nárazu hlavy chodce do čelního skla. Na základě simulací bylo zjištěno, že pro bezpečnost chodců je u kategorie SUV nejdůležitějším prvkem kapota vozidla. Pro zvýšení bezpečnosti sraženého chodce by tak v tomto případě nejvíce pomohla aktivní kapota a dále systém airbagů pro chodce. V případě vybavení vozidla systémem airbagu pro chodce by u tohoto vozidla měl airbag překrývat oblast středu a horní části kapoty. Z důvodu finanční nákladnosti těchto prvků pasivní bezpečnosti by bylo vhodné upravit alespoň vnitřní profil kapoty.



Obr. č. 49 – nejčtetnější místa dopadu hlavy vozidla SUV

Kategorie sportovního vozidla

V případě sportovního vozidla dochází k častému nárazu hlavy do oblasti zadní části kapoty a spodní části čelního skla. V tomto případě by pro zvýšení bezpečnosti chodce bylo vhodné použít aktivní kapotu současně se systémem airbagu pro chodce.



Obr. č. 50 – Nejčastější místa dopadu hlavy vozidla sportovní kategorie

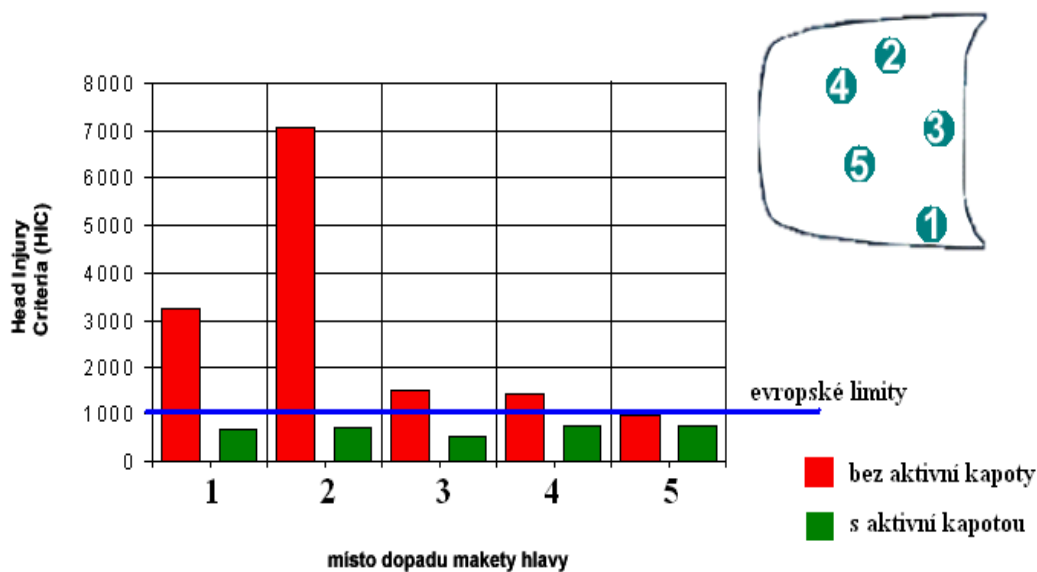
3.3 POROVNÁNÍ ÚČINKŮ MODERNÍCH PRVKŮ PASIVNÍ BEZPEČNOSTI NA ZMÍRNĚNÍ NÁSLEDKŮ STŘETU VOZIDLA S CHODCEM

Pro porovnání účinků prvků pro ochranu chodců jsou v následující části podrobeny srovnání dva základní moderní prvky pasivní bezpečnosti.

3.3.1 Aktivní kapota

Výsledky porovnávání střetu chodce s automobilem s aktivní a bez aktivní kapoty jsou patrné z následujícího grafu. Na kapotě vozidla bylo vybráno pět míst, které byly podrobeny nárazům makety hlavy s cílem zjistit hodnotu HIC – kritéria zranění hlavy.³ Z výsledků je zřejmé, že na některých dopadových místech došlo k razantnímu snížení HIC. Pozitivní přínos aktivní kapoty je tak patrný na první pohled.

³ Hodnota HIC (Head Injury Criteria) udává míru poranění hlavy. Pro člověka se považuje hodnota HIC = 1000 za mezní hodnotu, při které ještě nedojde k závažnému zranění hlavy.



Obr. č. 51 – Vyhodnocení míry poranění chodce. [33]

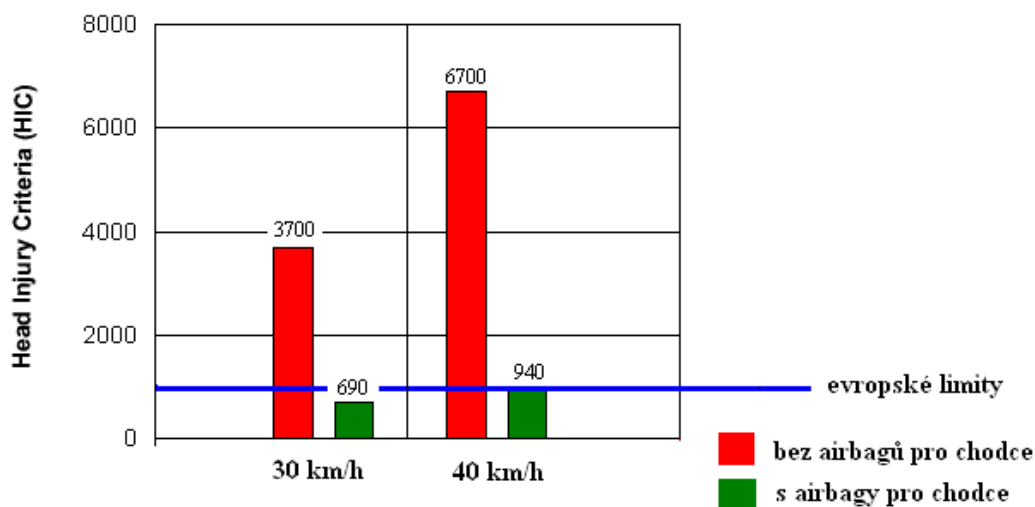
Veškeré hodnoty grafu jsou získány z Evropského testu, jehož cílem bylo zjistit a stanovit přijatelné hodnoty HIC. Kromě posledního bodu měření nebyla dosažena žádná přijatelná hodnota HIC při testování vozidla bez aktivní kapoty. Naopak při měření HIC u vozidla vybaveného aktivní kapotou bylo všech stanovených hodnot dosaženo.

Zajímavým poznatkem z měření je skutečnost, že některé hodnoty míry poranění hlavy byly sníženy mnohonásobně. Například v testovaném bodě „2“ na kapotě vozidla. Mnohonásobné snížení poranění hlavy v tomto místě je dáno z důvodu nedostatečného prostoru pod kapotou pro pohlcení vzniklé energie při nárazu. Přizvednutím aktivní kapoty tak dochází k jednoznačně efektivnímu přínosu. Zavedením prvku aktivní kapoty je tedy možné zajistit efektivní snížení možnosti vážných zranění a často smrtelných následků kolize vozidla s chodcem.

3.3.2 Systém airbagů pro chodce

Na následujícím grafu (viz. obr. č. 52) lze porovnat hodnoty HIC při střetu chodce s vozidlem bez airbagů pro chodce a vozidla vybaveného systémem airbagů pro chodce. Pro vozidlo bez airbagů pro chodce není ani v tomto případě stanovený limit $HIC = 1000$ zdaleka dosažen. Naopak v případě vybavení vozidla systémem airbagů lze sledovat velmi efektivní zlepšení hodnot HIC, podobně jako v případě porovnání účinků aktivní kapoty. Pro obě testované rychlosti 30 km/h a 40 km/h se míra poranění hlavy pohybuje v žádaných

rozmezích stanovených limitů HIC. Z naměřených hodnot HIC tak vyplývá, že se systémy airbagů pro chodce významně podílejí na snížení rizika smrtelného nárazu chodce.



Obr. č. 52 – Porovnání účinnosti systému airbagů pro chodce [34]

Pro testování srovnání účinnosti airbagů pro chodce bylo použito airbagu jako na následujícím obrázku. Bylo použito klasického airbagu pro chodce ve tvaru písmene „U“, který chrání hlavu chodce před tuhými a tak pro chodce velmi nebezpečnými „A“ sloupky karoserie vozidla.



Obr. č. 53 – Airbag chránící chodce před „A“ sloupkem [12]

4 MOŽNOST VÝVOJE BEZPEČNOSTNÍCH PRVKŮ PRO ZVÝŠENÍ BEZPEČNOSTI CHODCŮ PŘI VZÁJEMNÝCH KOLIZÍCH

Snížená viditelnost patří k hlavním negativním faktorům, které přispívají ke vzniku dopravní nehody. Zejména při zhoršených klimatických podmínkách, například jízdě v hustém sněžení nebo dešti se značně zhoršuje viditelnost jak ze strany řidičů, tak ze strany chodců. Dále při těchto zhoršených klimatických podmínkách dochází ke zhoršení adhezních a tedy i brzdných vlastností vozidla. Pro zvýšení bezpečnosti chodců je tedy důležité hledat opatření, která napomáhají zvýšení viditelnosti chodce. Ze strany chodců je možno své vlastní bezpečí podpořit nošením reflexních a fluorescenčních materiálů. Tyto materiály zvyšují světelný kontrast proti pozadí a tímto dochází k prodloužení vzdálenosti na kterou je schopen řidič chodce rozpoznat. Chodci si však své vlastní nebezpečí často ani neuvědomují a tak pro případ nevhodně oblečeného chodce je zapotřebí věnovat pozornost prvkům automobilu, které pomáhají zlepšovat viditelnost řidičům. Prostřednictvím moderních prvků aktivní bezpečnosti, například prostřednictvím systému nočního vidění lze efektivně předcházet kolizím s chodci. V současné době jsou však tyto prvky aktivní bezpečnosti bohužel stále doménou především finančně nákladných vozidel a často montovány do automobilu jen jako nadstandardní výbava. Změnou legislativy a zavedením těchto prvků aktivní bezpečnosti jako povinnou výbavu, např. stejně jako bezpečnostní pásy, by bylo možné snížit finanční náročnost těchto bezpečnostních prvků a především celoplošně zvýšit bezpečnost nejzranitelnějších účastníků silničního provozu.

I přes veškerá opatření může ke kolizi automobilu s chodcem dojít. Proto je důležité věnovat pozornost prvkům, které zmírňují následky dopravních nehod, tedy prvkům pasivní bezpečnosti. Primárně je pro lepší ochranu chodců důležité vyvíjet komponenty, které lépe pohlcují energii. Jde především o čelní sklo, kapotu motoru a nárazník. Zejména v případě předního nárazníku je mnoho způsobů, jak vylepšit schopnosti lépe absorbovat energii vzniklou při nárazu. Naopak v případě čelního skla takové možnosti zlepšení deformačních vlastností k dispozici nejsou. I přesto lze do budoucna poměrně efektivním způsobem tuto oblast automobilu vylepšit pro případné střety s chodci. Překrytím této oblasti systémem airbagů pro chodce lze zajistit zmírnění následků poranění o čelní sklo, ale také především

o tuhou konstrukci předních „A“ sloupků. Kromě samotných, lépe deformovatelných komponentů je důležité i samotné upevnění těchto jednotlivých součástí automobilu. Prostřednictvím posunovatelného upevnění, například předních světlometů, nebo blatníků lze získat další dodatečný prostor pro pohlcení energie vzniklé při nárazu. Kromě lépe deformovatelných komponentů automobilu je pro bezpečnost chodců rovněž důležitý tvar jednotlivých součástí vozidla. Přes veškeré zlepšené deformační vlastnosti komponentů by například kvůli nevhodně tvarovaným stěračům čelního skla mohlo docházet k závažným tržným poraněním. K dalšímu vývoji bezpečnostních prvků pro chodce tak už neoddelitelně patří nejrůznější reálné testy s testovacími figurínami, ale také stále častěji počítačové simulace.

Na základě informací uvedených v předchozí kapitole je zřejmé, že pro zvýšení bezpečnosti chodců značně přispívá aktivní kapota a systém airbagů pro chodce. Bohužel jen velmi málo automobilek tyto prvky pasivní bezpečnosti běžně používá. V současné době jsou tyto bezpečnostní prvky dostupné především jen u luxusních vozidel. Tato skutečnost je dána především z důvodu ekonomické náročnosti těchto prvků. Bohužel i vzhledem k nedávné ekonomické recesi ani nelze masivní rozšíření těchto prvků očekávat. Změnu by však mohla přinést novela legislativy, která by tyto prvky stanovila jako povinné. Pro konfiguraci co nejideálnějšího vozidla je na obrázku č. 54 vyobrazen komplexní systém ochrany chodců. Pro případný střet tohoto automobilu s chodcem je vozidlo vybaveno třemi základními prvky pasivní bezpečnosti pro ochranu chodců. Kromě systému airbagu pro chodce a aktivní kapoty je součástí vozidla aktivní nárazník. Bohužel ani v tomto případě se nejedná o sériově vyráběný model.



Obr. č. 54 – Komplexní systém ochrany chodců [17]

Do budoucna lze očekávat, že základní prvky pasivní bezpečnosti, které významně zmírňují následky kolize chodce s automobilem se stanou samozřejmou výbavou moderních vozidel. Například tak, jako se postupem času staly nepostradatelnou výbavou každého automobilu bezpečnostní pásy, nebo později i vnitřní airbagy. I díky prováděným crash-testům nezávislých organizací lze do budoucna očekávat neustále zlepšování vlastností automobilů pro ochranu chodců. Žádná světová automobilka by už jen z marketingového hlediska jistě nechtěla mít pověst nebezpečných vozidel pro chodce.

ZÁVĚR

Snížení počtu kolizí automobilů s chodci je možno dosáhnout například celoplošným snížením povolené rychlosti, vybudováním dalších chodníků, vhodnějším pouličním osvětlením, nebo nošením reflexních materiálů. I přes veškerá preventivní opatření může ke střetu vozidla s chodcem dojít a z tohoto důvodu je důležité věnovat pozornost vlivu prvku aktivní a pasivní bezpečnosti. Výzkum ukázal, že prvky vozidel ke zmírnění zranění chodců při kolizích jsou velmi efektivní při snižování počtu úmrtí a závažných zranění chodců. Proto také Evropská komise a řada národních vlád podporuje vývoj zkušebních metod a testovací nástroje vhodné pro dodržování určitých standardů ochrany chodců.

Jak bylo v úvodu naznačeno, jedním z cílů práce bylo usnadnit orientaci v nejběžněji používaných prvcích pasivní bezpečnosti vozidel pro ochranu chodců. Jak bylo zjištěno, mnoho prvků pro ochranu chodců se pro běžné automobily nepoužívá. Tato skutečnost je dána jednak ekonomickou stránkou, ale rovněž chybějící legislativou, která by tyto prvky stanovila jako povinné, například podobně jako bezpečnostní pásy. Dalším cílem této práce bylo zhodnocení vlivu moderních prvků pro ochranu chodců při nehodové situaci. Z výsledků porovnání účinku těchto prvků je zcela jednoznačně zřejmý efektivní přínos aktivní kapoty a systému airbagů pro chodce. Jsou-li tyto prvky pasivní bezpečnosti doplněny o další konstrukční řešení pro zvýšení bezpečnosti chodců, potom se také významně zvyšuje pravděpodobnost toho, že chodec nebude při nárazu usmrcen. Bohužel jak již bylo zmíněno, v současné době není stále využití těchto prvků v automobilech obvyklé a tak zbytečně dochází k ztrátám na lidských životech. Cílem práce rovněž na základě provedených simulací zjistit nejčastější místa dopadů nejzranitelnější partie lidského těla – hlavy člověka. Tato místa dopadů hlavy byla jednotlivě vyhodnocena pro tři odlišné kategorie vozidel. Vybavením porovnávaných vozidel konkrétně navrženými prvky pasivní bezpečnosti pro ochranu chodců by bylo možné snížit negativní následek lehce zranitelného chodce při kolizi s automobilem.

Dle mého názoru představuje vliv moderních prvků pasivní bezpečnosti, zejména v případě aktivní kapoty a systému airbagů pro chodce, velmi efektivní nástroj pro snížení smrtelných zranění nejzranitelnějších účastníků silničního provozu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] VLK, František. *Stavba motorových vozidel*. 2003. Brno : František VLK, 2003. Ochrana chodců, s. 443-452. ISBN 80-238-8757-2.
- [2] *Chodci* [online]. [cit. 2010-11-18]. Dostupné z WWW: <http://ec.europa.eu/transport/road_safety/users/pedestrians/index_cs.htm>
- [3] *Dopravní nehody chodců v České republice v roce 2009* [online]. 2010 [cit. 2010-11-18]. Dostupné z WWW: <http://www.ibesip.cz/961_Dopravni-nehody-chodcu-v-Ceske-republice-v-roce-2009>
- [4] *Karoserie* [online]. [cit. 2010-11-18]. Dostupné z WWW: <http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-teo-03_karoserie.pdf>
- [5] *Autoprísľušenstvo* [online]. 2009 [cit. 2010-11-22]. Dostupné z WWW: <http://press.bosch.sk/press/detail.asp?f_id=782>
- [6] *WATCH-OVER* [online]. 2008 [cit. 2010-11-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.watchover-eu.org>>
- [7] [cit. 2010-11-22]. Dostupné z WWW: <http://img.auto.cz/news/img/galleries/2010-50/01_4d086d0fcef7.jpg>
- [8] [cit. 2010-11-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.autoalerts.com/wp-content/uploads/2008/08/2010-bmw-7series-night-vision.jpg>>
- [9] *Pasivní bezpečnost* [online]. 2005 [cit. 2010-11-22]. Dostupné z WWW: <http://www.rozhlas.cz/vedaarchiv/portal/_zprava/192738>
- [10] JAMRICHOVÁ, Zuzana. Bezpečnosť automobilov : Airbagy. *Trenčianská univerzita A.Dubčeka*. 2000, 5, s. 1-20.
- [11] *Dílenská učební pomůcka Škoda*. Mladá Boleslav : Škoda auto, 2009. Vnější bezpečnost, s. 34.
- [12] *Cars with hood and airbags for pedestrians protection* [online]. 2008 [cit. 2010-12-10]. Dostupné z WWW: <http://www.fareastgizmos.com/transport/cars_with_hood_and_grill_airbags_for_pedestrian_protection.php>

- [13] *Pedestrian protection* [online]. 2009 [cit. 2010-12-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.autoliv.com/wps/wcm/connect/autoliv/Home/What+We+Do/Recent%20Innovations/Pedestrian%20Protection>>
- [14] [cit. 2010-11-25]. Dostupné z WWW: <http://blog.airbagsolutions.com/images/blog_airbagsolutions_com/bosch-03-01-08.jpg>
- [15] Pokorný, Jiří. *Bezpečnost a ochrana chodců*, Univerzita Pardubice [online]. 2004 [cit. 2011-4-12]. Dostupné z WWW: <<http://envi.upce.cz/pisprace/ostatni/pokorny.pdf>>
- [16] SODERLUND, Ingemar. *Reversible active pedestrian safety system*. IVSS project report [online]. 2009 [cit. 2011-4-12]. Dostupné z WWW: <http://www.ivss.se/upload/rapss_final_report_090728.pdf>
- [17] *External airbag protects pedestrians* [online]. 2009 [cit. 2010-12-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.wired.com/autopia/2009/05/external-airbag-protects-pedestrians>>
- [18] PINECKI, Christian. *Technical solution for enhancing the pedestrian protection*. PSA Peugeot Citroen. [online]. 2009 [cit. 2011-4-12]. Dostupné z WWW: <<http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv20/07-0307-W.pdf>>
- [19] WANG, Jenne-Tai. *Bumper energy absorber*. United States Patent [online]. 1999 [cit. 2011-4-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.freepatentsonline.com/5967573.pdf>>
- [20] KERKELING, Christoph. *Structural hood and hinge concepts for pedestrian protection*. GM Europe – Adam OPEL AG. [online]. 2010 [cit. 2011-4-12]. Dostupné z WWW: <<http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv19/05-0304-W.pdf>>
- [21] SALMON, John. *Pedestrian protection automotive hood hinge assembly*. United States patent. [online]. 2009 [cit. 2011-4-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.freepatentsonline.com/7506716.pdf>>
- [22] *Evaluation of a new pedestrian head injury protection system* [online]. 2009 [cit. 2011-1-19]. Dostupné z WWW: <http://www.autoliv.com/wps/wcm/connect/5f997a004ce4f3f8ac68eef594aebdee/Pedestrian.pdf?MOD=AJPERES>

- [23] SCHERF, Oliver. *Development and performance of contact sensors for active pedestrian protection systems*. Siemens Restrains Systems GmBh. [online]. 2009 [cit. 2011-4-14]. Dostupné z WWW: <http://lexikon.kfz.tu-berlin.de/apsn/uploads/media/Development_and_performance_of_contact_sensors_for_active_pedestrian_protection_systems.pdf>
- [24] SVOBODA, Jiří. *Pedestrian protection – influence of bonnet design*. Czech Technical University in Prague, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Automotive and Aerospace Engineering, [online]. 2009 [cit. 2011-4-14]. Dostupné z WWW <http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2005/2005_123.pdf>
- [25] PUPPINI, Roberto. Advanced protection systems for pedestrians. *Aprosys final event*. [online]. 2009 [cit. 2011-4-18]. Dostupné z WWW <<http://www.aprosys.com/img/19.pdf>>
- [26] *Making the road safer for pedestrian* [online]. 2011 [cit. 2011-4-3]. Dostupné z WWW: <<http://pedpro2011.blogspot.com>>
- [27] *American magazine* [online]. 2011 [cit. 2011-4-4]. Dostupné z WWW: <<http://www.newadvera.com/vb/t17065.html>>
- [28] *Chodci* [online]. 2011 [cit. 2011-4-4]. <<http://www.ibesip.cz/Chodci>>
- [29] *Vliv rychlosti na bezpečnost silničního provozu*. Besip. 2006 [cit. 2011-4-4]. Dostupné z WWW: <http://www.ibesip.cz/files/=1582/Vliv_rychlosti.pdf>
- [30] *Statistická ročenka ministerstva dopravy*. 2009 [cit. 2011-4-4]. Dostupné z WWW: <https://www.sydos.cz/cs/rocenka_pdf/Rocenka_dopravy_2009.pdf>
- [31] *Bezpečná cesta do školy* [online]. 2008 [cit. 2011-4-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.minv.sk/?rady-a-odporucania-4&sprava=bezpecna-cesta-do-skoly>>
- [32] *Systém analýzy dopravních nehod na Novém Zélandu* [online]. 2007 [cit. 2011-4-19]. Dostupné z WWW: <<http://www.cdv.cz/file/clanek-system-analyzy-dopravnich-nehod-na-novem-zelandu>>
- [33] *Head-impact results* [online]. 2009 [cit. 2011-4-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.sae.org/automag/techbriefs/11-2001/04.htm>>
- [34] *Autoliv actively saving lives* [online]. 2009 [cit. 2011-4-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.sae.org/automag/techbriefs/11-2001/page2.htm>>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

CIC (Cranfield Impact Center)

EEVC (European Enhanced Vehicle-safety Committee)

Euro NCAP (European New Car Assessment Programme)

HIC (Head Injury Criteria)

PPA (Pedestrian Protection Airbag)

SUV (Sport Utility Vehicle)

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Klasický automobil, znázornění nárazu hlavy chodce při rychlosti 50 km/h a 70 km/h, chodec přechází kolmo na vozovku.

Příloha 2 – Automobil kategorie SUV, znázornění nárazu hlavy chodce při rychlosti 50 km/h a 70 km/h, chodec přechází kolmo na vozovku.

Příloha 3 – Automobil sportovní kategorie, znázornění nárazu hlavy chodce při rychlosti 50 km/h a 70 km/h, chodec přechází kolmo na vozovku.

Příloha 4 – Klasický automobil, znázornění nárazu hlavy chodce při rychlosti 50 km/h a 70 km/h, chodec přechází vozovku v úhlu 45°.

Příloha 5 – Automobil kategorie SUV, znázornění nárazu hlavy chodce při rychlosti 50 km/h a 70 km/h, chodec přechází vozovku v úhlu 45°.

Příloha 6 – Automobil sportovní kategorie, znázornění nárazu hlavy chodce při rychlosti 50 km/h a 70 km/h, chodec přechází vozovku v úhlu 45°.

Příloha 7 – Klasický automobil, znázornění nárazu hlavy chodce při rychlosti 50 km/h a 70 km/h, chůze zády ke směru projíždějící dopravy.

Příloha 8 – Automobil kategorie SUV, znázornění nárazu hlavy chodce při rychlosti 50 km/h a 70 km/h, chůze zády ke směru projíždějící dopravy.

Příloha 9 – Automobil sportovní kategorie, znázornění nárazu hlavy chodce při rychlosti 50 km/h a 70 km/h, chůze zády ke směru projíždějící dopravy.