

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2008

Bc. Jaroslav POBORSKÝ

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Aktivní kapota jako prvek pasivní bezpečnosti
osobního automobilu

Bc. Jaroslav Poborský

Diplomová práce

2008

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravních prostředků
Akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Jaroslav POBORSKÝ
Studijní program: N3708 Dopravní inženýrství a spoje
Studijní obor: Dopravní prostředky-Silniční vozidla
Název tématu: Aktivní kapota jako prvek pasivní bezpečnosti osobního automobilu

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Problematika ochrany chodců

- popis současného stavu (impaktory - měření)
- popis používaných systémů

Aktivní kapota

- význam, funkce, požadavky, testování
- návrh akčního členu
- výpočet

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování diplomové práce: tištěná
Seznam odborné literatury:

VLK, František. *Stavba motorových vozidel*. 1. vyd. Brno : Vlk, 2003. 499 s.
ISBN 80-238-8757-2.


VLK, František. *Karosérie motorových vozidel*. 2000. vyd. Brno : Vlk, 2000. 243 s.
ISBN 80-238-5277-9.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.
Katedra dopravních prostředků

Datum zadání diplomové práce: 18. února 2008
Termín odevzdání diplomové práce: 26. května 2008


prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.


doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.
vedoucí katedry

dne

SOUHRN

Diplomová práce se zabývá seznámením s problematikou ochrany chodců při střetu s osobním automobilem, rekapituluje používané systémy pro tuto ochranu, dále uvádí zkušební metody s pomocí impaktorů a navrhuje možnosti fungování systému aktivní kapoty.

KLÍČOVÁ SLOVA

ochrana chodců; bezpečnostní systémy; impaktory; aktivní kapota;

TITLE

Active bonnet like element of passive safety of passenger vehicle

ABSTRACT

This work is about recapitulation of used systems for pedestrian's protection in collision with passenger vehicle. The next point is about tests methods with impactors and project of possibilities system's function of active bonnet.

KEYWORDS

pedestrian protection; safety systems; impactor; active bonnet;

Obsah

Úvod	1
1. Bezpečnost vozidla	2
2. Srážka vozidla s chodcem	4
2.1 Biomechanika	4
2.2 Kinematika srážky	5
2.3 Rychlost vozidla	7
2.4 Faktory ovlivňující míru poranění chodce	7
2.5 Požadavky na karoserii a průběh kolize	10
3. Zkoušky dle EEVC	12
3.1 Zkoušky v oblasti kapoty	13
3.1.1 Určení geometrie	13
3.1.2 Kritická místa	14
3.1.3 Impaktor hlavy	15
3.1.4 Vyhodnocení	16
3.2 Oblast dolní části kapoty, masky a světel	16
3.2.1 Určení geometrie	16
3.2.2 Zjištění vstupních parametrů testu	17
3.2.3 Popis a rozměry impaktoru stehna	20
3.2.4 Vyhodnocení	21
3.3 Oblast nárazníku	21
3.3.1 Uspořádání zkoušky	22
3.3.2 Způsoby nastřelování a kompenzace gravitace	23
3.3.3 Popis impaktor dolní končetiny	25
3.3.4 Vyhodnocení	26
4. Systémy pro ochranu chodců	27
4.1 Systémy airbagů pro chodce	27
4.2 Noční vidění	28
4.3 Pre-crash sensing	29
4.4 eCall systém	30
5. Aktivní kapota	32
5.1 Základní prvky aktivní kapoty	34
5.1.1 Snímače nárazu	34
5.1.2 Řídící jednotka	37
5.1.3 Akční člen	37
5.1.4 Blokovací mechanismus	37
5.1.5 Zámek kapoty	38
5.2 Časový rozbor nehody a aktivace aktivní kapoty	38
5.3 Návrh způsobu zdvižení kapoty	39
5.3.1 Blokovací mechanismus	40
5.3.2 Akční člen	42
5.3.3 Odjišťovací mechanismus	43
5.3.4 Zámek kapoty	45
5.4 Návrh vinuté pružiny akčního členu s lineární charakteristikou	46
Závěr	52
Použitá literatura	54
Seznam tabulek, grafů, diagramů a obrázků	55

Úvod

Dopravu lze charakterizovat jako úmyslný pohyb dopravních prostředků po dopravní cestě a lze ji členit dle základních druhů (silniční, železniční, vodní, letecká atd.). Silniční doprava je chápána jako doprava, při níž se zajišťuje přemísťování osob a nákladu silničními vozidly, jakož i přemísťování silničních vozidel samých po pozemních komunikacích, dopravních plochách a ve volném terénu.

V současné době je nejrozšířenějším typem dopravy právě ta silniční, jelikož je schopna vyhovět kvalitativním požadavkům dopravního systému jak nákladní tak osobní dopravy (rychlost, spolehlivost, dostupnost, přizpůsobivost, pružnost atd.). Mezi základní charakteristiku a současně výhody tohoto druhu dopravy lze zařadit nejnižší dobu přepravy na krátké vzdálenosti, hustá síť silniční infrastruktury, pružnost (každé vozidlo je individuálně říditelné tzn. kdykoliv posláno k splnění dopravního úkolu) a také široká nabídka dopravních prostředků, které umožňují splnit požadavky přepravců.

S výhodami musí být současně zmíněny i některé nevýhody silniční dopravy. Mezi negativní vlivy patří mimo jiné hluk, produkce škodlivin do ovzduší, množství zastavených ploch, energetická náročnost, a také nehodovost.

Ve své diplomové práci jsem se zaměřil právě na dopravní nehody, konkrétně na nehody, kde aktivně vystupují chodci. Cílem mého úsilí je objasnění problematiky ochrany chodce při střetu s osobním vozidlem, metod měření, z nichž posléze vyplynou určitá kritická místa přední části karoserie, která musí být preventivně opatřena pasivními či aktivními prvky za účelem snížení rozsahu zranění chodce. Právě používané systémy jsou předmětem mé rešerše.

Hlavním cílem práce je návrh principu fungování aktivní kapoty, zejména členu, který za požadovaný čas a o žádoucí vzdálenost zdvihne zadní část kapoty a členu, jenž udrží kapotu zablokovanou v potřebné poloze. U návrhu akčního členu je nutné doplnit samotný návrh i výpočtem, který potvrdí vhodnost a reálnost zvoleného principu.

1. Bezpečnost vozidla

V nedávné minulosti se automobilky soustředily převážně na ochranu cestujících uvnitř vozidla, jelikož bezpečnost posádky v určité míře zobrazuje prestiž automobilky a zároveň kladně působí na potencialního zákazníka. Velký rozmach silniční dopravy samozřejmě násobně zvětšil interakci automobilové dopravy s jinými typy silniční dopravy. Po komunikacích se hlavně ve městech a jejich blízkosti pohybuje řada mnohem zranitelnějších účastníků silničního provozu. Zranitelnost motocyklistů, cyklistů, chodců atd. lze vyjádřit pomocí jejich relativní rychlosti a hmotnosti tzn. pomocí hybnosti vůči hybnosti automobilu s posádkou. Už na první pohled je jednoznačně vidět, že hybnost jedoucího automobilu je v porovnání s hybností např. chodce několikanásobně vyšší. Z tohoto důvodu vycházejí fyzikální zákony při vzájemném střetu příznivěji pro automobil s posádkou. Již z principu jednoznačně vyplývá, že kromě určité prevence není příliš prostoru ke zvyšování pasivní bezpečnosti z pohledu cyklisty nebo chodce pomocí nějakých zařízení, které by měli stále při sobě, proto se vývoj zaměřil na konstrukci automobilu. Z hlediska automobilky se jedná o nepopulární kroky, jelikož tím vznikají další náklady na vývoj, celkově se zvyšují náklady a tím i koncové ceny pro uživatele, ale neustálé zvyšování úrovně bezpečnosti musí být civilizovaném světě v popředí zájmu.

Provozní bezpečnost vozidla lze obecně rozdělit podle prvků, kterými je vozidlo vybaveno na aktivní a pasivní. Aktivní bezpečnost zahrnuje veškerá opatření, jež vedou ke snížení možnosti vzniku nehody. Naopak pasivní bezpečnost už počítá s tím, že k nehodě došlo a svými vlastnostmi zmenšuje následky dopravní nehody. Automobily tedy dostávají do své výbavy taková zařízení, jež poskytují posádce i okolí větší ochranu při kolizi. Tyto zařízení lze tedy dále rozčlenit do dvou základních skupin, podle toho komu v daném okamžiku poskytují ochranu. Vnitřní bezpečnost zahrnuje opatření k zabránění nebo zmenšení zranění posádky a vnější bezpečnost se zabývá provedením obrysu vozidla tak, aby zranění ostatních účastníků silniční dopravy včetně chodců bylo co nejmenší.

Ucelený přehled problematiky bezpečnosti je znázorněn na *diagramu 1*

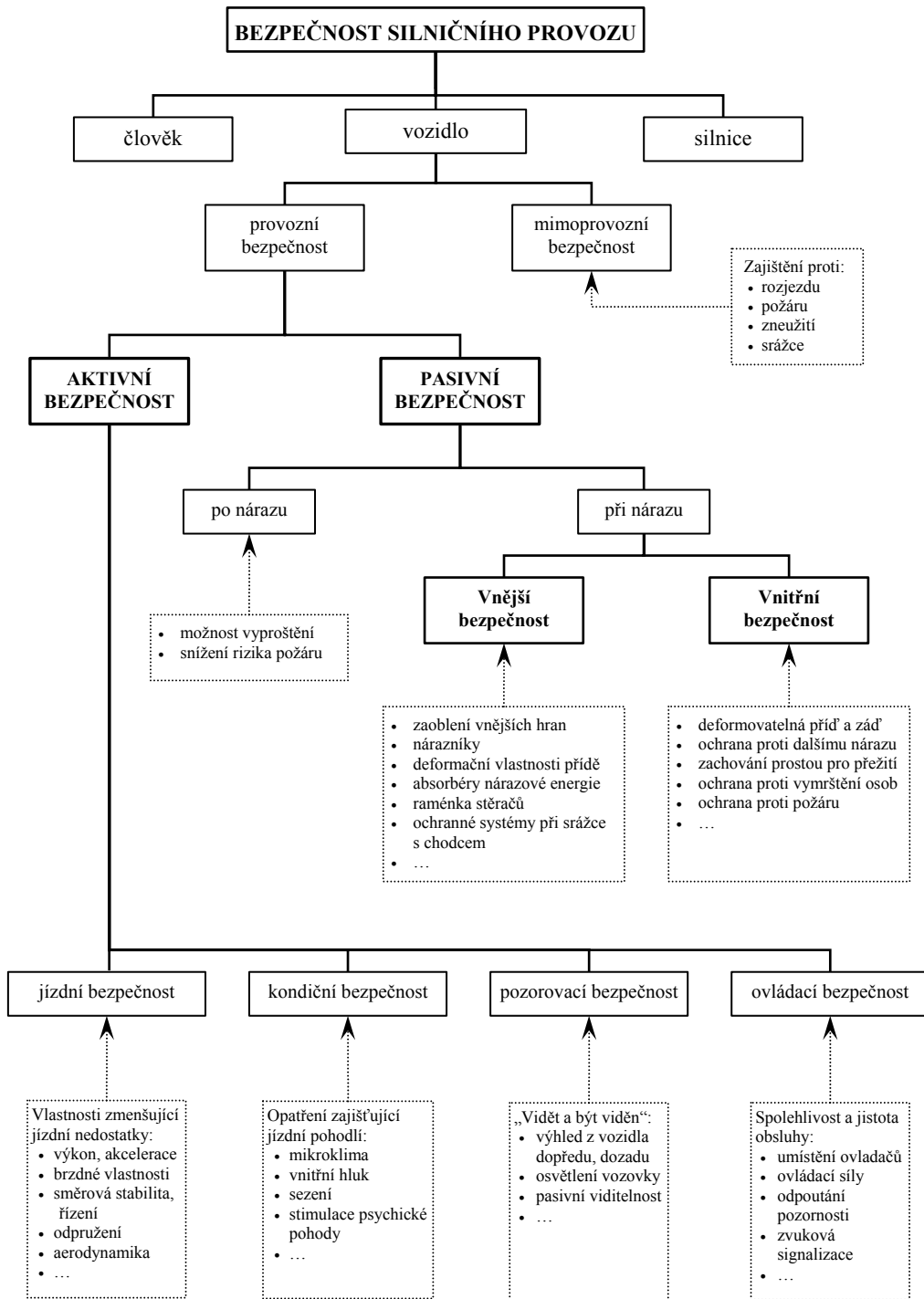


Diagram 1 Bezpečnost silničního provozu [2]

2. Srážka vozidla s chodcem

2.1 Biomechanika

Snaha předejít vážným následkům dopravních nehod a jejich negativním ekonomickým a sociálním dopadům není pouze otázkou technickou, ale vyžaduje stále odbornější rozbor vzájemných vlivů obou základních činitelů, které se na důsledcích nehody podílejí, člověka a vozidla. Je třeba správně vyhodnotit složité mechanismy úrazu a navrhnout vhodná technická řešení. Všechny experimenty s vozidly a prvky nahrazující člověka však ztrácejí význam, pokud přesně neznáme hranice zatížení, které člověk vydrží bez újmy.

Vědním oborem, který popisuje mechanismus poranění a zkoumá mechanickou odolnost lidského těla se nazývá biomechanika. Jejím úkolem je vyšetřovat zatížitelnost částí lidského těla, které jsou při nehodách nejčastěji zraňovány a stanovit příslušné mezní hodnoty, aby bylo možno přezkoušet bezpečnostní opatření na vozidle. Při vývoji bezpečnostních limitů se vychází z mezí zatížení, které jsou určeny z pokusů na zvířatech a lidských mrtvolách. Během těchto pokusů dochází ke zlomeninám a poškození orgánů. Hranice mezi přípustnými a nepřístupnými hodnotami jsou tzv. kritéria poranění, z nichž jsou pak s určitou mírou bezpečnost odvozeny skutečné bezpečnostní limity. Právě tyto bezpečnostní limity představují tu mezní hodnotu mechanického zatížení (síly a zrychlení), které měříme a nesmí být překročeny na zkušebních prvcích a figurínách.

Biomechanika sleduje řadu faktorů, z nichž především:

- maximální zrychlení a zpomalení;
- střední hodnotu zrychlení;
- výsledné zrychlení;
- dobu trvání zrychlení;
- změny hodnot zrychlení v závislosti na čase;
- lokalizaci sil působících na tělo a jejich rozložení.

Mezi nejdůležitější biomechanické limity patří:

- maximální zatížení člověka při zpoždění;

- poranění hlavy s průměrnými a kritickými hodnotami pevnosti lebky a odolnosti lebky vůči poranění;
- poranění hrudníku a některých vnitrohrudníkových orgánů;
- poranění vnitrobřišních orgánů;
- mezní hodnoty pevnosti obratlů, páteře a pánve, rozsah a kritické hodnoty pevnosti kostní pánve.

Zranění hlavy je nejčastější a také nejnebezpečnější důsledek nárazu. Dochází k němu při více než 70% dopravních nehod a je také nejčastější příčinou smrti. Pro zjištění míry poranění hlavy se používá index zatížení hlavy *HIC* (Head Injury Criterion), pro který platí vztah

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

kde t_1, t_2 [s] jsou doby, mezi kterými leží maximum indexu *HIC* a a_r [g] je výsledné zpoždění hlavy

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

Hranice $HIC=1000$ se považuje za mezní hodnotu, při které nedojde k vážným zraněním hlavy.

2.2 Kinematika srážky

Mezi nejvíce ohrožené účastníky silničního provozu lze zařadit chodce. Jejich zranitelnost spočívá v prakticky nulové ochraně a absenci jakéhokoliv bezpečnostního prvku na chodcově těle. Následky srážky lze tedy zmírnit pouze bezpečnostními prvky a systémy jimiž je vybaven automobil.

Relativní rychlost vozidla vůči chodci je zpravidla z hlediska destrukčních účinků na chodce značná. Ve většině případů dochází k prvnímu kontaktu v oblasti předního nárazníku a v případě dospělého člověka v kolenní části dolní končetiny. V případě dítěte se styk odehrává ve vyšších partiích těla. Podle věku dítěte se jedná o partie pánve až hrudníku.

Při nárazu (primární ráz) rychlosti zhruba 40 km.h^{-1} se začne dolní končetina odvalovat po čele vozidla tvořeného zpravidla nárazníkem, maskou chladiče, světlý a spodním okrajem kapoty. Dochází ke strhnutí celého těla ve směru jízdy vozidla a chodec získává přibližně stejnou rychlost jako vozidlo a pohybuje se posuvným pohybem. Primární ráz trvá přibližně 30 ms od prvního kontaktu. V tomto okamžiku tělo získává rotaci jelikož horní část těla není doposud nijak namáhána a má tedy snahu zůstat na místě nárazu. Následující pohyb je tedy současně posuvný a rotační. Dolní končetiny jsou vymrštěny vzhůru a otáčí se kolem těžiště těla, horní část chodcova těla se díky rotaci a gravitační síle pohybuje směrem ke kapotě. V okamžiku dopadu má hlava, jako poměrně hmotná část těla spojená s tělem pružným a málo tuhým krkem, velkou obvodovou rychlost a díky své hmotnosti i velký moment setrvačnosti. Z tohoto pohledu se právě hlava s krkem stává nejzranitelnější částí lidského těla. Tato etapa trvá zhruba 150 ms od prvního kontaktu s vozidlem. Dalším průběhu se následkem brzdění vozidla chodec odpoutá a narazí na vozovku (sekundární ráz), kde jeho rychlost poklesne na nulu, případně narazí na další překážku – obrubník, jiné vozidlo, přejetí (terciární ráz).

Kinematice pohybu chodce odpovídají i zranění, která jsou při srážce chodci způsobena. K méně vážným zraněním nejvíce dochází u dolních končetin (zhruba ze 37 %) a zranění hlavy (zhruba z 35%). Vážná zranění se prakticky z drtivé většiny týkají (asi 80 %) pouze hlavy, jak je vidět z *obr. 1*.



Obr. 1 Podíl zranění jednotlivých částí těla [12]

2.3 Rychlost vozidla

Nepříměřená rychlost se podílí nebo spolupodílí na vzniku většiny nehod a je nejvýznamnějším činitelem určující rozsah následků. Platí to nejen vzhledem k osobám cestujících vnitř vozidla, ale zejména k nechráněným účastníkům silničního provozu.

Schopnosti člověka jako řidiče jsou omezeny především jeho reakční dobou. Prvotní příčinou dopravních nehod, u kterých je za hlavní důvod označována nepříměřená rychlost, je časová prodleva a tomu odpovídající ujetá vzdálenost od spatření nebezpečí po schopnost na tento stav příslušným způsobem reagovat.

Rychlost jízdy vozidla má zásadní vliv na pravděpodobnost usmrcení chodce při střetu, konkrétní hodnoty zobrazuje *tab. 1*.

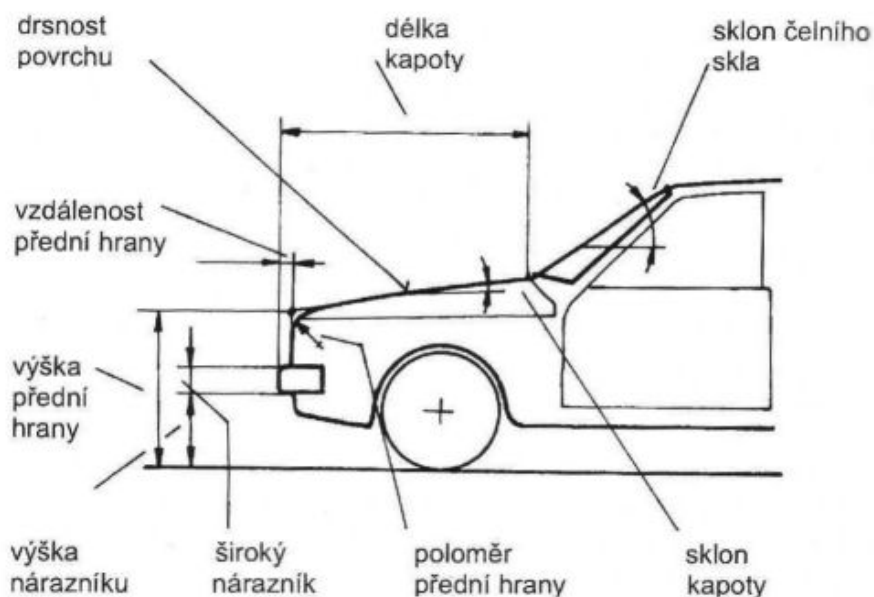
rychlost vozidla [km.h ⁻¹]	30	40	50	60	70	80
podíl usmrcených chodců	10%	20%	50%	80%	90%	95%

Tab. 1 Pravděpodobnost usmrcení chodce při střetu s vozidlem

2.4 Faktory ovlivňující míru poranění chodce

Výše popsaná kinematika a míra poranění je určována dvěma okolnostmi – místem a druhem nárazu.

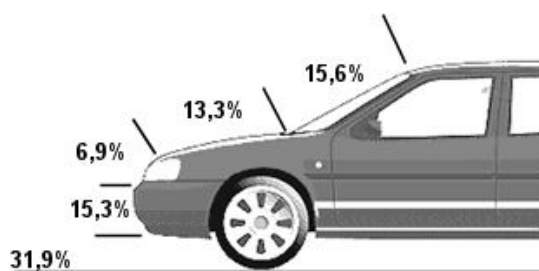
Místem nárazu chápeme styk části těla chodce s částí vozidla resp. s vozovkou. Při primárním nárazu je ochrana chodce závislá na geometrii přední části vozidla. Na *obr. 2* jsou znázorněny základní parametry přídě, jenž mají vliv na ochranu chodců.



Obr. 2 Části vozidla ovlivňující ochranu chodců [2]

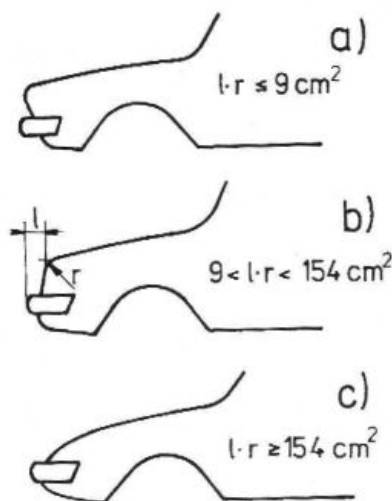
Místo kolize je zásadně ovlivněno tělesnou výškou, rozložením hmotnosti a polohou chodce vzhledem k vozidlu. Výrazný rozdíl nastává při srážce dospělého vysokého člověka a při srážce např. dítěte předškolního věku při jinak stejných podmínkách. Hlavní a nejdůležitější rozdíl spočívá v místě naražení hlavy na pevnou část vozidla.

Druh kolize je určován nárazovou rychlostí, směrem nárazu naražené části těla chodce, tvarem a tuhostí místa nárazu na vozidle. Nejproblematictějšími partiemi přední části vozidla z hlediska zranění chodce jsou vrchní okraj kapoty s čelním sklem a okenní sloupky (15,6 % zranění), přední nárazník (15,3 %) a samotná kapota (13,3 %). Nelze však opomenout ani oblast masky chladiče, světel a předního okraje kapoty, které se na zranění podílí necelými 7 %. Odhaduje se, že celých 31,9 % zranění, která chodec při nehodě utrpí, jsou způsobena pádem chodce na vozovku, jak je uvedeno na *obr. 3*



Obr. 3 Procentuelní podíl zranění chodce v dané oblasti vozidla [12]

Průběh pohybu a zatížení chodce závisí na tvaru profilu karoserie. V závislosti na velikosti součinu vzdálenosti přední hrany kapoty od nárazníku a poloměru přední hrany kapoty rozeznáváme tři základní tvary profilů předí osobních automobilů: lichoběžníkový, pontonový a klínový (obr. 4)



Obr 4. Typické tvary profilu předí [2]
a) lichoběžníkový, b) pontonový, c) klínový

U nejvíce rozšířených osobních automobilů s pontonovým tvarem předě je nejvýraznější náraz na pánev, který u dospělých osob vzniká pod těžištěm těla téměř současně s prvním kontaktem nohou s nárazníkem. Od rychlosti asi $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ dochází díky točivému impulsu chodce k nadzvednutí těžiště těla a nárazu hlavy do oblasti příčné části a čelního skla. U vozidel s klínovým tvarem předě vzniká náraz na pánev později a je kratší. Točivý impuls nárazem na nohy je větší, tím je také větší nadzvednutí těžiště těla a dochází k větší výšce vrhu chodce na kapotu. Hlava naráží již při nižších rychlostech na oblast čelního skla. Doba styku chodce s vozidlem je kratší než u pontonového profilu předě. Při střetu chodce s předí karoserie skříňového tvaru je chodec téměř současně zachycen po celé výšce. K nadzvednutí těla nedojde a doba styku je velmi krátká. Proto je vodorovná rychlost uvolnění chodce mnohem větší než u pontonových a klínových předí.

Druh dopadu chodce závisí také na tvaru předě. Srážka malého dítěte s vozidlem s pontonovým profilem předě má stejný průběh jako srážka dospělého člověka s vozidlem se skříňovou předí. Otáčivý impuls u vysoké předě při srážce s dítětem se obrací, tzn. horní část těla dítěte se pohybuje směrem od vozidla, ovšem teprve po nárazu hlavy na kapotu.

Velmi důležité jsou tuhosti karoserie v oblasti nárazu nohou, kyčle, hrudníku a hlavy. Tyto tuhosti by měly být přizpůsobeny biomechanickým limitům chodce. Bezpečnost chodce ovlivňuje tuhost těchto několika základních částí karoserie: nárazník, přední hrana, kapota, příčná část, čelní sklo, střešní rám, okenní sloupek a boční díly. Tuhostí je myšlena celková posouvateľnost a místní poddajnost.

2.5 Požadavky na karoserii a průběh kolize

Z analýzy nehod při nichž dojde ke srážce vozidla s chodcem, a z experimentálního i teoretického simulování těchto nehod plynou některé závěry a požadavky na průběh pohybu chodce při srážce a z tohoto pak požadavky na tvar a poddajnost karoserie.

Požadavky na průběh pohybu chodce po kolizi s vozidlem:

- náraz by měl probíhat v pořadí nohy – pánev – hrudník – hlava;
- doba styku chodce s vozidlem co nejdelší (odvalování, smýkání, deformace);
- výška vrhu co nejmenší, aby nedošlo k těžkému nárazu na vozovku;
- zabránění odrazu dětí směrem dopředu dolů, jelikož hrozí nebezpečí přejetí.

Požadavky na tvar karoserie:

- nárazník mírně vyčnívající před vozidlo;
- nárazník nemá být příliš vysoko, aby nedošlo k poranění kolen;
- nárazník nemá být příliš nízko, aby nevznikl velký točivý impuls a vysoká rychlost nárazu hlavy na vozidlo;
- malá vozidla s krátkou kapotou by měla mít výraznou, ovšem poddajnou, přední hranu kapoty (přední hrana kapoty je posunuta jen o malou vzdálenost za nárazníkem – tím je možné docílit že chodec je zasažen těsně pod svým těžištěm, čímž se zkrátí délka vrhu);
- jestliže je přední hrana tuhá, pak je nutno posunout ji dále za nárazník;
- délka kapoty co největší, aby již při malých kolizních rychlostech nenarazila hlava chodce na tvrdou oblast rámu čelního skla. Čím je doba styku při primárním rázu delší, tím menší je vodorovná rychlost chodce a tím menší poranění při dopadu na vozovku a terciárních nárazech. Čím méně výrazná je přední hrana, tím delší by měla být kapota;

- výška přední hrany by neměla být extrémně velká nebo malá. Nízká poloha přední hrany má za následek větší točivý impuls, který vyvolá větší úhel natočení chodce a tím nebezpečí nárazu hlavou na vozovku je větší. Zároveň nízká poloha hrany zvětšuje výšku vrhu a tím zvětšuje nárazovou rychlost chodce na vozovku;
- sklon kapoty by měl být malý (0 až 6°);
- sklon čelního okna plochý, zaoblený tvar čelního skla v půdorysu.

Požadavky na poddajnost:

- dimenzování tuhosti nárazových oblastí by mělo být takové, aby nebyly překročeny biomechanické limity jednotlivých částí lidského těla;
- je nutno vyvarovat se tvrdým místům. Kapota by měla být po celé ploše pokryta měkkým materiálem, zvláště její přední třetina kvůli dětem. Pro dospělé osoby by měla mít určitou poddajnost oblast čelního okna a příčné části.

Je zřejmé, že faktory ovlivňující bezpečnost chodců a z nich vyplývající požadavky mohou být v rozporu s požadavky na bezpečnost posádky uvnitř vozu. Nezbytnou nutností je tedy hledání určitého kompromisního řešení.

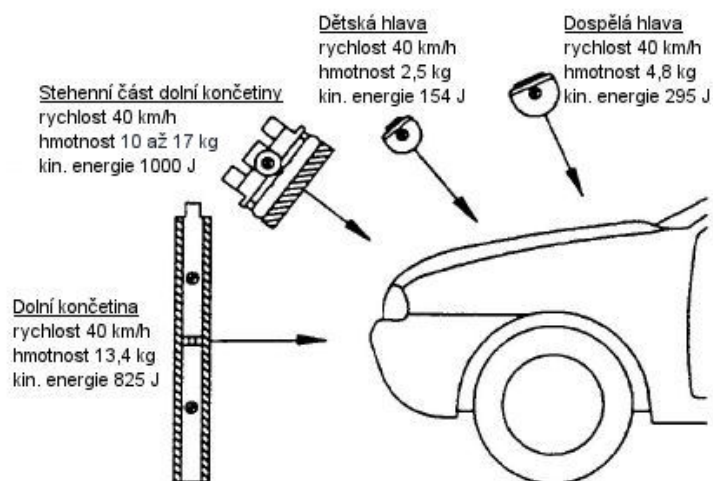
3. Zkoušky dle EEVC

V Evropě v současné době působí několik organizací zabývajících se problematikou ochrany chodců, z nichž dvě lze zařadit mezi základní. První z nich je EEVC (European Enhanced Vehicle-safety Committee), a to konkrétně specifikace WG 17, kde jsou podrobně uvedeny jak informace a podklady získaných z nehod, biomechanických analýz, různých zkoušek, modelování, tak i přesný popis a podmínky porovnávacích a homologačních fyzických zkoušek na automobilu, technické požadavky na testovací náčiní a jejich certifikaci. Druhou z nich je Euro NCAP, která prakticky přebírá požadavky vydané EEVC a provádí již samotné fyzické zkoušky, které posléze zveřejňuje. Existují zde tak kritéria pro homologaci nových vozů a současně je zde pro veřejnost možnost souměřitelného porovnání jednotlivých typů vozidel.

EEVC WG17 je definující a prováděcí předpis k fyzickým zkouškám bezpečnosti a ochrany chodců. Testy, které by používaly jako testovací nástroj figurínu celého lidského těla se doposud nevyužívají, svůj účel ale mají při testu systému aktivní kapoty (kapitola 5). Dostačujícími nástroji pro zkoušky jsou tzv. impaktory, jenž jsou určitým modelem či představitelem konkrétní části lidského těla.

Vlastní zkoušky jsou tedy rozděleny do tří oblastí:

1. **test dolní končetiny na nárazník vozidla** – na tento typ testu se používá model celé dolní končetiny včetně kolenního kloubu prakticky až na chodidlo
2. **test stehenní části dolní končetiny na spodní hranu kapoty** – na tento typ testu se používá impaktor představující stehenní část horní končetiny
3. **zkouška nárazu hlavy na kapotu** - na tento typ testu se používají dva typy impaktorů hlavy a to sice impaktor hlavy dospělého člověka a impaktor hlavy dítěte, které se od sebe liší velikostmi i hmotnostmi. Třetím používaným typem byl do roku 2005 i impaktor malé dospělé hlavy.



Obr. 5 Zkušební metody ochrany chodců dle EEVC WG17 [13]

Automobily, u kterých světlá výška nárazníku převyšuje 500 mm se navíc provádí zkouška nárazu impaktorem stehna na nárazník. Jednotlivými zkouškami se podrobněji zabývají následující kapitoly.

3.1 Zkoušky v oblasti kapoty

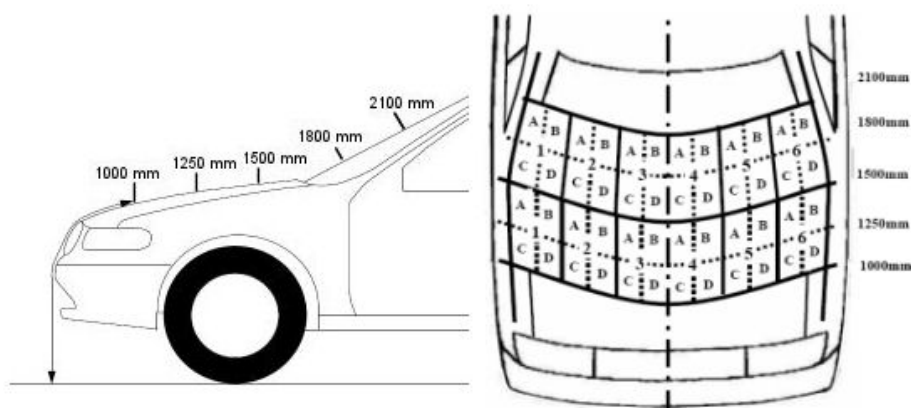
Dojde-li ke střetu osobního vozidla s chodcem, je právě kapota nejvýznamnější část automobilu, protože tam při převážné většině srážek dopadne hlava chodce, která je nejvíce zranitelnou částí těla. Z tohoto důvodu je oblasti kapoty při testech věnována maximální pozornost.

3.1.1 Určení geometrie

Předpis EEVC WG17 obsahuje rovněž podmínky laboratorní zkoušky. Týkají se zařízení, kterými se zkouška provádí, prostředí i automobilu, na kterém se test uskutečňuje.

Důležitým procesem je stanovení míst kam bude směřován náraz příslušného impaktoru. V případě testování impaktorem hlavy je nezbytně nutné na kapotu načrtnout síť, která nám právě tyto zóny nárazu jednoznačně vymezuje. Síť mimo jiné rozděluje zkušební oblast na dvě části – oblast pro test impaktorem dětské hlavy a oblast pro test dospělé hlavy. Tyto oblasti se konstruují tak, že boční hranice zóny možného dopadu jsou určeny rovnou hranou 700 mm dlouhou, svírající s podložkou a boční částí vozidla úhel 45° - získáme tak boční

čáry. Příčné hranice se naměřují na podélnou osu vozidla pomocí pružného měřidla (např. pásma).



Obr. 6 Tvorba sítě [13]

Začátek měřidla umístíme na povrch vozovky a vedeme svislici k prvnímu bodu dotyku s přední částí vozidla, zpravidla se jedná o nárazník. Nad tímto bodem pak pružné měřidlo volně kopíruje povrch vozidla až do vzdálenosti 1000 mm odečtenou na měřidle. Tento postup provedeme po celé čelní části a získáme tak spodní hranici zóny dopadu. Další hranice se vytvářejí obdobným způsobem a to ve vzdálenosti 1500 mm a 2100 mm . Získáme tak již zmíněné oblasti pro testování impaktorem dětské hlavy ($1000\text{ mm} - 1500\text{ mm}$) a impaktorem dospělé hlavy ($1500\text{ mm} - 2100\text{ mm}$). Horní hranice nemusí být nutně tvořena vzdáleností 2100 mm , protože ta je často omezena spodním okrajem čelního skla a A-sloupky, na které se náraz neprovádí. Přesto se i tato hranice zakresluje ačkoliv zasahuje i do těchto míst (skla a A-sloupků). Kompletní síť nám vznikne až tehdy, když zóny pro dětskou a dospělou hlavu rozdělíme na menší. Nejdříve každou zónu rozdělíme podélně s osou vozidla na šestiny (označíme zprava doleva čísla $1 - 6$) a tyto ještě podélně i svisle na poloviny (označíme písmeny A, B, C, D). Někdy se používá ještě elementárnější dělení, které slouží pro přesnější určení bodů dopadu, ale předpis toto nevyžaduje.

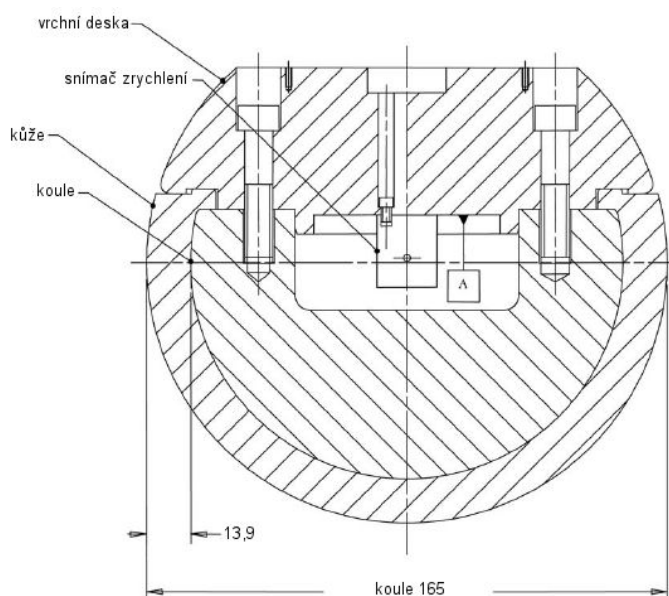
3.1.2 Kritická místa

Body nárazu impaktoru na kapotu jsou stanoveny zcela záměrně. Vytipují se taková místa, kde se předpokládá vyšší hodnota indexu HIC. Převážně se jedná o místa, která jsou určitým způsobem vyztužena, nebo místa se zmenšeným prostorem pro následnou deformaci. Za kritická místa lze považovat oblasti závěsů kapoty, tvarování spodního výstužného plechu

kapoty, různé prolisy a lemy na kapotě, atd. Podstatné jsou rovněž všechny pevné části motoru, resp. karoserie, které vystupují nad ostatní a jsou v těsné blízkosti kapoty. Deformační prostor je v tomto případě omezen a zvyšuje se tak riziko poranění. Tato kritická místa je nutné na kapotu naznačit a poté testovat. Volba kritických míst záleží na zkušenostech a norma toto nijak neupravuje. Předpisy pouze vyžadují, aby byly provedeny nejméně tři nárazové testy, každý do jedné z třetin dané oblasti pro dětskou i dospělé hlavu.

3.1.3 Impaktor hlavy

Základními zkušebními nástroji jsou impaktor dětské hlavy a impaktor hlavy dospělé. V obou případech se jedná tělesa tvaru koule, jejichž jádro je ze slitiny hliníku pokryté vinylovou kůží a uzavřené vrchní deskou. Uvnitř v těžišti impaktoru je umístěn jeden tříosý (popř. tři jednoosé) snímače zrychlení. Impaktory se nijak kromě rozměrů, hmotností a tloušťky vinylové kůže od sebe zásadně konstrukčně neliší. Základní parametry impaktoru dospělé hlavy jsou uvedeny na *obr. 7*.



Obr. 7 Impaktor dospělé hlavy [13]

Při samotné zkoušce je pak impaktor vystřelován vodícím zařízením proti konkrétnímu místu na kapotě a v okamžiku nárazu by se jeho rychlost měla pohybovat $11,1 \pm 0,2$ m/s. Úhel dopadu u impaktoru dětské hlavy by se měl pohybovat v rozmezí $50^\circ \pm 2^\circ$ u dospělé $65^\circ \pm 2^\circ$ měřených od vodorovné vztahné roviny.

3.1.4 Vyhodnocení

Při nárazu impaktoru na kapotu se snímá okamžitá hodnota zrychlení, resp. její časový průběh, který slouží jako podklad pro výpočet hodnoty udávající míru poranění tzv. HIC (Head Injury Kriteria), o kterém byla řeč v kapitole 2.1. Jedná se o integrál zrychlení impaktoru v průběhu kontaktu s překážkou (plocha pod křivkou omezená časovým intervalem).

$$HIC = (t_2 - t_1)_{\max} \left[\frac{\int_{t_1}^{t_2} a_r dt}{t_2 - t_1} \right]^{2,5}, \text{ kde výsledné zpoždění hlavy je } a_r = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

Hodnota HIC by se měla v kterémkoli místě kapoty pohybovat pod hodnotou 1000 s časovým omezením max. 15 ms. Vyhodnocení, tedy výpočet HIC se provádí pomocí počítače. Hranice HIC = 1000 byla stanovena mezní hodnotou, při které nedojde k vážným zraněním hlavy.

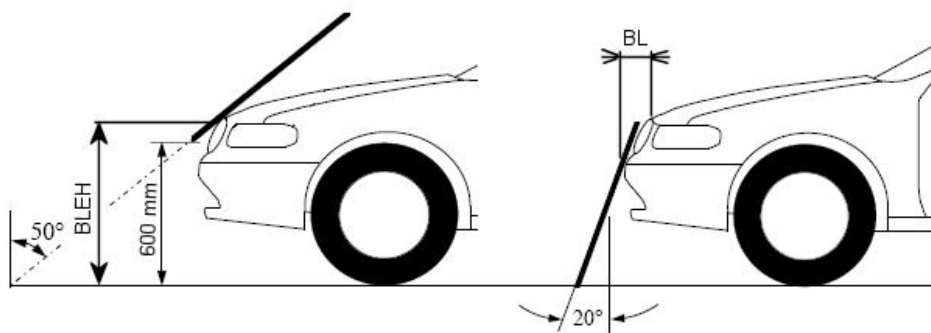
3.2 Oblast dolní části kapoty, masky a světel

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.3 je oblast dolní části kapoty, masky a světel takovou partií osobního automobilu, kde dochází ke zranění chodce v nejmenší míře, přesto však nelze tuto oblast zanedbat, protože při srážce jsou tyto čelní části ve většině případů v kontaktu se stehenní částí dolní končetiny a způsobují chodci vážná zranění jako jsou zlomeniny převážně stehenní kosti, ale také kyčle a pánve. Pro testování této oblasti se používá impaktor stehna, který představuje stehenní část dolní končetiny.

3.2.1 Určení geometrie

Test se provádí nárazem impaktoru stehna na referenční čáru hrany kapoty (bonnet leading edge reference line). Tato čára je množinou dotekových bodů kapoty (resp. světel, masky) s rovnou 1000 mm dlouhou rovnou hranou, svírající se svislicí úhel 50° vstříc přední části vozidla a jejíž spodní konec je ve výšce 600 mm nad zemí. Pro přesné určení parametrů nárazu impaktoru v konkrétním bodě je nutné znát také výšku tohoto bodu na referenční čáře

nad zemí (bonnet leading edge hight - BLEH), která slouží jako vstupní hodnota pro odečítání na grafech uvedených níže.



Obr 8. Určení parametrů BLEH a BL [13]

Dále se ještě určuje horní referenční čára nárazníku, která je opět množinou bodů vzniklých dotekem 700 mm dlouhé rovné hrany skloněné od svislice vstříc vozidlu o 20° a jejíž dolní konec se dotýká země. Na tuto referenční čáru se náraz impaktorem stehna neprovádí, ale slouží nám k určení předsazení nárazníku (bumper lead - BL). Jedná se vlastně o vodorovnou vzdálenost mezi dvěma body na referenční čáře hrany kapoty a horní referenční čáře nárazníku ležících ve svislé rovině rovnoběžné s podélnou osou vozidla. Opět se jedná o vstupní parametr pro odečítání z grafů a určuje se pro konkrétní bod nárazu impaktoru na referenční čáru hrany kapoty.

U vozidel, která mají spodní hranu nárazníku ve výšce nad 500 mm se provádí náraz impaktorem stehna rovněž na nárazník a nahrazuje se tak test nárazu celé dolní končetiny. Jelikož však převážná většina osobních vozidel má spodní hranu nárazníku pod hranicí 500 mm, není nutné se dále tímto typem testu zabývat.

3.2.2 Zjištění vstupních parametrů testu

Zjištěné geometrické parametry nám dále poslouží k určení dalších parametrů a veličin, jenž jsou vstupními hodnotami pro vlastní zkoušku. Těmito veličinami jsou úhel a rychlost nárazu, pomocí nichž určíme, z experimentálně vytvořených grafů, hmotnost samotného impaktoru.

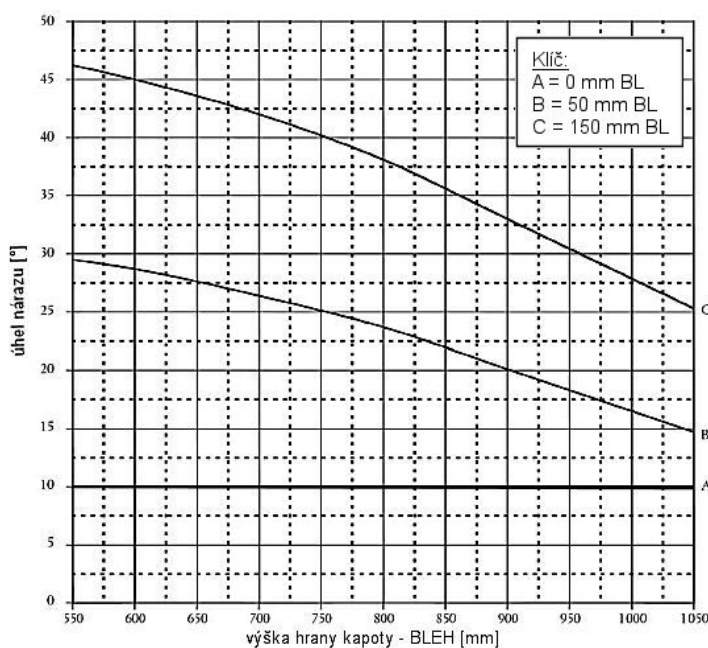
Určení hmotnosti impaktoru popisuje následující příklad:

Bod, který by měl být cílem impaktoru stehna je určen parametry BLEH = 760 mm a BL = 170 mm.

Nejprve se určí úhel nárazu. Na osu x grafu 1 vyneseme hodnotu BLEH a na ose y budeme dohledávat úhel nárazu [°]. Výběr křivky A, B nebo C se řídí parametrem BL: A = 0 mm BL, B = 50 mm BL a C = 150 mm BL. V našem případě je hodnota parametru BL rovna hodnotě 170 mm a je tak větší, než nám vymezuje křivka C, přesto však není nutná interpolace a hodnotu úhlu nárazu budeme uvažovat takovou, která odpovídá hodnotě křivky C, tedy 39°.

Dále budeme určovat rychlost nárazu impaktoru, ke kterému nám poslouží graf 2. Hodnotu BLEH vyhledáme na ose x a parametr BL na ose y . Křivky nám tentokrát určují hodnotu nárazové rychlosti impaktoru. Jelikož průsečík vnesených hodnot BLEH a BL se nachází mezi křivkami pro rychlosti $30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a $35 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, musí se pro přesnější určení rychlosti nárazu přistoupit k horizontální interpolaci mezi těmito křivkami. Po této interpolaci lze dospět přibližně k výsledné hodnotě $31,1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

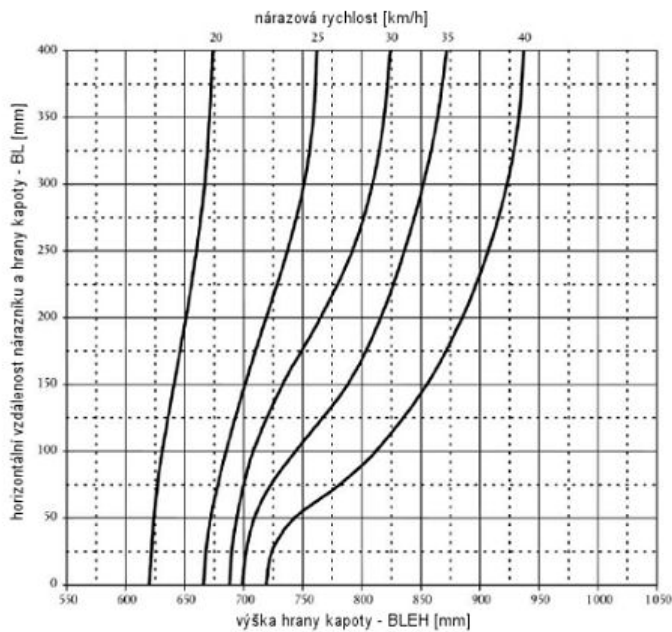
Pomocí třetího grafu určujeme kinetickou energii nárazu impaktoru. Opět zde využijeme hodnoty předsazení nárazníku BL a výšku bodu nárazu na referenční čáře BLEH. Zde je však rozdíl v tom, že tentokrát se již musí vertikálně interpolovat mezi mezními křivkami pro BL, jelikož naše hodnota leží mezi křivkami C = 150 mm a D = 250mm. Výsledkem interpolace je pak hodnota nárazové energie 600 J.



Graf 1 Graf pro odečtení parametrů [13]

Poznámky:

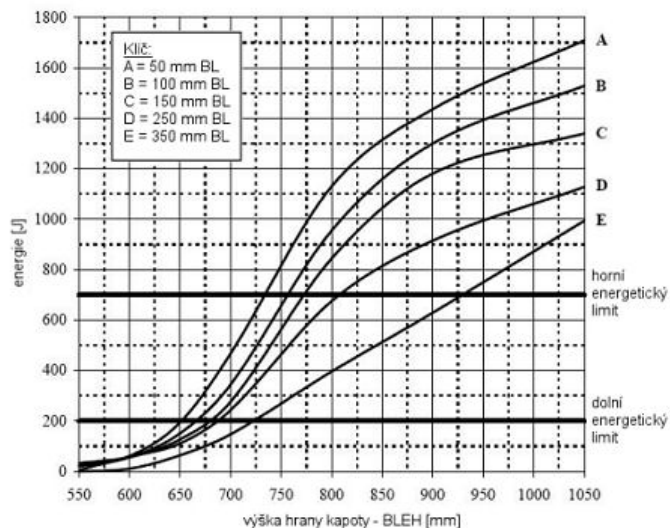
1. Interpolovat vertikálně mezi křivkami
2. Negativní BL testovat jako nulové BL
3. BL nad 150 mm testovat jako 150 mm
4. BLEH nad 1050 mm testovat jako 1050 mm



Graf 2 Graf pro odečtení parametrů [13]

Poznámky:

1. Interpolovat horizontálně mezi křivkami
2. Při rychlosti menší jak 20 km/h testovat jako při 20 km/h
3. Při rychlosti větší jak 40 km/h testovat jako při 40 km/h
4. Při negativním BL testovat jako při nulovém BL
5. Při BL větší jak 400 mm testovat jako při 400 mm



Graf 3 Graf pro odečtení parametrů [13]

Poznámky:

1. Interpolovat vertikálně mezi křivkami
2. Při BL menší jak 50 mm testovat jako 50 mm
3. Při BL větší jak 350 mm testovat jako 350 mm
4. Při BLEH větší jak 350 mm testovat jako 350 mm
5. U energie větší jak 700 J testovat jako při 700 J
6. U energie menší jak 200 J testovat jako při 200 J

Známe-li kinetickou energii a dopadovou rychlost, lze jednoduchým výpočtem uskutečnit poslední krok, a to výpočet samotné hmotnosti impaktoru.

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \Rightarrow m = \frac{2 \cdot E_k}{\left(\frac{v}{3,6}\right)^2} = \frac{2 \cdot 600}{\left(\frac{31,1}{3,6}\right)^2} = 16,08 \Rightarrow m = 16,1 \text{ kg}$$

V předchozích odstavcích byl popsán proces výpočtu hmotnosti, nárazové rychlosti a úhlu nárazu impaktoru. Je zřejmé, že pro každý vybraný bod na referenční čáře se musí provést tento výpočet. Jedná se tedy o zdlouhavý postup, a proto pro test vybíráme hlavně určitá

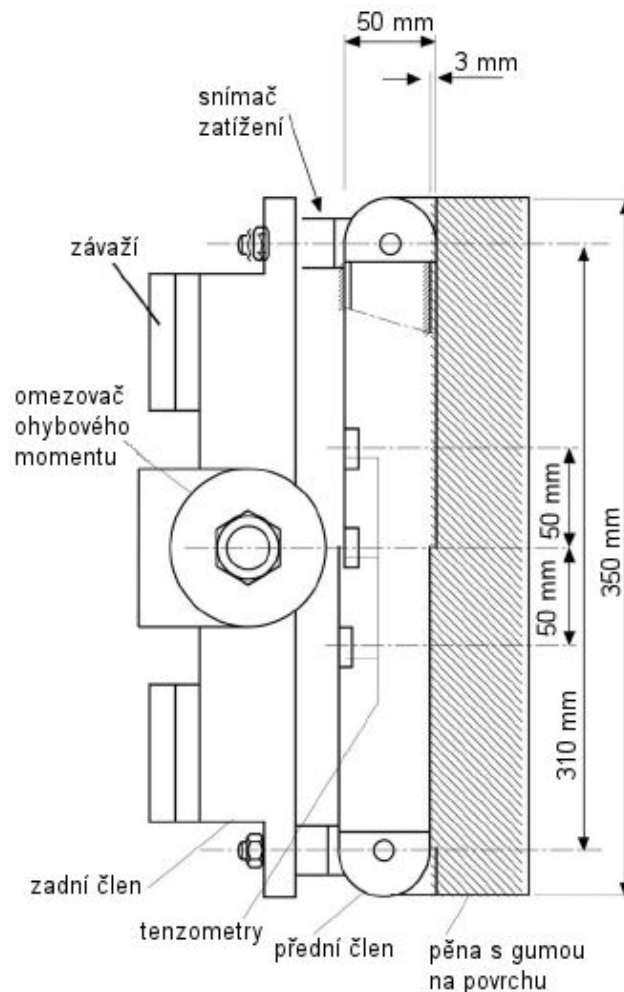
vytipovaná kritická místa tak, aby byl test proveden minimálně jednou do každé třetiny, na které je oblast hrany spodní části kapoty rozdělen.

3.2.3 Popis a rozměry impaktoru stehna

Impaktor stehna tvoří tři základní části:

- nosné rameno - slouží k upevnění do vodícího a vystřelovacího systému;
- nosné těleso (zadní část) – je tuhá část impaktoru, která je určena k uchycení závaží, jimiž se pro daný náraz nastavuje požadovaná hmotnost impaktoru. Nosné těleso je k nosnému rameni zajištěno přes v jedné rovině otočný kloub, jehož tuhost je nastavena na omezující ohybový moment min. $650 Nm$, tak aby nedošlo k případnému poškození impaktoru;
- přední nárazová část – je tvořena ocelovou trubkou vnějšího průměru $50 mm$ a tloušťkou stěny $3 mm$, která je chráněna dvěma pásy $25 mm$ tenké pěny a $1,5 mm$ tenkým plátem syntetické kůže stočenými kolem trubky do „U“. Trubka je na zadní stěně opatřena třemi tenzometry z jimiž měřených hodnot se určuje okamžitý ohybový moment. Přední část je k nosnému tělesu připevněna dvěma snímači síly. Hmotnost přední části bez pěny a kůže je stanovena na $1,95 \pm 0,05 kg$ a hmotnost pěny s kůží na $0,6 \pm 0,1 kg$.

Celková hmotnost impaktoru je upravována pomocí závaží na hodnoty v rozmezí 10 až $17 kg$. Co se týče rozměrů, jsou určeny pouze parametry přední části impaktoru, a to výška, průměr, tloušťka trubky a umístění jednotlivých snímačů.



Obr.9 Impaktor stehna [13]

3.2.4 Vyhodnocení

Při hodnocení zkoušky se vychází z hodnot, které byly naměřeny na jednotlivých snímačích. Ohybový moment přepočtený ze signálů tenzometrů by měl dosahovat biomechanického limitu 300 Nm a síla získaná součtem jednotlivých nárazových sil na horním a dolním snímači by měla dosáhnout maximální hodnoty 5000 N .

3.3 Oblast nárazníku

Dojde-li k čelní srážce vozidla s určitým předmětem, je právě nárazník tak konstruovanou součástí, která zajišťuje prvotní kontakt. Stejně je tomu tak i při střetu vozidla s chodcem. Zde je vzhledem k nejčastějšímu vzájemnému postavení chodce a automobilu nejvíce namáhána celá dolní končetina, především pak oblasti kolen, kotníků a holenních částí dolních končetin. Jak již bylo uvedeno na *obr. 1*, podíl zranění dolní končetiny na všech

zraněních při srážkách vozidla s chodcem činí asi 37%, přičemž samotný nárazník se na zranění chodce podílí 15,3% při zahrnutí následného pádu na vozovku (viz obr. 3)

K testování této části automobilu se používá impaktor dolní končetiny, kdy je sledován hlavně kolenní kloub. V následujících kapitolách je detailně popsáno uspořádání zkoušky, způsoby nastřelování impaktoru, samozřejmě je i celkově znázorněn samotný impaktor s hlavními parametry a závěr kapitoly je věnován vyhodnocení zkoušky.

3.3.1 Uspořádání zkoušky

U testu nárazníku impaktorem dolní končetiny musí být dodrženy dva základní předpoklady:

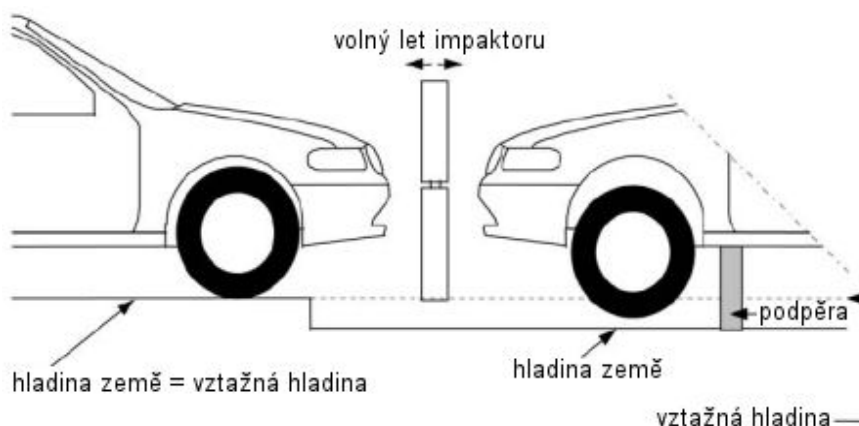
- volný let impaktoru;
- určitá poloha impaktoru v době nárazu.

Podmínku polohy impaktoru v době nárazu, kdy jeho spodní okraj musí ležet ve stejné vodorovné rovině jako je vztažná hladina (země) je docílena dvěma různými způsoby:

- vozidlo stojí na zemi se zataženou ruční brzdou a mezi předním kolem a nárazníkem je začátek snížení země pod vztažnou hladinu, které pokračuje až před vozidlo. Tím před vozidlem vznikne ve svislém směru dostatečný prostor pro splnění daných podmínek;
- vztažná hladina je umístěna výše než je země, jelikož druhý způsob zajištění polohy dopadu impaktoru spočívá v podepření vozidla tak, aby se nedotýkalo země. Vztažná hladina leží v místě, které by odpovídalo postavení vozidla na všech kolech.

Impaktor se vystřeluje proti nárazníku dle stanovených podmínek nejméně jedenkrát do každé z vymezených třetin.

Uspořádání zkoušky je graficky vyjádřeno na obr. 10



Obr. 10 Uspořádání zkoušky nárazníku [13]

3.3.2 Způsoby nastřelování a kompenzace gravitace

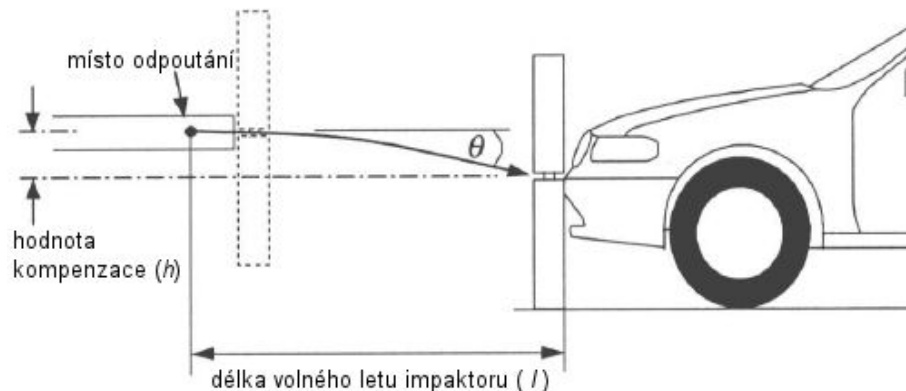
Vzhledem k tomu, že test se provádí vystřelováním impaktoru dolní končetiny proti nárazníku, dochází k dalšímu problému. Ten spočívá ve způsobu nastřelování impaktoru, jelikož díky jeho hmotnosti na něj během letu působí gravitační síla. Nutností je tedy provést určité korekce výšky vystřelovacího zařízení, aby byly splněny stanovené požadavky.

Řešení tohoto problému lze uskutečnit dvěma způsoby:

- využití výpočtu vodorovného vrhu tělesa;
- využití výpočtu šikmého vrhu tělesa a balistické křivky.

První způsob vystřelování, který využívá znalosti chování tělesa při vodorovném vrhu se nazývá gravitační. V tomto případě je impaktor vystřelován ve svislé poloze vodorovně se vztažnou hladinou. Vodorovná vzdálenost volného letu l je dána vzdáleností vystřelovacího zařízení od cíle. Rychlost impaktoru je 40 km.h^{-1} , tedy $v=11,1 \text{ m.s}^{-1} (\pm 0,2)$ a gravitační zrychlení $g=9,81 \text{ m.s}^{-2}$. Výšku korekce h , jež vyjadřuje o kolik impaktor během svého letu klesne, lze tedy spočítat vztahem:

$$h = \frac{gl^2}{2v^2} \quad [m].$$



Obr. 11 Schéma gravitační kompenzace [13]

Druhý způsob vystřelování využívá znalosti vrhu šikmého vzhůru a balistické křivky, nazývá se tedy balistický. Tento způsob výpočtu je početně složitější. Impaktor je sice vystřelován ze svislé polohy, ale ne vodorovně, nýbrž pod určitým počátečním úhlem Φ , počáteční rychlostí u , která má svou vodorovnou a svislou složku.

Další podmínkou je, že v okamžiku střetu musí mít impaktor svislou složku rychlosti nulovou a vodorovná složka tedy musí být rovna nárazové rychlosti 40 km.h^{-1} , tedy $v=11,1 \text{ m.s}^{-1}$ ($\pm 0,2$). Musí se určit i vodorovná dráha volného letu impaktoru l .

Způsoby výpočtu jsou následující:

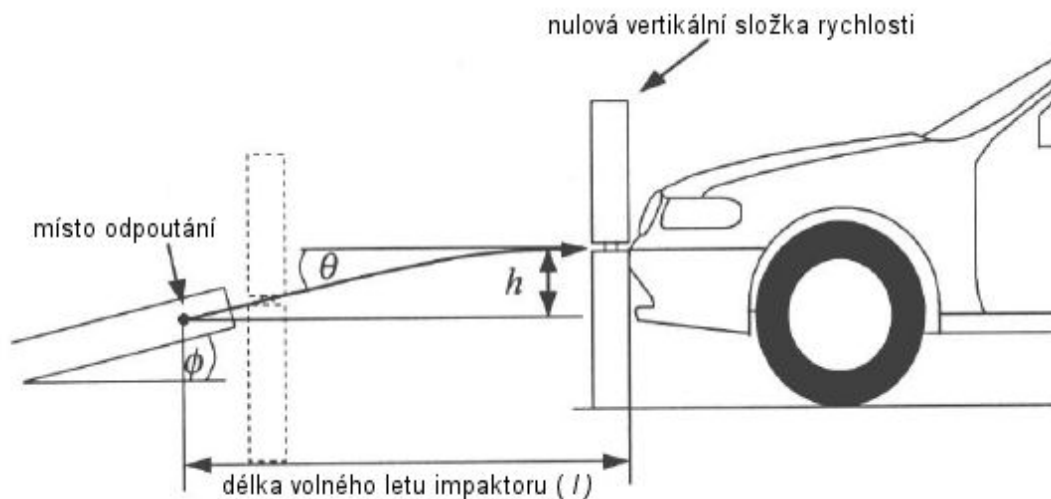
a) volí se Φ , neznámé jsou u , l , h :

$$u = \frac{v}{\cos \phi} \quad [\text{m.s}^{-1}],$$

$$l = \frac{v^2}{g} \tan \phi \quad [\text{m}], \quad h = \frac{v^2}{2g} \tan^2 \phi \quad [\text{m}],$$

b) volí se l , neznámé jsou Φ , u , h :

$$u = v \sqrt{1 + \frac{gl^2}{v^4}} \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad h = \frac{gl^2}{2v^2} \quad [\text{m}] \quad \phi = \tan^{-1} \left(\frac{gl}{v^2} \right) \quad [^\circ]$$



Obr. 12 Uspořádání balistické zkoušky [13]

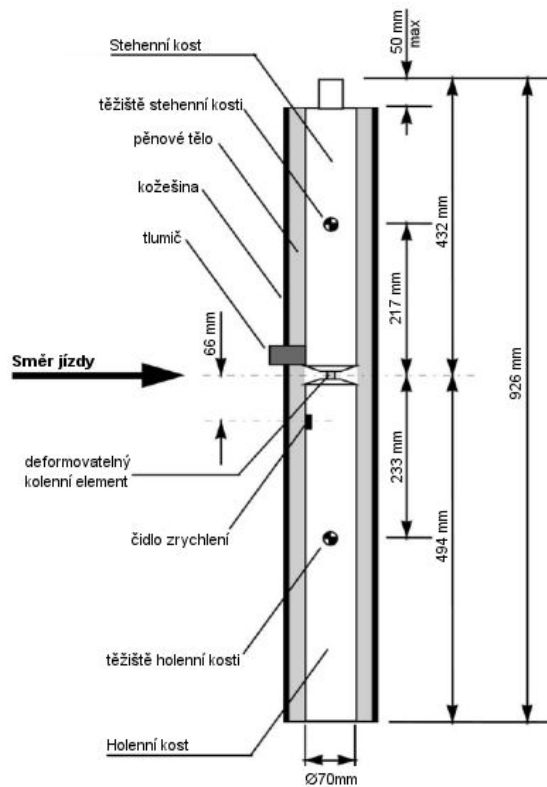
3.3.3 Popis impaktor dolní končetiny

Impaktor dolní končetiny je rozdělen na tři části:

- stehenní část,
- kolenní element,
- holenní část.

Hmotnost stehenní části je stanovena na $8,6 \pm 0,1$ kg a holenní části $4,8 \pm 0,1$ kg. Celková hmotnost impaktoru pak na $13,4 \pm 0,2$ kg.

Geometrické a další parametry zobrazuje *obr. 13*



Obr. 13 Impaktor dolní končetiny [13]

3.3.4 Vyhodnocení

Při zkoušce nárazu impaktoru dolní končetiny na nárazník se hodnotí tři kritéria:

- úhel ohybu kolena,
- posun (smyk) v koleně,
- zrychlení horní části holenní kosti.

Limit pro maximální úhel ohybu kolena je omezen hranicí 15° , přičemž okamžitý úhel ohybu se stanovuje :

$$\text{okamžitý úhel ohybu} = \theta(t) + \frac{1}{\sin(1,3678 + \sin \theta(t))} \quad [\text{rad}],$$

kde $\theta(t)$ je snímačem naměřený úhel.

Maximální hodnota zrychlení horní části holeně má stanovenou hranici 150 g .

Kritérium vzájemného posunu v koleně je stanoveno hranicí 6 mm a jeho okamžitá hodnota se vypočítá ze vztahu:

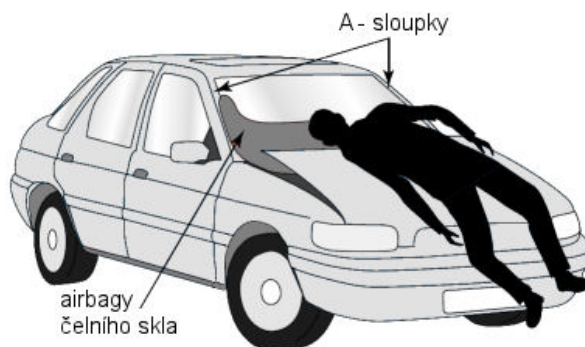
$$\text{okamžitý posun ve smyku} = 27,5 \cdot \sin \Phi(t) \quad [\text{mm}].$$

4. Systémy pro ochranu chodců

Řešením problematiky střetu vozidla s chodcem je několik možných systémů. Vyskytují se mezi nimi jak pasivní, tak i aktivní prvky bezpečnosti. Samozřejmým požadavkem je vysoká účinnost brzdové soustavy.

4.1 Systémy airbagů pro chodce

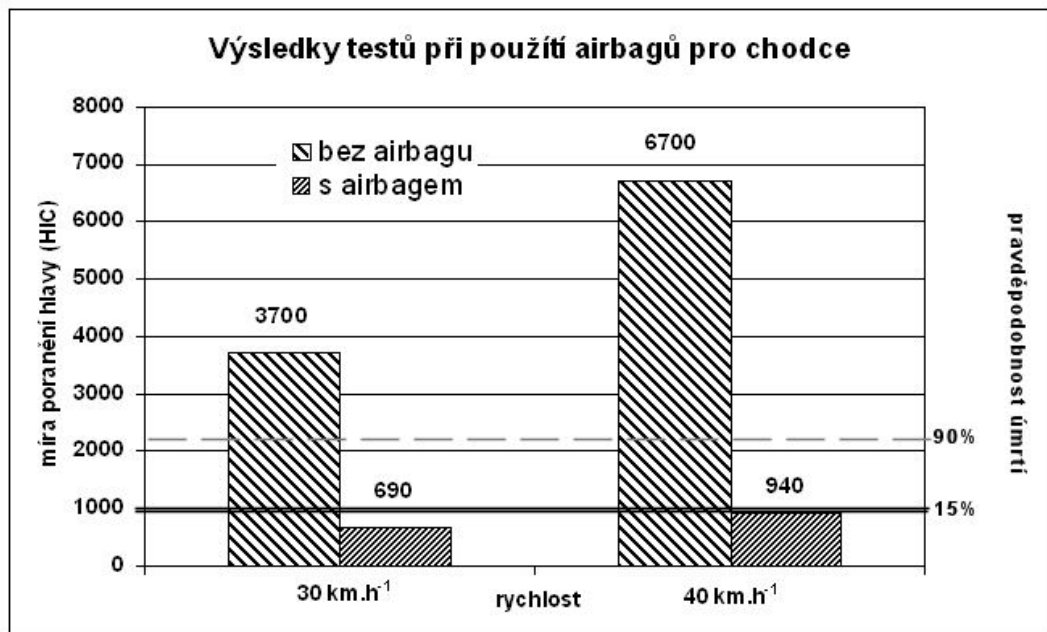
Při ochraně posádky uvnitř vozidla se velmi osvědčilo použití interiérových airbagů. I proto další využití airbagů v automobilovém průmyslu směřuje k ochraně chodců, kdy by bylo snahou opět snížení rizika poranění chodců při střetu s vozidlem.



Obr. 14 Airbag pro chodce

Umístění airbagů se volí tak, aby při jeho aktivaci došlo k pokrytí míst, která nemají jiný typ ochrany. Převážně se jedná o A-sloupky a čelní sklo i s jeho rámem, jelikož deformovatelnost těchto částí je velice malá a z pohledu ochrany chodce téměř nulová. Je to logické, protože tyto části hrají významnou roli v ochraně posádky a výrobci se tedy snaží docílit jejich maximální tuhosti. Kompromis by se zde hledal jen velmi těžko. Překrytí těchto míst pružnými nafukovacími vaky se tedy jeví jako nejjednodušší možné řešení. Tento typ systému se logicky kombinuje s aktivní kapotou, jednak kvůli maximalizaci ochrany chodce, ale také snadnějšímu nafouknutí airbagů.

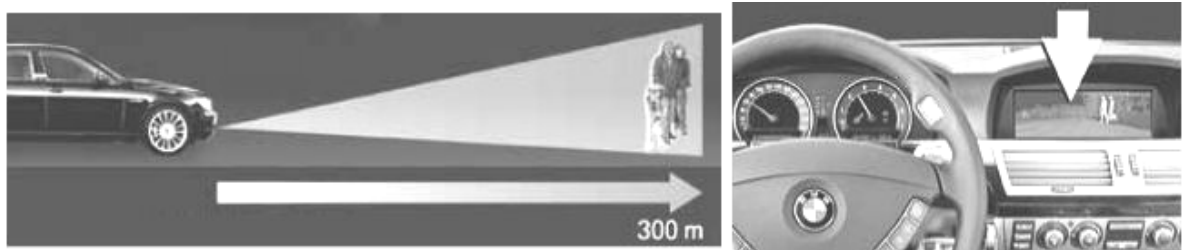
Výbornou účinnost celého systému lze vysledovat z *grafu 5*. Je zřejmé, že pro rychlosti střetu $30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ i pro $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ se opět podařilo dosáhnout razantního snížení hodnoty indexu HIC, a to dokonce pod hranici 1000 . Oproti automobilu s nechráněnými kritickými místy se tedy jednoznačně zvýšila šance chodce na přežití.



Graf 4 Účinnost airbagů pro chodce

4.2 Noční vidění

Systém nočního vidění je opatření, které nějak přímo neochraňuje chodce, ale snaží se dávat řidiči přehled o dění před vozidlem, a tím tedy působit preventivně před případnou kolizí s chodcem. Při jízdě v noci je problematické míjet neosvětlené chodce a cyklisty, tím hůře účastníky silničního provozu, jenž jsou oblečeni do tmavého oblečení s nízkými reflexními vlastnostmi. Poměr mezi intenzitou dopadajícího a odraženého světla je velmi malý, rozeznávací schopnosti řidiče jsou v tomto případě omezené a nezbývá tedy příliš času na jeho reakci. Další zhoršení podmínek může nastat, je-li řidič navíc oslněn protijedoucím vozidlem.



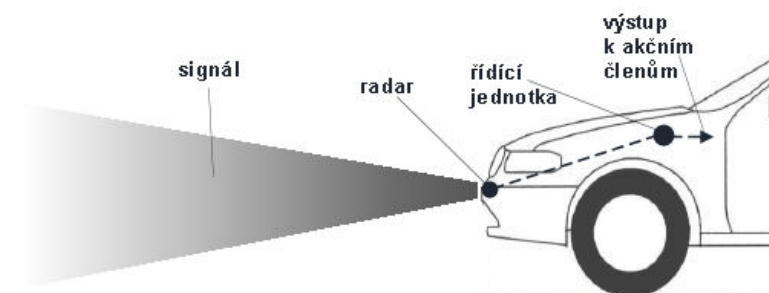
Obr. 15 Noční vidění

Výsledkem snahy vyřešit tento problém a řidiči usnadnit práci za volantem je systém nočního vidění, který se skládá z malé kamery, umístěné třeba před čelním sklem, a displeje umístěném v zorném poli řidiče. Kamera dokáže snímat situaci před vozidlem s větší světelnou citlivostí a kontrastem než je fyziologicky schopno oko řidiče. Obraz z kamery je přenášen na displej a řidič je tak schopen včas rozpoznat překážku na silnici.

Nespornou výhodou tohoto systému je, že kamera, ačkoli dokáže situaci před vozidlem takto snímat, je přizpůsobena na prudkou změnu světelných podmínek jako je například oslnění od protijedoucího vozidla. Takovouto ostrou změnu řidič na displeji prakticky ani nezaznamená a výhled před vozidlo má stále výborný. Problémem však je, že pokud je řidič oslněn, tak má znesnadněn i pohled na displej, proto je systém doplněn i akustickým varováním.

4.3 Pre-crash sensing

Dalším možným preventivním opatřením je systém zvaný pre-crash sensing. Tento systém monitoruje určitou oblast před vozidlem, převážně pomocí radaru či laseru a snaží se identifikovat případnou překážku. Systém vyhodnocuje vstupní informace. V případě nebezpečí může zasáhnout řidiči do řízení a aktivovat určité prvky, jako např. brzdy či další stabilizační systémy a předejít tak srážce s překážkou. Rozpozná-li řídicí jednotka v překážce např. chodce, může aktivovat bezpečnostní prvky ochraňující chodce, např. airbag pro chodce či aktivní kapotu.



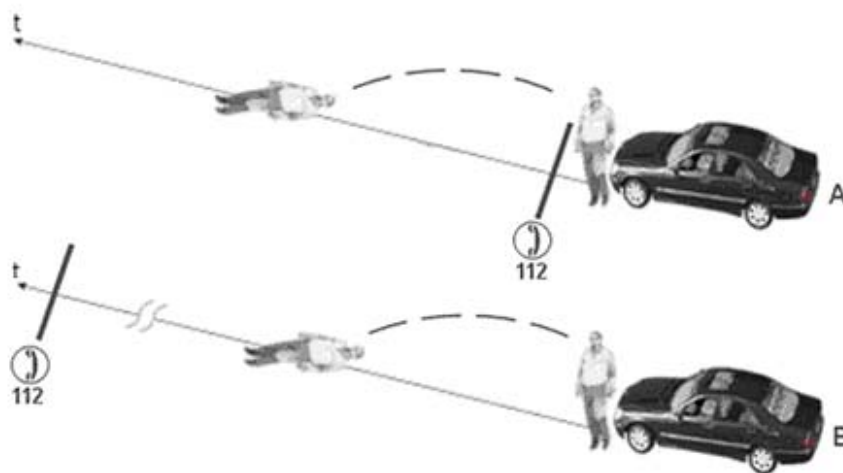
Obr. 16 Pre-crash sensing

Zařízení pre-crash sensing je poměrně složitý elektronický systém, jehož největším problémem je identifikace překážky a z ní vyplývající adekvátní bezpečnostní opatření.

4.4 eCall systém

Služba eCall je systém automatického tísňového volání z palubního systému vozidla při dopravních nehodách založený na jednotném evropském čísle tísňového volání 112. V případě vážné nehody kdekoli v Evropě auta vybavená zařízením pro eCall automaticky volají pomocí čísla 112 nejbližší středisko tísňového volání. Tímto voláním se předávají základní informace o havárii, včetně přesné polohy, i když žádný cestující není schopen komunikovat. Dostupnost informace o poloze zvyšuje rychlost reakce záchranné služby ve venkovských oblastech o 50% a v městských o 40%. Podle odhadů by to mohlo v Evropě každý rok zachránit až 2500 životů a vést k méně vážným zraněním v 15% případů bez smrtelných následků.

Výhody tohoto systému lze spatřovat i při dopravních nehodách s chodci. Pokud se chodec nachází v kritickém stavu, je nutná okamžitá lékařská pomoc. Řidič vozidla se díky nastalé situaci může nacházet v šoku a nemusí být schopen okamžité duchapřítomné reakce, proto oznamovací povinnost převezme systém eCall, jenž kontaktuje krizovou linku 112 a operátorovi přes počítač sdělí potřebné údaje. Záchranná služba má větší pravděpodobnost včasného dojezdu a poskytnutí nutného lékařského ošetření.



Obr. 17 Porovnání časové prodlevy v kontaktování krizové linky 112

Porovnání časové prodlevy v kontaktování tísňové linky 112 zobrazuje obr. 17. V případě, že vozidlo „B“ není vybaveno tímto systémem, může se prodleva od nehody do příjezdu lékařské pomoci protáhnout i o několik minut. Systém GPS nám v tomto případě může

nápomocen pro přesnou lokalizaci místa nehody. Primárně se ale provádí lokalizace telefonní SIM karty, která je součástí eCall systému. Pokud dojde k dopravní nehodě bez přítomnosti dalších svědků, lze minimalizovat riziko neohlášení dopravní nehody a odjezd z místa nehody bez poskytnutí první pomoci, což lze považovat za další významnou výhodu.

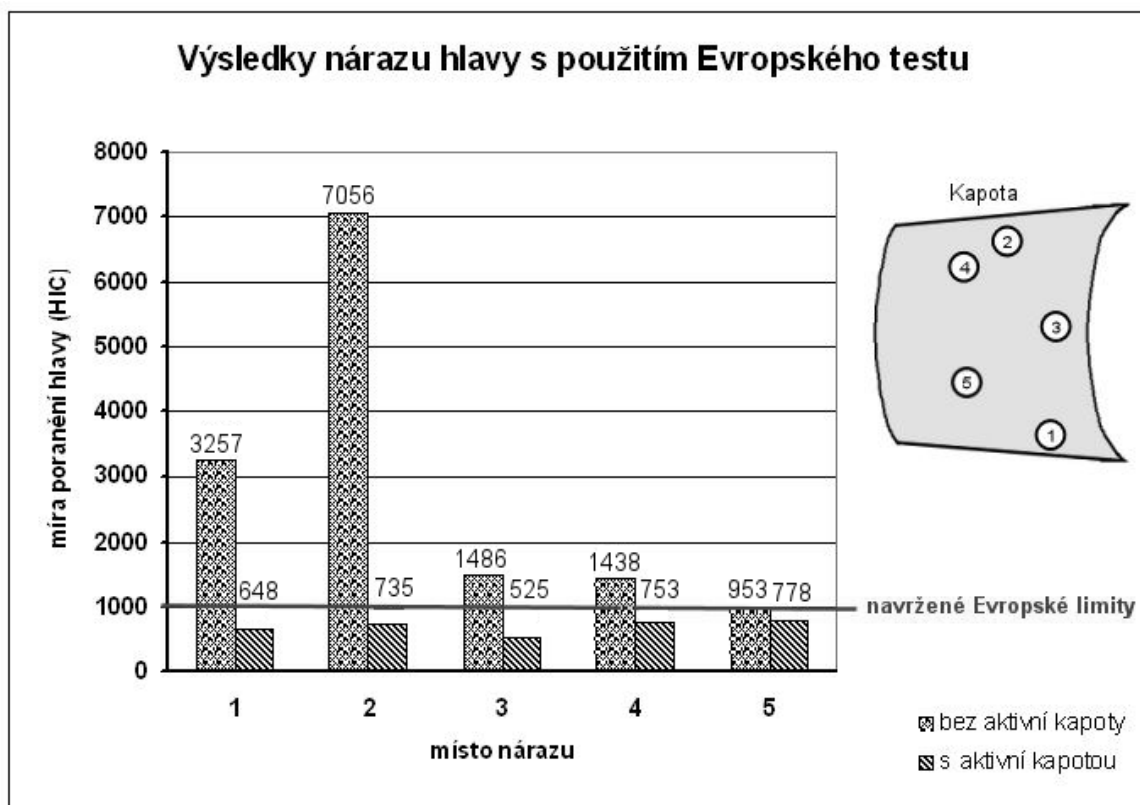
Dalším ochranným prvkem je systém aktivní kapoty. Jedná se o velice účinné řešení ochrany chodců a zabývá se jím zbylá část této práce.

5. Aktivní kapota

Střet chodce s vozidlem mívá často tragické následky, proto se konstruktéři snaží všemožně střetu zabránit. Pomocí senzorů, kamer a radarů je pohyb před vozidlem monitorován a řidič může být předem upozorňován na hrozící střet. Je-li srážka nevyhnutelná, pak je třeba následky této nehody eliminovat. Konstruktéři obvykle tento problém řeší snižováním tuhosti kapoty, eliminací ostrých hran, speciálními deformačními elementy apod. Sražená osoba je většinou vymrštěna do vzduchu a pak dopadá na kapotu brzdícího automobilu. Hlavou pak naráží do kapoty či čelního skla. Pokud je náraz příliš tvrdý dochází ke zraněním nebo dokonce k úmrtí. Snahou konstruktérů tedy je navrhovat relativně měkké kapoty, které by pád těla zmírnily. Moderní automobily mají však motorový prostor zcela vyplněn a vzdálenost mezi tvrdými částmi agregátu a kapotou je minimální. U příliš měkké kapoty by pak došlo k tzv. probití těla až na tvrdé části a efekt by byl stejný jako u tvrdé kapoty.

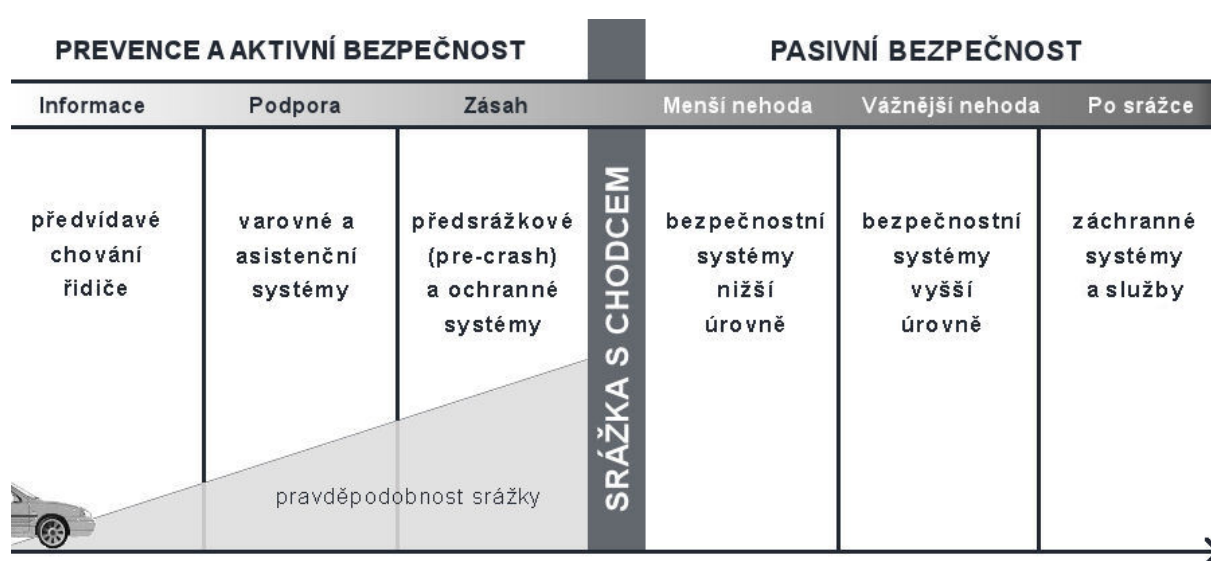
Jedním z možných řešení tohoto problému je právě systém aktivní (vystřelovací, zdvihací) kapoty. Princip funkce je poměrně jednoduchý – v případě střetu vozidla s chodcem uměle vytvořit mezi kapotou a pevnými částmi motoru a dalších agregátů dostatečný prostor pro deformaci kapoty. Tímto úkonem lze podstatně snížit riziko vážného poškození hlavy nárazem právě na pevné části v oblasti motoru.

Pozitivní efekt vystřelovací kapoty jednoznačně charakterizuje *graf 5*. Míra poškození hlavy je popsána indexem HIC (viz kapitola 2.1). Mezní hodnotou určující těžké poškození hlavy je hodnota 1000. Na klasické kapotě byly na pěti vybraných místech provedeny testy impaktorem hlavy. U většiny případů došlo k překročení hraniční hodnoty 1000, ve dvou případech byla tato mezní hodnota překročena velmi výrazně. Jedná se tedy o absolutně nevyhovující výsledek. Dále byly testy prováděny na zdvižené kapotě. Je patrné, že díky zdvižené kapotě došlo k razantnímu snížení indexu HIC a dokonce všechny hodnoty ve všech měřených místech mají jistou rezervu pod hranicí 1000 HIC. Hlava chodce dopadající na přizvednutou kapotu je tedy více chráněna. Díky většímu deformačnímu prostoru je hlava lépe brzděna a tím i méně namáhána. Tento rozdíl může být otázkou přežití chodce.



Graf 5 Porovnání hodnot HIC při testech bez aktivní a s aktivní kapotou

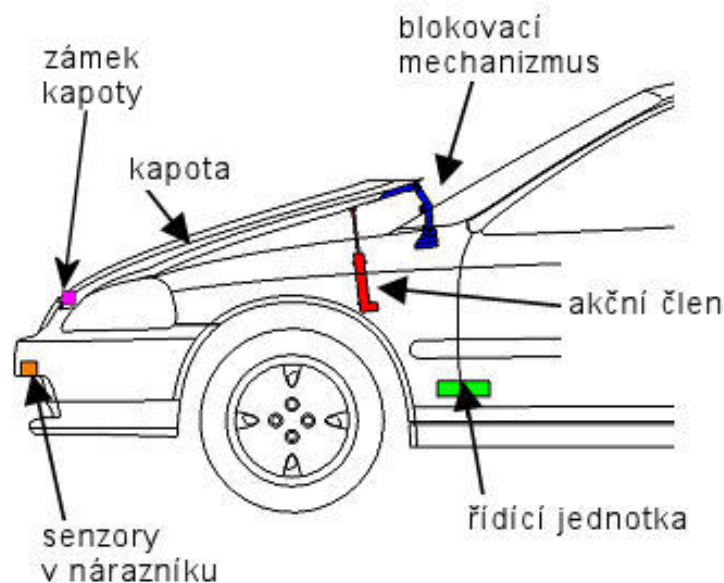
Časové úseky dopravní nehody z hlediska ochrany chodců u teoretického ideálního vozidla vybaveného většinou bezpečnostních systémů je zobrazeno v *Tab. 2*. Systém aktivní kapoty, lze tedy považovat za bezpečnostní systém vyšší úrovně patřící do množiny prvků pasivní bezpečnosti.



Tab. 2 Časový průběh nehody

5.1 Základní prvky aktivní kapoty

Samotný princip funkce aktivní kapoty je poměrně jednoduchý - přední nárazník je vybaven snímači, jejichž pomocí se zjišťuje zda došlo ke srážce. Snímače předají signál řídicí jednotce, kde je vyhodnocováno, zda se jedná o srážku s chodcem. V případě detekce srážky s chodcem vyše řídicí jednotka signál akčnímu členu, který provede samotné zdvihnutí kapoty.



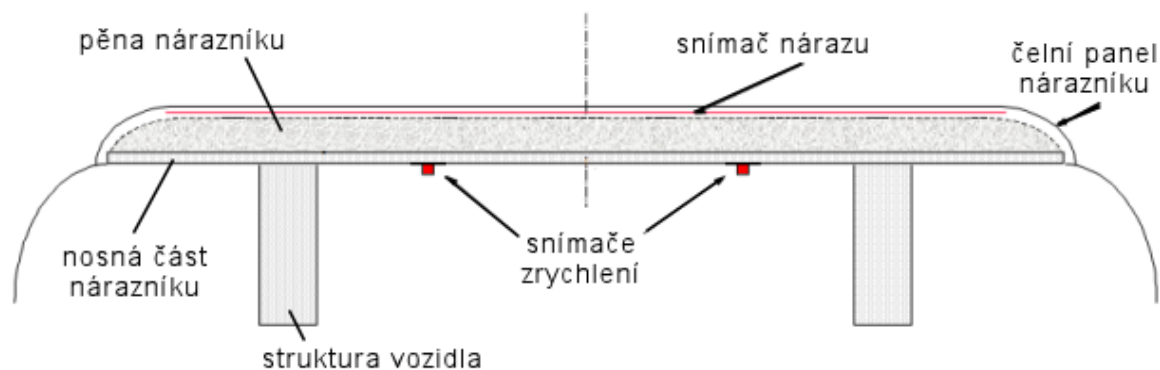
Obr. 18 Schéma rozmístění komponentů systému aktivní kapoty

5.1.1 Snímače nárazu

Úkolem snímačů nárazu je velmi rychle detekovat srážku a předávat signály řídicí jednotce. Nárazníkové senzory mohou pracovat na různých principech.

5.1.1.1 Systém membránových snímačů

Jednou z možností je založit fungování snímačů na principu membránového spínače, který pokrývá čelní část nárazníku v celé své šířce. Dva snímače zrychlení jsou umístěny na zadní stranu nárazníku (viz obr. 19).

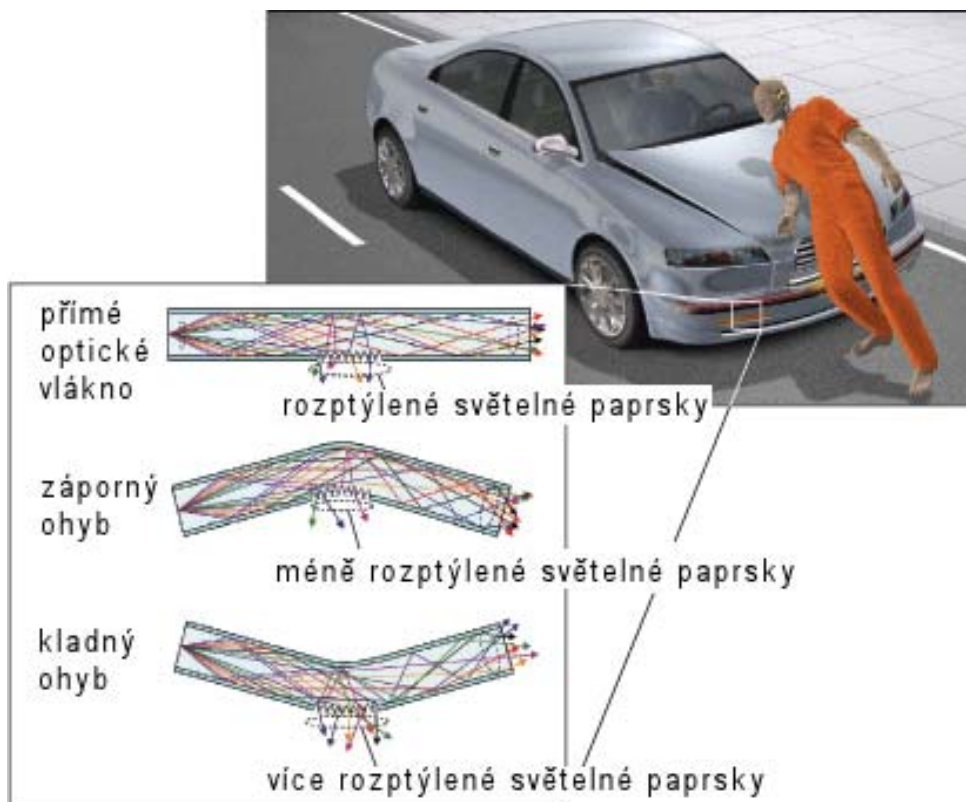


Obr. 19 Schéma rozmístění komponentů v nárazníku

Kontaktní sensorový proužek je umístěn v drážce na povrchu pěny mezi dvěma vrstvami z tenkého plastického materiálu. Kontaktní snímač je rozčleněn na 100 mm široké prvky. Každý prvek má několik vypínačů a signál vysílají, je-li jeden ze spínačů sepnutý. Toto je také první znamení systému, že došlo ke střetu a zároveň dává informaci o šíři narážejícího objektu. Další nezbytnou součástí je snímač zrychlení. Snímače bývají zpravidla dva, umístěné 250 mm na každé straně od střednice automobilu. Účelem je získat dobrý signál bez ohledu na to, kde kolize došlo. Užívána je maximální hodnota zrychlení během vybrané doby po prvním dotyku s kontaktním senzorem. Tato hodnota dává informaci o tuhosti narážejícího objektu, zda se jedná o nohu nebo např. tyč. Crash testy se provádí s kompletní čelní částí automobilu upevněnou na saních. Testovacími předměty jsou dva různé objekty, první svou skladbou odpovídá vlastnostem lidské nohy, druhý sloupu veřejného osvětlení. Srážkové testy se realizují při různých rychlostech - $20, 25$ a 30 km.h^{-1} . Při rychlostech 30 km.h^{-1} a více dochází na nárazníku k plastickým deformacím při nárazu právě na sloup veřejného osvětlení. Při těchto nárazových rychlostech na model lidské nohy však není deformace nárazníku taková, tudíž je rozdíl oproti sloupu snadněji rozeznatelný. Náročnějším úkolem je tedy rozlišit objekty kdy deformace jsou malé. Rychlost 20 km/h je dolní hranice pro senzor k aktivaci systému. Poněvadž zranění při těchto nárazových rychlostech jsou často jen menší, nepředstavuje tato skutečnost zásadnější problém. Vyšší prioritou byla zaměřena na testování senzorů mezi rychlostmi 20 a 30 km/h .

5.1.1.2 Systém optických vláken

Další možností je založit fungování snímání střetu na principu plastového optického vlákna. Vlastním zdrojem světla může být obyčejná dioda LED nebo laserové diody, které emitují světelné pulsy na základě přiváděného proudu. Detektorem na straně přijímače pak bývá fotodioda, která naopak převádí dopadající světelné impulsy na elektrické signály. Úkolem přenosového média je dopravit světelný paprsek od jeho zdroje k detektoru s co možná nejmenšími ztrátami. K tomuto účelu se používá optické vlákno, s tenkým jádrem obaleným vhodným pláštěm. Je-li světelný paprsek vyslán pod úhlem větším než určitým mezním úhlem, dochází k úplnému odrazu paprsku zpět do původního prostředí. Pokud je tento úhel jiný, část paprsku prostupuje do druhého prostředí. V důsledku opakovaných úplných odrazů, které probíhají bez jakýchkoli ztrát, pak světelný paprsek sleduje dráhu jádra optického vlákna – tedy, je tímto jádrem veden. Optická vlákna jsou velmi citlivá na mechanické namáhání a ohyby, což je v tomto případě výhodou. Přenos signálu se mění, pokud je zóna s povrchovou úpravou vlákna ohnuta. Ohýbání vlákna v jednom směru vede k lepšímu přenosu světla, zatímco ohýbání v opačném směru vede přenosu horšímu, ve srovnání s přímým vedením (viz *obr. 20*). Jelikož vláken se paralelně vedle nachází více, vytváří se pás určité šířky. Senzor tak může rozlišit pozitivní a negativní ohyby. Analýza signálů v řídicí jednotce z těchto paralelně vedených vláken umožňuje systému určit vlastnosti objektu, jenž se střetlo s vozidlem. V případě detekce lidské nohy je poslán aktivační signál k akčnímu členu. Dojde-li k rozpoznání jiného tělesa než lidské nohy, např. sloup pouličního osvětlení, může být aktivován bezpečnostní prvek chránící posádku, např. airbag.



Obr. 20 Znárodnění rozptylu světelných paprsků v optickém vlákne při různých ohybech [8]

5.1.2 Řídící jednotka

Úkol řídicí jednotky spočívá v přijímání signálů ze snímačů z nárazníku, vyhodnocování zda se jedná o střet s chodcem nebo jiným předmětem a případně vyslat aktivační signál akčnímu členu. Vyhodnocování přijatých dat probíhá samozřejmě v reálném čase.

5.1.3 Akční člen

Akční člen, po odeslání ovládacího signálu z řídicí jednotky a odjištění, zdvihá kapotu. Způsobů provedení může být více. Energie potřebná pro zdvih může být akumulována ve stlačené vinuté pružině, v předepjaté torzní tyči, v předepjaté listové pružině apod.

5.1.4 Blokovací mechanismus

Blokovací mechanismus zajišťuje kinematické spojení karoserie a kapoty. Úkol tohoto elementu spočívá v zamezení zpětnému pohybu kapoty v případě nárazu hlavy chodce a absorbování jeho kinetické energie. Kapota musí být blokována ve zdvižené poloze

i v případě, že by na ni při dopravní nehodě nejprve dolehla horní část těla (zejména ramena) chodce ještě před dopadem hlavy.

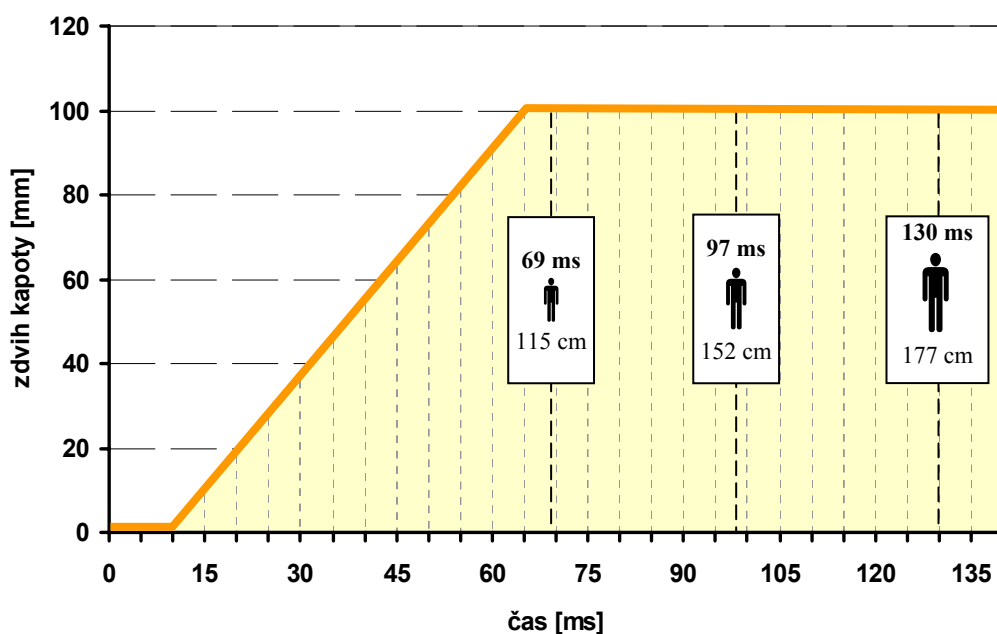
5.1.5 Zámek kapoty

Účelem zámku kapoty je udržet kapotu za všech provozních podmínek uzavřenou. Samovolné otevření, bez vědomí a zásahu řidiče, je nepřístupné. U vozidel se systémem aktivní kapoty je jediný provozní režim, kdy je vysazení kapoty z uzamčeného stavu bez zásahu řidiče přípustné, střet automobilu s chodcem. Vysazení přední části kapoty částečně zvyšuje deformační prostor pod kapotou a zároveň snižuje síly nutné pro zdvihnutí zadní části kapoty.





Zámek kapoty se tedy musí oproti mechanicky ovládaným lišit. Bez podpory elektroniky by požadavky nemohly být splněny. Je nutné ho navrhnout tak, aby impuls vyslaný z řídicí jednotky měl v konečné fázi za následek vysazení přední části kapoty.

5.2 Časový rozbor nehody a aktivace aktivní kapoty

Časový průběh aktivace systému aktivní kapoty



Graf 6 Časový průběh zdvihu kapoty a časy dopadů osob různé tělesné výšky

Kontakt dolní části nohy	Aktivace akčního členu	Plně zdvihnutá kapota	Dopad hlavy
			
<i>t = 0 ms</i>	<i>t = 10 ms</i>	<i>t = 65 ms</i>	<i>t = 130 ms</i>

Obr. 21 Znárodnění letu chodce při rychlosti střetu 40 km.h^{-1}

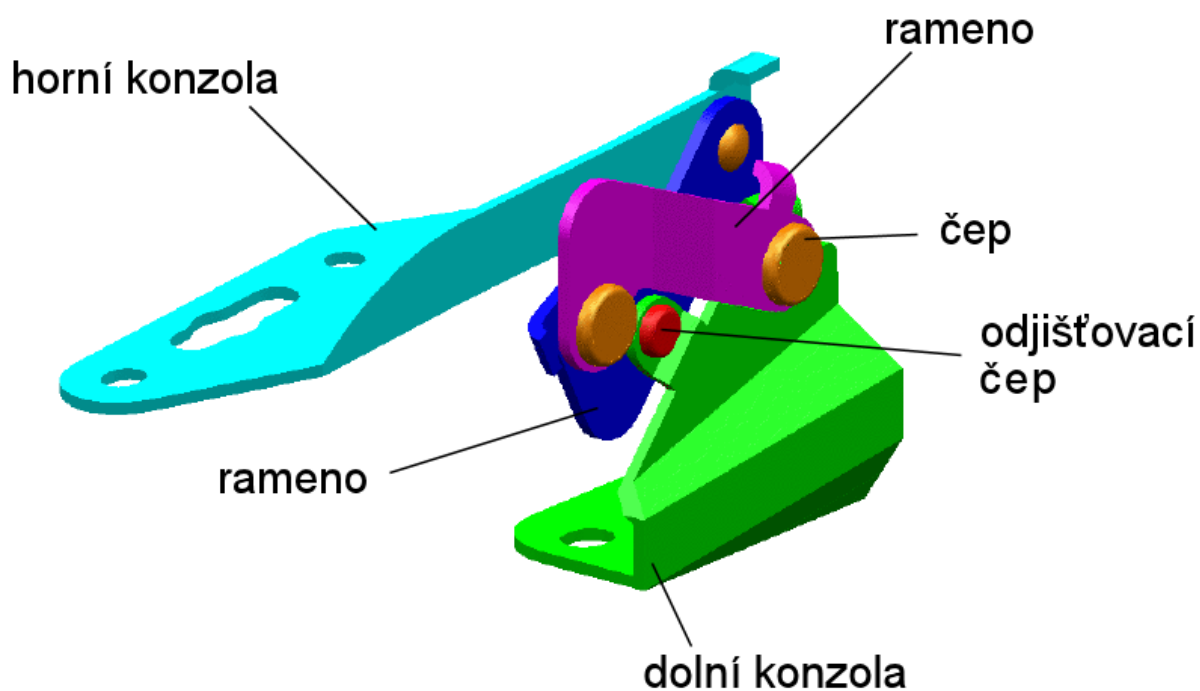
Důležité časy a časové intervaly v průběhu aktivace systému aktivní kapoty:

- 0 ms – první kontakt chodce s nárazníkem osobního automobilu
- 0 až 10 ms – čas potřebný pro detekci typu střetu, odeslání aktivačního signálu
- 10 ms – odjištění akčního členu
- 10 až 60 ms – doba nutná na zdvihnutí kapoty
- 60 ms – kapota zdvihnutá o 100 mm a plně připravena na dopad hlavy chodce
- 63 ms – dopad hlavy chodce o výšce 115 cm při rychlosti střetu 40 km.h^{-1}
- 97 ms – dopad hlavy chodce o výšce 152 cm při rychlosti střetu 40 km.h^{-1}
- 130 ms – dopad hlavy chodce o výšce 177 cm při rychlosti střetu 40 km.h^{-1}

5.3 Návrh způsobu zdvižení kapoty

Návrh není vázán na konkrétní typ vozidla a vystihuje pouze princip a filozofii fungování těchto zařízení. Uchycení ke karoserii a tvary nosných částí jsou navrhovány pouze orientačně.

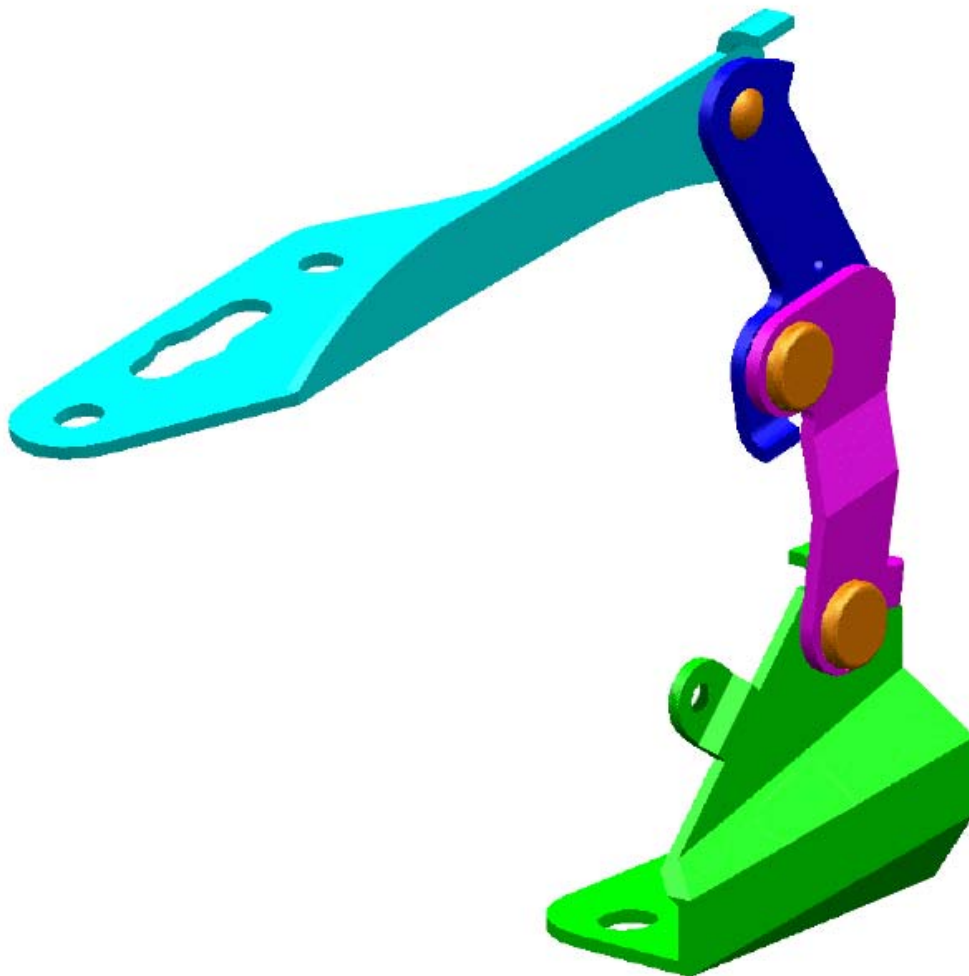
5.3.1 Blokovací mechanismus



Obr. 22 Blokovací mechanismus v základní poloze

Navržený blokovací mechanismus se skládá z nosiče kapoty, dvou ramen a dolní nosné části, která je pevně spojena s karoserií. Mechanismus je navržen tak, aby v základní poloze plnil funkci závěsu, pantu. Odjišťovací čep, který zabraňuje jinému pohybu než samotnému otvírání kapoty, je součástí odjišťovacho mechanismu. Ten bude popsán později.

Horní část (nosič kapoty) je pevně spojena s kapotou. Převrácení kapoty v otevřené poloze zamezuje zarážka, která opřením se o rameno určuje maximální polohu otevření. Jiný pohyb mechanismu díky zajištění kolíkem není možný.



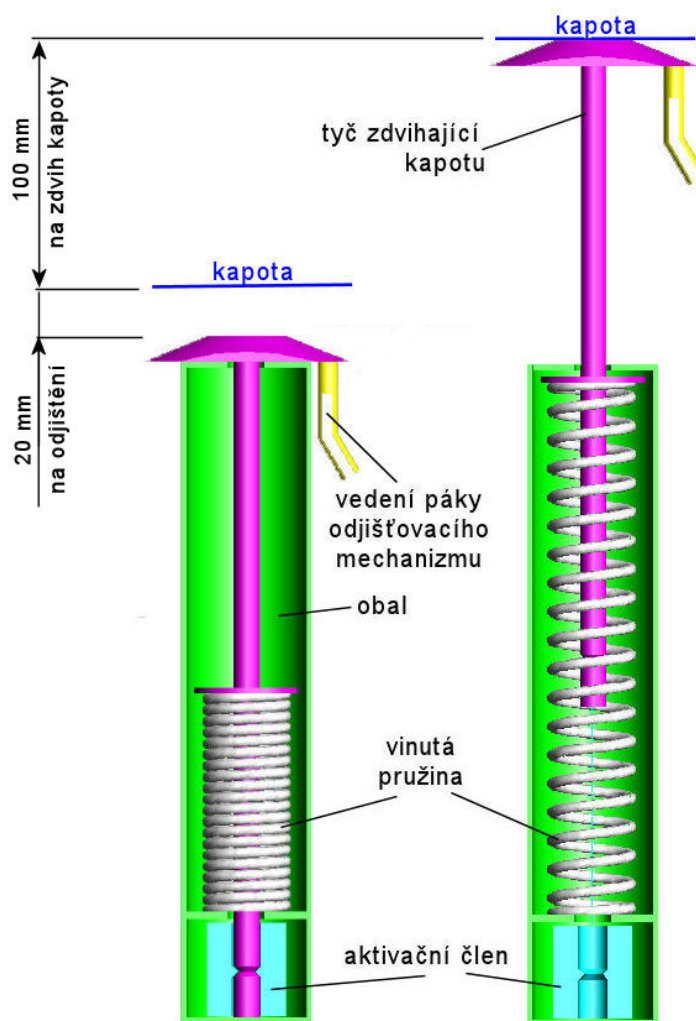
Obr. 23 Blokovací mechanismus v poloze zdvižené kapoty

V případě střetu vozidla s chodcem, je nutné kapotu zdvihnout v místech závěsů a udržet ji v této poloze i v případě, že nejprve dojde k dopadu horní části těla chodce ještě před dopadem hlavy. Právě tuto funkci plní navržený mechanismus ve vzpřímené pozici. Konečná fáze je zobrazena na *obr. 23*.

Před samotným zdvihem, je nutné celý mechanismus odjistit. Způsob odjištění a zdvihu kapoty bude popsán níže. Ideální postavení ramen vůči ostatním částem zajišťují opět zarážky.

Rozdíl vzdálenosti dolní nosné části a nosiče kapoty v základní poloze oproti vzpřímené pozici je *100 mm*.

5.3.2 Akční člen

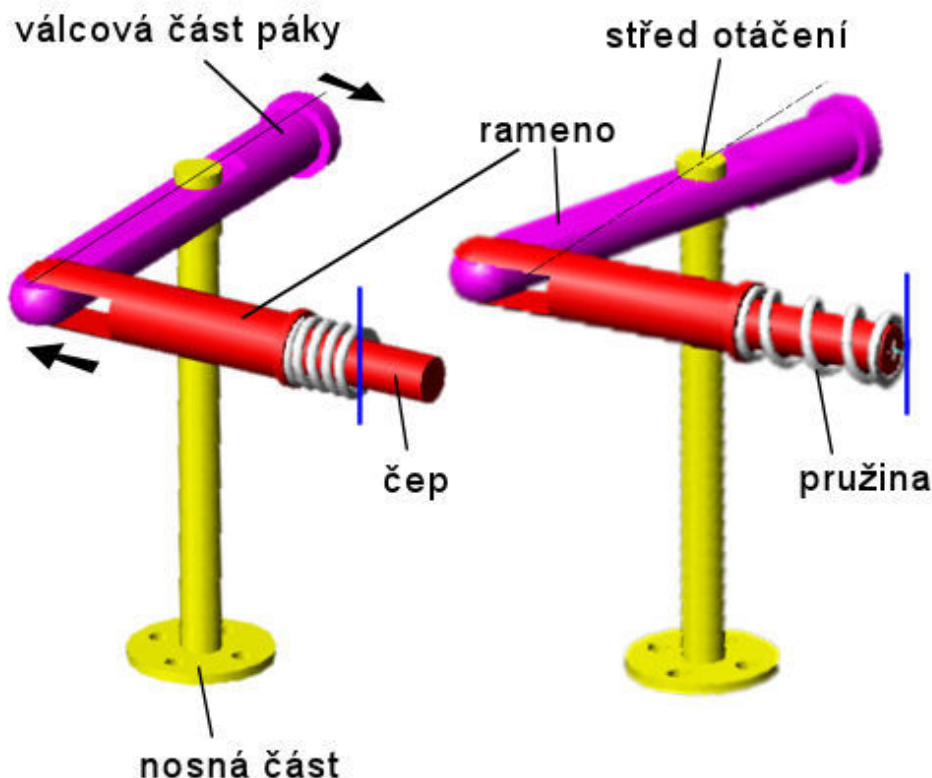


Obr. 24 Akční člen

Akční člen má za úkol dostatečnou silou v předepsaném čase zdvihnout kapotu. V mém návrhu je zdrojem silových účinků a akumulátorem energie vinutá pružina. V základní pozici je pružina stlačena pomocí tyče, která je uchycena ve spodní části, v aktivačním členu. Tento člen musí v případě pokynu řídicí jednotky aktivovat pohyb tyče a následný pohyb kapoty. Funkce tohoto členu není předmětem mého návrhu.

Součástí akčního členu je také vedení páky odjišťovacího mechanismu. Zdvih tyče zvedající kapotu je navržen na 120 mm . Prvních 20 mm zdvihu je určeno na odjištění kolíku blokovacího mechanismu. Vedení způsobuje pohyb páky, který bude popsán níže. Po zdvihu 20 mm je blokovací mechanismus odjištěn, dochází k dotyku hlavy tyče a kapoty a zbývajících 100 mm je určeno na její zdvih.

5.3.3 Odjišťovací mechanismus

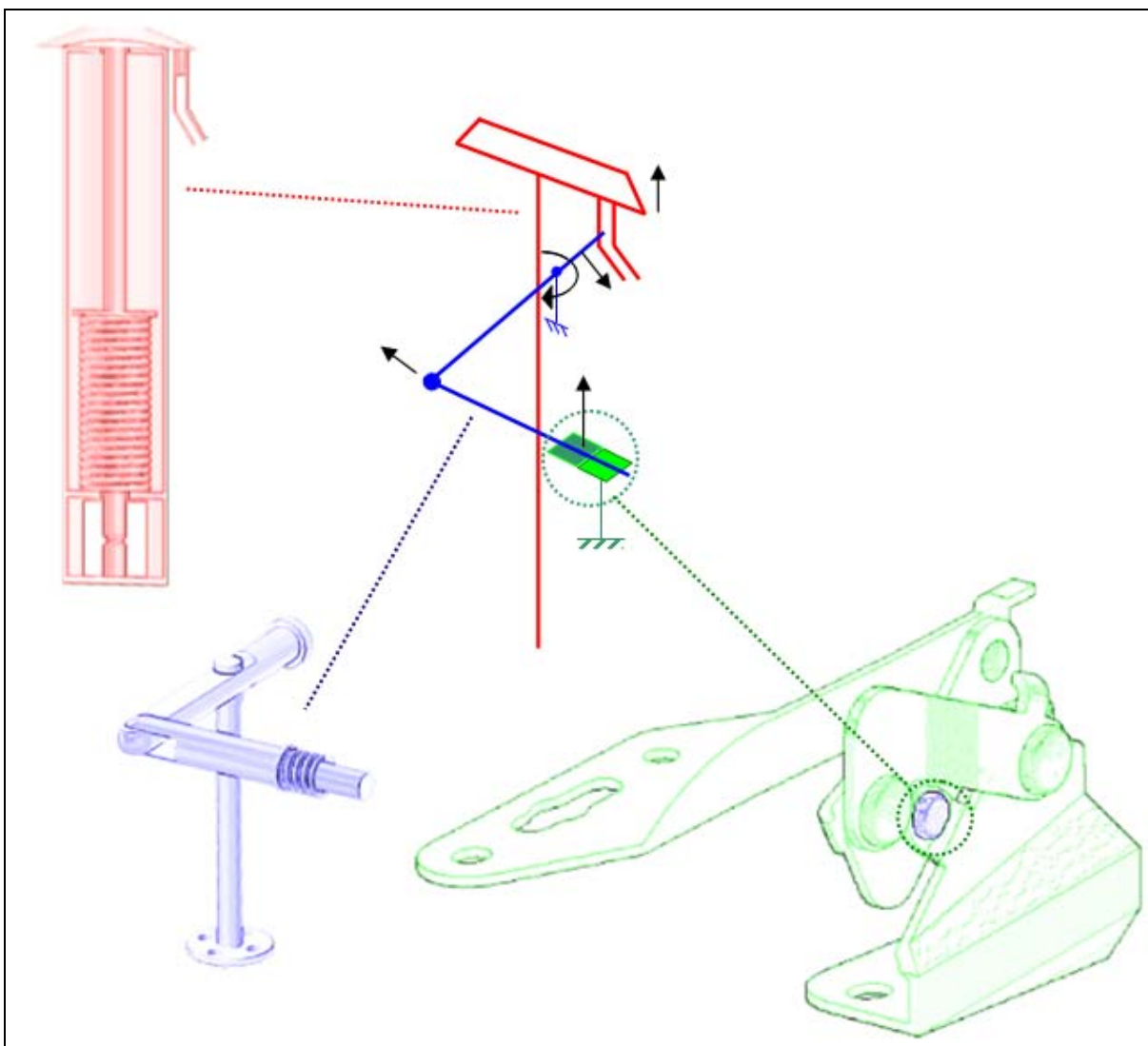


Obr. 25 Odjišťovací mechanismus
(vlevo – zajištěno; vpravo – odjištěno)

Odjišťovací mechanismus se skládá z dvou ramen, nosné části a pružiny. Válcová část prvního ramene (na obr. 25 fialová) je vsazena do vedení (na obr. 24 žlutá). Díky šikmému vedení, je svislý pohyb tohoto vedení nahoru převáděn na vodorovný pohyb válcové části ramene (na obr. 24 doprava). Dále je tento pohyb přenášen na principu páky. Dochází k vysazení odjišťovacího čepu (na obr. 22 a 25 červený). Pomocnou sílu zde vyvíjí stlačená vinutá pružina. Svislá modrá čára v obr. 25 symbolizuje pozici ramene blokovacího mechanismu (na obr. 22 modře).

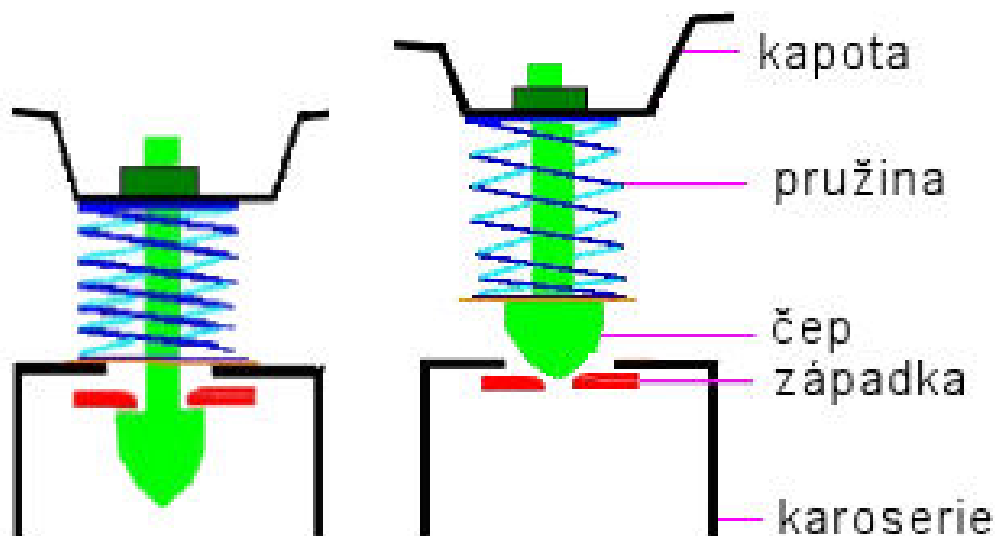
Na odjištění je rezervováno 20 mm zdvihu tyče akčního členu. V okamžiku dosažení tohoto zdvihu se válcová část ramene odpoutá od vedení a další pohyb tyče akčního členu už není nijak kinematicky vázán s odjišťovacím mechanismem.

Lepší představu o návaznosti jednotlivých součástí dává schematické vyjádření na *obr. 26*. Pro lepší přehlednost a orientaci ve schématu jsou jednotlivé součásti barevně rozlišeny.



Obr. 26 – Schéma soustavy (zeleně: blokovácí mechanismus, modře: odjišťování mechanismus, červeně: akční člen)

5.3.4 Zámek kapoty



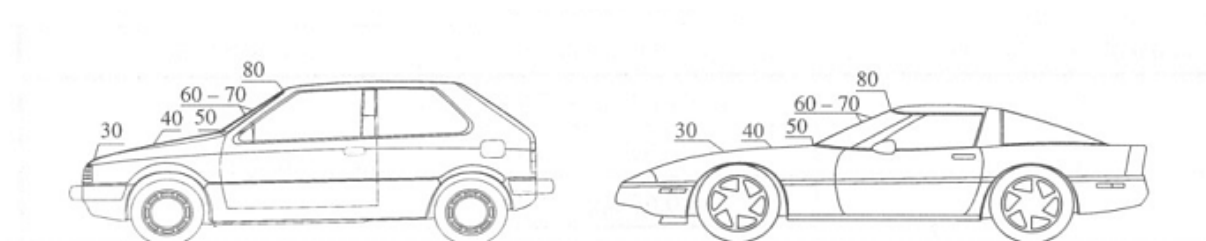
Obr. 27 Zámek kapoty (vlevo – uzavřená kapota; vpravo – vysazená kapota)

Z hlediska ochrany chodce i snížení sil potřebných k vystřelení kapoty je výhodné doplnit celý systém elektricky ovládaným zámek kapoty. Jak je patrné z *obr. 27*, je nutné elektricky ovládat západku. Řízení zajišťuje stejná řídicí jednotka, která vyhodnocuje signály ze snímačů v nárazník a odesílá aktivační signál akčnímu členu.

Kapota je díky vhodně tvarovému čepu držena a západce držena v základní pozici. Dojde-li k detekci střetu vozidla s chodcem vysílá řídicí jednotka mimo jiné i signál k rozevření západky. V tomto případě dochází k uvolnění stlačené pružiny a vysazení přední části kapoty. Kapota tedy není při zdvihu akčním členem v přední části uchycena. Tím se částečně zvýší volný deformační prostor mezi kapotou a pevnými částmi pod ní a zároveň se sníží síla potřebná ke zdvihu kapoty.

5.4 Návrh vinuté pružiny akčního členu s lineární charakteristikou

Před samotným výpočtem je nutné připomenout několik předpokladů. Rychlost střetu vozidla s chodcem je stanovena na 40 km.h^{-1} . Z této rychlosti vychází kinematika letu chodce. Ze studie letu chodce lze určit čas, za který musí být kapota zdvihnutá a být připravena na dopad chodce (viz kapitola 5.2). Tato rychlost má význam i z ohledem na pravděpodobnost přežití chodce. Ze statistik vyplývá, že při rychlosti střetu 40 km.h^{-1} je pravděpodobnost přežití chodce 80% (viz Tab.1). Největší interakce chodec – vozidlo se odehrává v městech a obcích, kde je ve většině evropských zemí je max. povolená rychlost 50 km.h^{-1} . Lze tedy předpokládat, že střety vozidla s chodcem, po započtení určitého brzdění vozidla, se budou odehrávat převážně při rychlostech kolem 40 km.h^{-1} . Návrh na vyšší rychlosti nemá význam, jelikož hlava chodce při vyšších nárazových rychlostech (nad 50 km.h^{-1}) nedopadá na kapotu, nýbrž na čelní sklo (viz Obr. 28).



Obr. 28 Přibližná místa dopadu hlavy chodce při různých nárazových rychlostech [11]

Zdvihu kapoty obecně odpovídá pohyb rotační, ale z důvodu, že rotace probíhá pouze pod úhlem kolem 5° , je tento pohyb považován za pohyb posuvný. Tímto předpokladem odpadá výpočet momentu setrvačnosti kapoty a ve výpočtu bude figurovat pouze podíl hmotnosti kapoty připadající na jeden závěs.

Výpočet nezahrnuje odpor vzduchu působící proti pohybu zdvihané kapoty. Hmotnostní parametry byly zjištěny vážením kapoty vozidla Škoda Felicia.

Výpočet vinuté pružiny:

Dráha zvednutí kapoty – 100 mm + dráha potřebná na odjištění pojistného čepu – 20 mm →
celková dráha $s = 120 \text{ mm} = 0,12 \text{ m}$

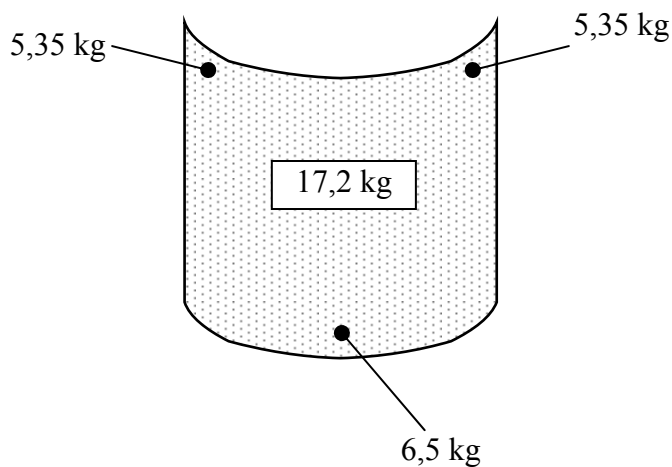
Čas, za který musí být kapota zdvihnuta do pohotovostní pozice $t = 55 \text{ ms} = 0,055 \text{ s}$

Výpočet potřebného zrychlení pístnice a :

$$s = \frac{1}{2}at^2 \quad (1)$$

$$a = \frac{2s}{t^2} = \frac{2 \cdot 0,12}{0,055^2} = 79,3 \text{ m.s}^{-2} \quad (2)$$

Rozložení hmotnosti kapoty - experimentální vážení (Škoda Felicia)



- celková hmotnost kapoty: 17,2 kg
- hmotnost připadající na jeden závěs kapoty: 5,35 kg
- hmotnost připadající na zámek kapoty: 6,5 kg

Při návrhu pružiny bude uvažována hmotnost připadající na jeden závěs (pant) kapoty (5,35 kg) a hmotnost dalších prvků, jako např. pístnice přenášející sílu z vinuté pružiny na kapotu. Celková hmotnost, s kterou bude počítáno je 6 kg.

Síla F , kterou musí vyvinout pružina na kapotu a další součásti o hmotnosti m , aby za daný čas t dosáhla požadovaného zdvihu s (jeden závěs):

$$F = m \cdot a = 6 \cdot 79,3 = 476 \text{ N} \quad (3)$$

Navržený střední průměr vinutí pružiny: $D = 30 \text{ mm}$

Navržený materiál pružiny - 14 260:

- mez pevnosti v tahu: $\sigma_{pt} = 1230 \text{ MPa}$
- dovolené napětí v krutu: $\tau_D = 0,6 \cdot \sigma_{pt} = 0,6 \cdot 1230 = 738 \text{ MPa}$
- modul pružnosti v krutu: $G = 7,85 \cdot 10^4 \text{ MPa}$

Maximální namáhání drátu pružiny kroutícím momentem:

$$M_k = F \cdot \frac{D}{2} = 476 \cdot \frac{30}{2} = 7140 \text{ N.mm} \quad (4)$$

Drát pružiny je namáhán krutem (namáhání ohybem lze z důvodu malého úhlu stoupání šroubovice obecně u vinutých pružin zanedbat). Pevnostní podmínka namáhání krutem:

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \leq \tau_{Dk}, \quad (5)$$

kde τ_{Dk} je dovolené napětí v krutu, M_k kroutící moment a W_k modul průřezu v krutu. Dovolenu hodnotou napětí v krutu τ_{Dk} zavádíme do výpočtu zvolený materiál.

Jednoduchou úpravou vzorce (5) získáme hodnotu modulu průřezu v krutu:

$$W_k = \frac{M_k}{\tau_{Dk}} = \frac{7140}{738} = 9,675 \text{ mm}^3 \quad (6)$$

Průřez drátu vinuté pružiny je navržen jako kruhový. Předběžný průměr drátu lze spočítat ze vzorce pro modul průřezu v krutu:

$$W_k = \frac{\pi \cdot d_1^3}{16} \Rightarrow d_1 = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot W_k}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 9,675}{\pi}} = 3,66 \text{ mm} \quad (7)$$

Vliv smykového napětí, které se na vnitřním průměru pružiny sčítá s napětím v krutu, se zavádí do výpočtu prostřednictvím Wahlova korekčního součinitele K . Nejprve se však musí vypočítat poměr vinutí i :

$$i = \frac{D}{d_1} = \frac{30}{3,66} = 8,197 \quad (8)$$

Poměr vinutí by měl být v rozsahu 5 až 15, což v tomto případě vyhovuje.

Nyní lze s přispěním vzorce (8) vypočítat samotný Wahlovův korekční součinitel K :

$$K = \frac{i + 0,2}{i - 1} = \frac{8,197 + 0,2}{8,197 - 1} = 1,167$$

Následně upřesníme průměr drátu pružiny pomocí vztahu:

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot W_k \cdot K}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 9,675 \cdot 1,167}{\pi}} = 3,86 \text{ mm} \quad (9)$$

Z porovnání průměrů d_1 a d_2 vyplývá dostatečná shoda. Můžeme tedy zaokrouhlením nahoru, podle vyráběného polotovaru pružinového drátu, provést konečný návrh průměru drátu d :

$$d = 4 \text{ mm} \quad (10)$$

V dalším kroku výpočtu parametrů pružiny určíme tuhost pružiny c :

$$c = \frac{F}{s} = \frac{476}{120} = 3,97 \text{ N.mm}^{-1} \quad (11)$$

Nyní můžeme přistoupit k výpočtu počtu činných závitů pružiny n_c :

$$n_c = \frac{G.d}{8.c.i^3} = \frac{7,85 \cdot 10^4 \cdot 4}{8 \cdot 3,97 \cdot 8,197^3} = 17,95 \Rightarrow \text{volím 18 závitů} \quad (12)$$

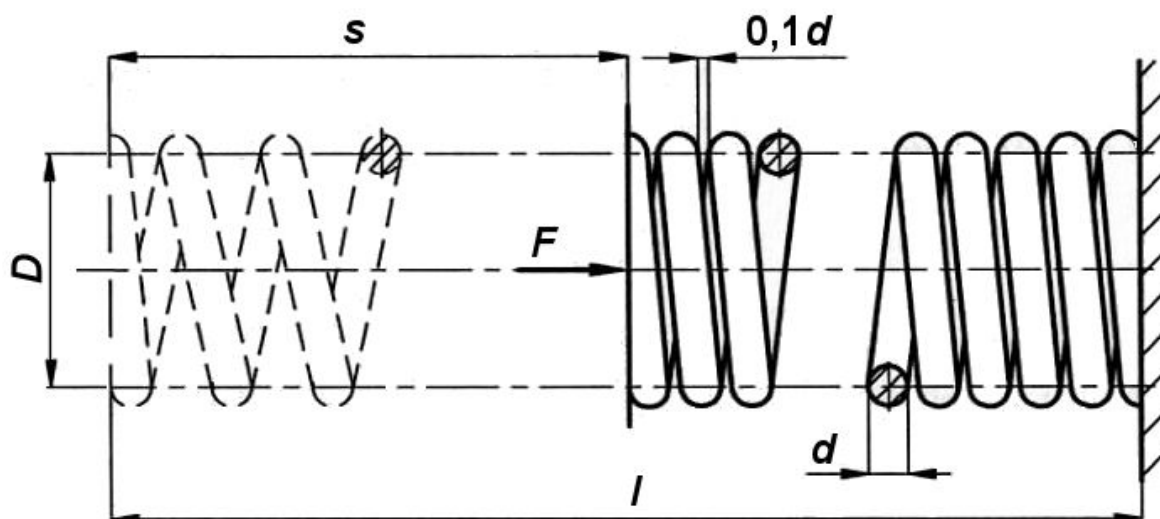
K počtu činných závitů n_c přičteme počet závěrných závitů n_z a získáme celkový počet závitů pružiny n :

$$n = n_c + n_z = 18 + 2,0,5 = 19 \text{ závitů} \quad (13)$$

Délka l nezatížené pružiny obsahující činné i závěrné závity se stanovuje na základě požadavku vůle o hodnotě $0,1d$ mezi činnými závity při maximálním zatížení silou F :

$$l = s + 0,1.d.n_c + d.n_c + d.n_z = 120 + 0,1 \cdot 4 \cdot 18 + 4 \cdot 18 + 4 \cdot 2,0,5 = 203,2 \text{ mm} \quad (14)$$

Souhrn navržených a vypočtených parametrů vinuté pružiny



Obr. 29 Základní parametry vinuté pružiny [7]

Parametr pružiny	Označení	Hodnota
Materiál pružiny	-	14 260
Průměr drátu vinutí	d	4 mm
Střední průměr vinutí	D	30 mm
Délka nezátížené pružiny	l	203,2 mm
Tuhost pružiny	c	3,97 N.mm ⁻¹
Celkový počet závitů	n	19

Závěr

Cílem první části mé diplomové práce bylo provést základní rozbor problematiky ochrany chodců při střetu s osobním vozidlem. Popis současného stavu jsem pojal jako shrnutí podstatných údajů z oblasti laboratorních zkoušek, při kterých jsou použity impaktory představující určitou část těla. Těmito testy jsou vytipována určitá kritická místa, jenž by dále měla být dále podrobena zkoumání a navržena nápravná opatření. Výsledkem jsou tedy určitá karosářská opatření, jenž mohou mít charakter tvarové úpravy přídě či charakter aktivního systému.

Používané pasivní a aktivní systémy jsou tématem mé rešerše, do které byly zahrnuty především aktivní systémy. Jedná se o systém aktivní kapoty, airbagů pro chodce a systémy chránící chodce formou předcházení srážce. Mezi tyto preventivní opatření patří systémy pre-crash sensing a noční vidění.

Druhá částí mé diplomové práce spočívala v návrhu principu funkce systému aktivní kapoty doprovázeného výpočtem. Ve svém návrhu jsem jako zdroj silových účinků a akumulátoru mechanické energie využil vinuté pružiny. Pružina se vlivem zatížení výrazně pružně deformuje a takto získanou deformační energii při návratu do výchozího stavu odevzdává. Nutností tedy bylo provést výpočet vinuté pružiny, která by svými parametry vyhověla požadavkům. Z výpočtu jasně vyplývá, že využití vinuté pružiny je reálné a odpovídá nárokům. Akční člen s pružinou jsem doplnil mechanismem, který plní funkci závěsu a zároveň v případě nutnosti udrží zadní část kapoty ve vztyčené poloze i při dopadu horní části těla chodce ještě před dopadem hlavy. Tento mechanismus je nutné před plněním požadavků systému aktivní kapoty nejprve odjistit. Můj návrh odjištění využívá jednoduchého principu páky. Odjištění je mechanicky vázáno na zdvih akčního členu, proto lze tento způsob považovat za velmi spolehlivý. Doplnění systému o aktivní vysazení přední části kapoty v případě potřeby se jeví jako výhodný.

Musíme však počítat s tím, že se jedná o teoretický návrh, je tedy nutné zvážit vhodnost konstrukce pro automobilový průmysl, zejména z prostorových a funkčních důvodů. Jelikož automobilky aplikující systém aktivní kapoty do svých vozidel využívají k uvedení v činnost pyrotechniku, lze s velkou pravděpodobností předpokládat, že se nutnosti využít jejích služeb

i u tohoto principu aktivace (odjištění tyče vedoucí k uvolnění pružiny) nevyhneme. Hlavní výhodou pyrotechniky je hlavně potřeba velmi krátkého času pro vyvinutí velké tlakové síly a jednoduché oživení signálem z řídicí jednotky.

Dalším úskalím se může jevit citlivost na nečistoty a z toho vyplývající způsob údržby. Částečné řešení tedy spatřuji v ochraně citlivých částí systému, např. pomocí krytů či zapouzďení.

Na závěr je nutno podotknout, že ochrana chodců se neodehrává jen v rovině konstrukce automobilu. Mnohem důležitější roli v této problematice hraje samotná prevence, která opět může mít několik podob – informativní kampaně státních institucí a neziskových organizací, výstavba podchodů, semaforů a přechodů pro chodce, výstavba dálnic a obchvatů velkých měst, lepší příprava na krizové situace v autoškolách atd. Samotné vozidlo by mělo být posledním článkem řetězu, který rozhodne o životě chodce.

Použitá literatura

- [1] VLK, František. *Stavba motorových vozidel*. 1. vyd. Brno : Vlk, 2003. 499 s. ISBN 80-238-8757-2.
- [2] VLK, František. *Karosérie motorových vozidel*. 2000. vyd. Brno : Vlk, 2000. 243 s. ISBN 80-238-5277-9.
- [3] *EEVC Working Group 17 Report* [online]. 2003 [cit. 2008-03-20]. Dostupný z WWW: <http://www.eevc.org/publicdocs/WG17_Improved_test_methods_updated_sept_2002.pdf>.
- [4] POKORNÝ, Jan. *Bezpečnost a ochrana chodců* [online]. 2008 [cit. 2008-03-17]. Dostupný z WWW: <http://envi.upce.cz/pisprace/ostatni/pokorny_text.pdf>.
- [5] *Pedestrian protection* [online]. 2002 [cit. 2008-02-13]. Dostupný z WWW: <http://www.siemens-restraint-systems.de/de/xt_download/IMechE_2002_IPPS.pdf>.
- [6] *Designing road vehicles for pedestrian protection* [online]. 2002 [cit. 2008-01-14]. Dostupný z WWW: <<http://bmj.bmjournals.com/cgi/reprint/324/7346/1145.pdf>>
- [7] PEŠÍK, Lubomír. *Části strojů : stručný přehled. Díl 1*. Liberec : Technická univerzita, 2002. 158 s. ISBN 80-7083-584-2
- [8] POLISHUK, Paul. *AUTOMOTIVE FIBER: Plastic optical fiber builds on MOST success* [online]. 2006 [cit. 2008-03-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.laserfocusworld.com/articles/250384>>
- [9] FREDRIKSSON, Rikard. *EVALUATION OF A NEW PEDESTRIAN HEAD INJURY PROTECTION* [online]. 2005 [cit. 2008-03-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.autoliv.com/alv/resources/file/eb3a4d4371424ab/Pedestrian.pdf>>
- [10] *Pop-Up Bonnet – aktivní kapota* [online]. 2008 [cit. 2008-02-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.autolexicon.net/cz/article/ppdb-pyrotechnic-pedestrian-deployable-bonnet>>, <<http://www.autolexicon.net/cz/article/pop-up-bonnet-vystrelovaci-kapota>>
- [11] BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 1997. 719 s. ISBN 80-7204-057-X.
- [12] *Designing road vehicles for pedestrian protection* [online]. 2002 [cit. 2008-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://bmj.bmjournals.com/cgi/reprint/324/7346/1145.pdf>>.
- [13] *EEVC Working Group 17 Report* [online]. 2003 [cit. 2008-03-20]. Dostupný z WWW: <http://www.eevc.org/publicdocs/WG17_Improved_test_methods_updated_sept_2002.pdf>

Seznam tabulek, grafů, diagramů a obrázků

Tabulka 1 – Pravděpodobnost usmrcení chodce při střetu s vozidlem.....	7
Tabulka 2 – Časový průběh nehody.....	33
Graf 1 – Graf pro odečtení parametrů.....	18
Graf 2 – Graf pro odečtení parametrů.....	19
Graf 3 – Graf pro odečtení parametrů.....	19
Graf 4 – Účinnost Airbagů pro chodce.....	28
Graf 5 – Porovnání hodnot HIC při testech bez aktivní a s aktivní kapotou.....	33
Graf 6 – Časový průběh zdvihu kapoty a časy dopadů osob různé tělesné výšky.....	38
Diagram 1 - Bezpečnost silničního provozu.....	3
Obrázek 1 – Podíl zranění jednotlivých částí těla.....	6
Obrázek 2 – Části vozidla ovlivňující ochranu chodců.....	8
Obrázek 3 – Procentuelní podíl zranění chodce v dané oblasti vozidla.....	8
Obrázek 4 – Typické tvary profilu přídi.....	9
Obrázek 5 – Zkušební metody ochrany chodců dle EEVC WG17.....	13
Obrázek 6 – Tvorba sítě.....	14
Obrázek 7 – Impaktor dospělé hlavy.....	15
Obrázek 8 – Určení parametrů BLEH a BL.....	17
Obrázek 9 – Impaktor stehna.....	21
Obrázek 10 – Uspořádání zkoušky nárazníku.....	23
Obrázek 11 – Schéma gravitační kompenzace.....	24
Obrázek 12 – Uspořádání balistické zkoušky.....	25
Obrázek 13 – Impaktor dolní končetiny.....	26
Obrázek 14 – Airbag pro chodce.....	27
Obrázek 15 – Noční vidění.....	28
Obrázek 16 – Pre-crash sensing.....	29
Obrázek 17 – Porovnání časové prodlevy v kontaktování krizové linky 112.....	30
Obrázek 18 – Schéma rozmístění komponentů systému aktivní kapoty.....	34
Obrázek 19 – Schéma rozmístění komponentů v nárazníku.....	35
Obrázek 20 – Znázornění rozptylu světelných paprsků v optickém vlákně.....	37
Obrázek 21 – Znázornění letu chodce při rychlosti střetu 40 km.h ⁻¹	39
Obrázek 22 – Blokovací mechanismus v základní poloze.....	40
Obrázek 23 – Blokovací mechanismus v poloze zdvižené kapoty.....	41
Obrázek 24 – Akční člen.....	42
Obrázek 25 – Odjišťovací mechanismus.....	43
Obrázek 26 – Schéma soustavy.....	44
Obrázek 27 – Zámek kapoty.....	45
Obrázek 28 – Přibližná místa dopadu hlavy chodce při různých nárazových rychlostech.....	46
Obrázek 29 – Základní parametry vinuté pružiny.....	51