

**Univerzita Pardubice**  
**Dopravní fakulta Jana Pernera**

**Návrh koncepce osobního automobilu s nekonvenčními prvky  
pasivní bezpečnosti**

**Bc. Milan Matějka**

**Diplomová práce**  
**2012**

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Milan Matějka**  
Osobní číslo: **D10796**  
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**  
Název tématu: **Návrh koncepce osobního automobilu s nekonvenčními prvky pasivní bezpečnosti**  
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

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

1. Úvod do problematiky
2. Analýza současného stavu v problematice prvků pasivní bezpečnosti
3. Stanovení cílů řešení práce
4. Ideový návrh reálně využitelných nekonvenčních prvků pasivní bezpečnosti
5. Modelové ztvárnění nekonvenčních prvků pasivní bezpečnosti
6. Technicko ekonomické zhodnocení navržených řešení a možností jejich praktické aplikace
7. Závěr, doporučení pro pokračování prací v této problematice

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- [1] Kovanda, J. Konstrukce automobilů. Pasivní bezpečnost. Skripta, Vydavatelství ČVUT Praha, 1996, ISBN 80-01-01459-2
- [2] Šachl, J. a kol. Analýza nehod v silničním provozu. Skripta, Vydavatelství ČVUT Praha, 2010, ISBN 978-80-01-04638-8
- [3] Mičunek, T. Možnosti snížení dopravních nehod technickými opatřeními a opatřeními po nehodě. Doktorská disertační práce. ČVUT Praha, FD, 2010

Vedoucí diplomové práce:

**doc. Ing. Milan Graja, CSc.**

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce:

**24. února 2012**

Termín odevzdání diplomové práce:

**23. května 2012**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 24. února 2012

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 18.5.2012

Milan Matějka

## Poděkování

Děkuji panu doc. Ing. Milanu Grajovi, CSc. za vstřícnost a podporu při vedení diplomové práce a dále svým blízkým za morální podporu při tvorbě této práce.

**Anotace:**

Tato práce je věnována hlavně vnitřní pasivní bezpečnosti vozidla, a to při čelním nárazu. Popisuje současný stav v problematice pasivní bezpečnosti a dále se věnuje koncepci osobního automobilu osazeného nekonvenčními prvky pasivní bezpečnosti, které jsou ideově složeny z již existujících a v reálném provozu používaných prvků.

**Klíčová slova:**

Pasivní bezpečnost, airbag, bezpečnostní pás, biomechanická kritéria

**Title:**

Design proposal of passenger car with unconventional passive safety features

**Annotation:**

This work is devoted mainly to internal passive safety of vehicle, especially during the frontal impact. Describes the current state of passive safety issues and then is dedicated to the concept car fitted with unconventional passive safety features, which are ideologically composed of existing elements used in real operation.

**Keywords:**

Passive safety, airbag, seatbelt, biomechanical criterion

# Obsah

1. Úvod.....	9
2. Analýza současného stavu v problematice prvků pasivní bezpečnosti.....	11
2.1. Legislativa.....	12
2.2. Biomechanika poranění.....	13
2.2.1. Poranění hlavy.....	16
2.2.2. Poranění krční páteře.....	17
2.2.3. Poranění hrudníku.....	18
2.2.4. Poranění břicha.....	20
2.2.5. Poranění pánve.....	20
2.2.6. Poranění končetin.....	20
2.3. Nárazové zkoušky.....	21
2.3.1. Čelní náraz dle EHK č. 94.....	21
2.3.2. Boční náraz dle EHK č. 95.....	22
2.4. Zadržné systémy.....	23
2.4.1. Bezpečnostní pásy.....	24
2.4.2. Bezpečnostní vaky - airbagy.....	28
2.4.3. Opěrky hlavy.....	31
2.5. Deformační vlastnosti karosérie automobilu.....	32
3. Stanovení cílů práce.....	35
4. Ideový návrh reálně využitelných nekonvenčních prvků pasivní bezpečnosti..	36
4.1. Rozdělení četnosti nárazů.....	36
4.2. Základní idea zlepšení pasivní bezpečnosti.....	37
5. Modelové ztvárnění nekonvenčních prvků pasivní bezpečnosti.....	38
5.1. Absorbující nárazník.....	39
5.1.1. Varianta 1 – využití elektromechanické baterie.....	43
5.1.2. Varianta 2 – využití dvou lineárních motorů k prodloužení deformační zóny.....	45
5.2. Přídavné speciální airbagy.....	45
5.3. Deformační charakteristiky přídě.....	47
6. Technicko ekonomické zhodnocení navrhnutých řešení a možností jejich praktické aplikace.....	50

7. Závěr .....	53
8. Seznam použité literatury.....	54
Seznam obrázků .....	55
Seznam tabulek .....	56

## 1. Úvod

Lidské zdraví je to nejcennější, co každý z nás má. V dnešním silničním provozu je díky jeho hustotě nebezpečí vzniku poranění velmi vysoké. Je proto nezbytně nutné stále vyvíjet nová a důmyslnější opatření k ochraně lidského zdraví. Proto se výrobci automobilů snaží stále vyvíjet bezpečnostní prvky a zvyšovat tím bezpečnost na našich komunikacích. Celkovou bezpečnost silničního provozu lze rozdělit na dvě hlavní skupiny: na aktivní bezpečnost, která pomáhá předcházet nehodám, a na pasivní bezpečnost, která zmírňuje následky nehody.

Aktivní bezpečnost lze dle [15] rozdělit do několika skupin. Jízdní bezpečnost se věnuje jízdním vlastnostem vozidla, tzn. hlavně brzdovým a stabilizačním systémům (například ABS, ESP, ASR, atd.). Hlavní náplní kondiční bezpečnosti je ergonomie, zajišťující dostatečné pohodlí pro řidiče (pohodlný posed, dobré odhlučnění, správná funkce větrání a vytápění, atd.) aby se mohl plně soustředit na jízdu. Pozorovací bezpečnost zahrnuje řešení problémů dostatečného výhledu z vozidla a řeší problematiku kvality osvětlení vozidla, a to ne jen aby řidič sám viděl, ale také aby byl viděn. Ovládací bezpečnost se soustředí na to, aby řidič pohodlně dosáhl na všechny ovládací prvky.

Pasivní bezpečnost lze ještě dále rozdělit na dvě skupiny – vnitřní a vnější pasivní bezpečnost. Vnitřní pasivní bezpečnost zabraňuje nebo aspoň snižuje nebezpečí poranění cestujících ve vozidle. Při nehodě snižuje působení přetížení na lidský organismus a zajišťuje minimální vnitřní prostor pro přežití cestujících. Velikost přetížení se daří zmenšovat použitím zádržných systémů (bezpečnostní pásy, nafukovací vaky, opěrky hlavy), minimální prostor pro přežití se dosahuje bezpečnou strukturou karosérie a bezpečnostním vybavením. Vnější pasivní bezpečnost je zaměřena především na ostatní účastníky silničního provozu, hlavně pak řeší střet vozidla s chodcem. Z hlediska střetu s chodcem by na karosérii vozidla neměly být žádné ostré hrany, ani žádné ostré výstupky, o které by hrozilo vážné poranění chodce. Druhým důležitým problémem vnější pasivní bezpečnosti je kompatibilita vozidel. Kolidující vozidla by si měla být z hlediska bezpečnosti, co nejvíce podobná

(stejná výška, stejná hmotnost) tak, aby se účinky nárazu rozdělily rovnoměrně na obě vozidla. Problém je hlavně u vozidel kategorií Off-road a SUV, která jsou nejen vyšší, ale i výrazně těžší než většina osobních automobilů na našich silnicích.

K pasivní bezpečnosti nepřispívají jen prvky umístěné na vozidle, ale dnes se navrhuje a staví i komunikace s ohledem na co největší bezpečnost. Při stavbě komunikace se dbá na jednoznačnost, rozpoznatelnost a srozumitelnost dopravní cesty. Přirozené uspořádání přispívá k lepší orientaci řidiče při jízdě a pomáhá mu předvídat a orientovat se v různých situacích. Další důležitou funkcí komunikace je minimalizace rizika střetu s pevnou překážkou při náhlém opuštění komunikace. Samotné provedení zón okolo komunikace musí snižovat možnost převrácení, v horším případě několikanásobného převrácení automobilu a nesmí způsobit ve snaze odvrátit střet s pevnou překážkou opětovné vrácení automobilu na komunikaci.

Tato práce je věnována hlavně vnitřní pasivní bezpečnosti vozidla, a to při čelním nárazu. Popisuje současný stav v problematice pasivní bezpečnosti a dále se věnuje koncepci osobního automobilu osazeného nekonvečními prvky pasivní bezpečnosti, které jsou ideově složeny z již existujících a v reálném provozu používaných prvků. Je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení navržené koncepce a úvaha o reálném využití této koncepce.

## 2. Analýza současného stavu v problematice prvků pasivní bezpečnosti

V 19. století se začalo rodit jedno z nejvýznamnějších průmyslových odvětví – automobilový průmysl. V důsledku toho, že se automobily staly vítanými pomocníky hlavně v oblasti přepravy osob, začalo se toto odvětví velmi rychle vyvíjet. Díky stále novější a důmyslnější technice a také toho, že se automobil stal nedílnou součástí našich životů, se nyní vyrábí miliony kusů ročně. Stále více houstne provoz na našich komunikacích a s tím přichází i zvýšené nebezpečí vzniku nehod.

Zvýšeného rizika za volantem už si všímali naši předci, a proto začali vytvářet opatření k tomu, aby co nejvíce ochránili životy pasažérů. První bezpečnostní opatření v podobě bezpečnostních pásů se začala objevovat na konci 19. století. V začátcích stačilo našim předkům použít jen dvoubodový bezpečnostní pás, ale při prudkém vývoji automobilového průmyslu se také úměrně tomu zvyšovala rychlost automobilů. Dvoubodový pás se stal málo účinným a v některých případech i nebezpečným. Proto se pracovalo na vylepšení a byl vyvinut třibodový pás. Za vynálezce je považován Nils Bohlin, jehož třibodový pás byl poprvé použit u sériového automobilu značky Volvo v roce 1959 [14]. Jedná se o pás, jehož podoba je taková, jakou ji známe dnes. Přibližně ve stejných letech byly vynalezeny deformační zóny karoserie automobilů, druhý z nejdůležitějších prvků ochrany cestujících. Jedná se o speciální konstrukce karoserie, které se řízeně deformují.

Se vzrůstající nebezpečností provozu se hledala další možná řešení bezpečnosti cestujících. Aby se minimalizovala zranění, začaly se vymýšlet speciální bezpečnostní nafukovací vaky – airbasy. V 50. letech 20. století vynalezl John W. Hetrick první airbag, ovšem jeho použití naráželo na způsobu jeho spouštění. Jeho větší rozšíření přišlo až po roce 1967, kdy americký vynálezce Breed prodal svůj patent na čidlo pro detekci nárazu [13], avšak k výraznému použití došlo až po roce 1980 v automobilech firmy Mercedes – Benz. To už nebyl airbag brán jako náhrada bezpečnostních pásů, nýbrž jako jejich doplněk. V současnosti jsou tyto dva systémy nedílnou součástí celku a používání jen jednoho z nich je doslova hazard s vlastním

životem.

## 2.1. Legislativa

V České republice je problematika pasivní bezpečnosti legislativně stanovena Zákonem č.56/2001 Sb. „Zákon o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích“ a vyhláškou Ministerstva dopravy a spojů č. 341/2002 Sb. „O schvalování technické způsobilosti a technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích“. Dále je nutné pro schvalování vozidel pro připuštění k provozu dodržet tzv. homologační předpisy (tj. předpisy pro ověřování shodnosti) Evropské hospodářské komise EHK-OSN. Schvalování způsobilosti vozidel k provozu v ČR provádí TÜV SÜD Auto CZ s.r.o. a DEKRA Automobil a.s.

Mezinárodní předpisy EHK-OSN a jejich požadavky musí vozidla bez výjimky splňovat tak, aby mohla být dle Ženevské dohody z roku 1958 („O přijetí jednotných podmínek pro homologaci a o vzájemném uznávání homologace výstroje a součástí motorových vozidel“) uvedena do provozu. Tyto předpisy určují požadované účinky a vlastnosti, avšak nepředepisují konkrétní konstrukční řešení, kterými mají být dosaženy. V tabulce 1 jsou uvedeny předpisy EHK-OSN pro zajištění pasivní bezpečnosti posádky osobních vozidel, které tvoří velkou část všech předpisů z důvodu jejich velké důležitosti (hlavně v oblasti lidského zdraví).

Ve Spojených státech amerických používají pro homologaci předpisy a normy FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standard). Ty byly v některých případech podnětem k vypracování evropských předpisů EHK. V tabulce 1 jsou uvedeny jejich vzájemné ekvivalenty.

tabulka 1 - Předpisy EHK/OSN (upraveno z [4])

Část vozidla	Předpis EHK	Norma FMVSS
zámky a závěsy dveří	R 11	206
náraz na sloupek řízení	R 12	203, 204
úchyty bezpečnostních pásů	R 14	210
bezpečnostní pásy pro dospělé	R 16	208, 209
pevnost sedadel a jejich uchycení	R 17	207
vnitřní výčnělky osobních vozidel	R 21	201
opěrky hlavy	R 25	202
náraz na vozidlo zezadu	R 32	301
náraz na vozidlo zepředu	R 33	208, 301
ochrana proti požáru	R 34	301
bezpečnostní skla a zasklívací materiály	R 43	205, 212
zadržovací zařízení pro děti	R 44	213
ochrana cestujících při čelním nárazu	R 94	208
ochrana cestujících při bočním nárazu	R 95	214, 301
převrácení na střechnu		216

## 2.2. Biomechanika poranění

Biomechanika vznikla skloubením mechaniky a lékařství. Jedná se o vědní obor, který popisuje mechanismy poranění a zjišťuje mechanickou odolnost lidského těla. Důležité jsou pro biomechaniku analýzy dopravních nehod. Z těchto analýz lze vyhodnocovat informace o četnosti různých druhů nárazů, k jakým zraněním posádky při nich dochází a při jakých rychlostech se nehody stávají. Po vyhodnocení získává informace o únosnosti a zatížitelnosti různých částí lidského těla (tkáň, orgány, kosti) a stanovuje mezní hodnoty, které musí splňovat bezpečnostní opatření

na vozidle [1].

Proto, aby bylo možné určit mezní hodnoty poranění, je nutné použít různé modely a náhradní objekty, které simulují reálné oběti dopravních nehod. Nejvíce používanými objekty jsou dle [1]:

- Dobrovolníci, které lze zatěžovat jen na hranici bolesti a bývají to zpravidla dobře trénovaní jedinci s výbornou fyzickou kondicí (vojáci).
- Neživá těla, která je možno zatěžovat až po zlomeniny a poškození orgánů. Nedají se u nich ovšem uplatnit svalové a fyziologické reakce.
- Zvířata v anestézii, která doplňují výsledky na neživých tělech o fyziologické reakce.
- Mechanické modely (tzv. „crash test dummies“), což jsou modely člověka určené pro zkušebnictví. Mají ocelovou kostru, plastový povrch a jsou osazeny snímači a umožňují opakovatelnost měření.
- Matematické modely, které vznikají matematickou simulací.

Z výsledků testování objektů se stanoví kritéria poranění, což jsou mezní hodnoty mezi přípustnými a nepřípustnými zraněními. Po zavedení příslušné míry bezpečnosti jsou stanovena kritéria ochrany (bezpečnostní limity – je možné je měřit na zkušebních figurínách), které musí být splněny.

Mezi nejdůležitější biomechanická kritéria dle [1] patří:

- maximální zatížení člověka při zpoždění;
- poranění hlavy s průměrnými a kritickými hodnotami pevnosti lebky a odolnosti mozku vůči poranění;
- poranění hrudníku a některých vnitrohrudních orgánů;
- poranění vnitrobřišních orgánů;
- hraniční hodnoty pevnosti obratlů, páteře a pánve, rozsah a kritické hodnoty pevnosti kostní pánve.

K hodnocení závažnosti poranění různých částí lidského těla se používají různé stupnice na základě různých kritérií. Nejpoužívanější je stupnice Abbreviated Injury Scale (AIS). Celková míra závažnosti úrazu je stanovena na základě traumatologického vyhodnocení všech jednotlivých zranění [4]. Stupnice s příklady typických poranění jednotlivých částí lidského těla je uvedena v tabulce 2.

**tabulka 2 - Tabulka AIS (převzato z [4])**

<b>Index</b>	<b>Kategorie míry závažnosti</b>	<b>Druh zranění - příklad</b>
0	BEZ ZRANĚNÍ	
1	MALÁ	odřeny, otláčení, natržení kůže, obražení hlavy, popáleniny 1. stupně až 70%, popáleniny 2. stupně až 10% (bez ztráty vědomí)
2	MÍRNÁ	velkoplošné odřeny a obraženiny, rozsáhlá porušení slabin, lehké poranění hlavy, popáleniny 2. stupně do 20% (krátkodobá ztráta vědomí)
3	TĚŽKÁ (není životu nebezpečné)	otevřené rány s poškozením nervů a cév, zlomeniny lebky bez vnitřních zranění, popáleniny 2. stupně 30% (ztráta vědomí 5 až 10 min)
4	TĚŽKÁ (životu nebezpečné, přežití pravděpodobné)	rány s nebezpečným krvácením, vícenásobné zlomeniny s poškozením orgánů, poranění mozku s neurologickými příznaky, popáleniny 2. stupně 40%, popáleniny 3. stupně 10% (ztráta vědomí 10 až 30 min)
5	TĚŽKÁ (přežití nejisté)	ruptury (roztržení) orgánů, zlomení krční páteře, poškození mozku, popáleniny 3. stupně až 50% (bezvědomí 30 min až 1 h)
6	MAXIMÁLNÍ (smrtelné úrazy)	

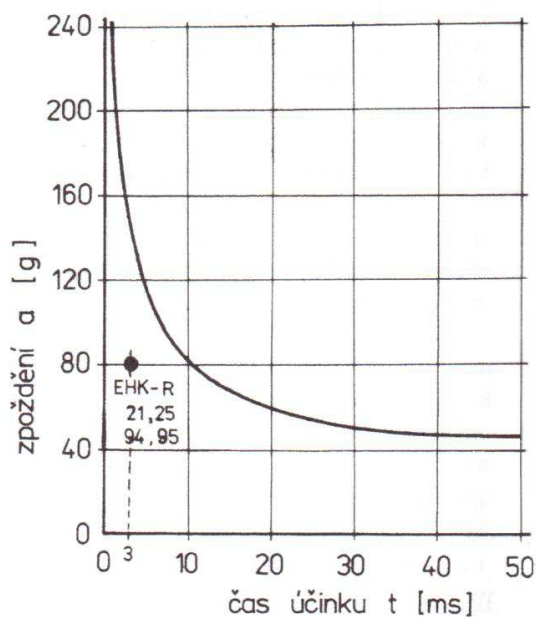
### 2.2.1. Poranění hlavy

Poranění hlavy patří mezi nejčastější a nejnebezpečnější následky nehodových dějů, ke kterým dochází při více než 70% dopravních nehod a zároveň se dá označit za nejběžnější příčinu smrti [1]. Můžeme ho rozdělit na:

- poranění obličejové části – u lehkých zranění se může jednat o povrchové drobné poranění kůže, u těžších se může jednat jak o zasažení slinných žláz, cév a nervů tak i o zlomeniny obličejových kostí. Používáním zádržných systému klesá riziko zlomenin.
- poranění mozkové části – zde se jedná hlavně o zlomeniny kostí lebky a poranění mozku, případně o jejich kombinaci.

Poranění hlavy způsobují výhradně setrvačné nebo vnější síly (statické a dynamické). Vnější síly statické zůstávají konstantní v čase ne větším než 200 ms, naproti tomu dynamické vnější síly působí v čase kratším než 50 ms a mohou být zapříčiněny rázovými silami nebo změnou pohybového stavu soustavy. Při kontaktním poranění statickou silou dochází k překročení meze pevnosti kostí a k jejímu následnému zlomení. Při kontaktním poranění dynamickou silou vzniká rázová vlna, která se dál šíří hlavou a poranění mozku se může objevit i na opačné straně lebky, než kde působila vnější síla. Setrvačná síla způsobuje zranění bezkontaktní (odezva na zrychlení/zpomalení) a opět dochází k poranění mozku. Při dopravních nehodách se častěji vyskytuje kontaktní poranění než poranění způsobené zrychlením [4].

Základem pro určení limitů špičkového zatížení hlavy (mozku) je WSU – křivka (Wayne State University), viz *obr. 1*. Udává translační zpoždění hlavy v závislosti na době účinku. Za únosné se považují, jsou-li pod křivkou. Naopak dostanou-li se hodnoty nad WSU – křivku, pak se posuzují jako životu nebezpečné. Na základě této křivky, která platí pouze pro čelní náraz, byl určen důležitý limit i pro ostatní směry – 80 g po dobu trvání 3 ms pro špičkové zpoždění hlavy.



obrázek 1 - Hranice snesitelnosti zpoždění v závislosti na době účinku pro lidský mozek. WSU - křivka (Převzato z [4])

Nejčastějším biomechanickým kritériem poranění hlavy je index zatížení hlavy (Head Performance Criterion – HPC), který se určuje dle vztahu

$$HPC = \max \left\{ (t_2 - t_1) \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} \right\} \quad (2.1)$$

kde  $a(t)$  [g] je výsledná hodnota zpoždění hlavy,  $t_1$  a  $t_2$  [s] jsou doby, mezi kterými leží maximum indexu HPC. Jeho mezní hodnotou pro přežití  $HPC = 1000$ . V amerických předpisech dle normy FMVSS 208 se používá kritérium Head Injury Criterion (HIC). Jeho hodnota by opět neměla překročit  $HIC \leq 1000$  a výsledné zrychlení hlavy nesmí přesáhnout 80 g po dobu 3 ms.

### 2.2.2. Poranění krční páteře

Pro mechanismus poranění krční páteře jsou hlavními činiteli setrvačné účinky relativního pohybu hlavy a trupu. Tyto účinky mohou mít různé mechanismy v různých směrech. Nejvýznamnější z hlediska poranění při dopravních nehodách jsou však mechanismy působící v podélné rovině symetrie vozidla. Pohyb hlavy při asymetrickém nárazu nebo asymetrie způsobená třibodovým bezpečnostním pásem

se nepovažují za hlavní. Významný je pohyb hlavy vpřed s rychlým švihem směrem vzad (whiplash = prásknutí biče) [3], u kterého se projevují zranění jako rozlomení těla obratlů, zlomeniny oblouků (obratle krční páteře), porušení spojujících vazů a následně k porušení míchy. Tato kritická poranění mohou zapříčinit ochrnutí končetin, či dokonce celkovou nepohyblivost.

U dětských cestujících je pohyb hlavy vpřed mnohem důležitější než u dospělých cestujících. Lidská hlava dosahuje 50 % své velikosti už v 18 měsících, zatímco hrudník dosáhne 50 % velikosti dospělého jedince až v osmi letech věku. Tento nepoměr je považován za důležitý činitel zranění. Proto se maximální dráha hlavy dítěte v dětské sedačce uvažuje 550 mm [3].

Pro poranění krční páteře zatím nebyla stanovena žádná komplexní kritéria poranění. Je to z důvodu složitosti a pestrostí jevů při zatížení krční páteře a proto se měří různé maximální hodnoty, mezi které dle [3] patří:

- tahové síly působící na šíji,
- síly stříhu a maximální ohybové momenty,
  - čelní ohyb 50,2 Nm,
  - zaklonění 20,3 Nm,
  - boční ohyb 47,5 Nm.

### **2.2.3. Poranění hrudníku**

K poranění hrudníku může dojít buď nárazem na tupý předmět nebo proniknutím cizího předmětu dovnitř. Poranění tupým předmětem, stlačením nebo nárazem způsobují především zlomeniny žeber a hematomy (otoky) stěn hrudníku. Pronikající poranění mohou způsobit poškození hrudních stěn i vnitřních orgánů, poranění srdce, velkých cév a poranění plic. Nevyskytují se při dopravních nehodách tak často a z toho důvodu se neuvažují při sestavování kritérií poranění hrudníku.

Poranění hrudníku lze rozdělit dle způsobu zatížení na:

- komoce (otřes) při prudkém nárazu na hrudník nebo záda,

- kontuze (zhmoždění) provázená zlomeninami žeber, poraněním jater, sleziny, ledvin, bránice (je spojena s těžkým šokem a s dýchacími potížemi)
- komprese (stlačení) při tlaku na rozepjaté plíce vedoucí až k roztržení plic, nebo při náhlém stlačení hrudníku v okamžiku vdechu.

Hodnocení poranění hrudníku je založeno především na datech získaných na základě experimentů. Mohou vycházet z jedné nebo z více měřených veličin. Mezi nejjednodušší jednou veličinou měřená kritéria patří dle [3]:

### ***Kritérium 3 ms***

Kritérium definuje hraniční hodnoty zrychlení naměřené během zkoušky vozidla na hrudi zkušební figuríny. Hodnoty nesmí překročit míru 60 g na dobu delší než 3 ms. (u dětí pouze 45 g)

### ***Kritérium maximálních sil***

Toto kritérium určuje, aby při kolizi s volantem nebyly síly naměřené na hrudní kosti vyšší než 3,29 kN a síly působící na rameno a hrud' nesmí překročit hodnotu 8,0 kN.

Mezi kritéria měřená více veličinami patří:

### ***Kritérium TTI (Thoracis Trauma Index)***

Kritérium se užívá při hodnocení bočního nárazu a vypočítá se dle vztahu

$$TTI = 1,4 \cdot AGE + 0,5(RIBY + T12Y) \frac{MASS}{M_{St}}, \quad (2.2)$$

kde AGE je věk [rok], RIBY je maximální zrychlení čtvrtého až osmého žebra na nárazové straně v [g], T12Y je maximální zrychlení na dvanáctém hrudním obratli v [g], MASS je hmotnost testované osoby,  $M_{St}$  je 75 kg. Maximální dovolená hodnota kritéria je 85 g pro čtyřdveřové automobily, 90 g pro dvoudveřové.

### ***Kritérium měkkých tkání V\*C (Viscous Criterion)***

Stanovuje se pro nárazy při rychlostech vyšších než 30 m/s a platí pro čelní a boční náraz dle předpisů EHK 94 a 95. Vypočítá se dle vzorce:

$$V * C = \frac{d[D(t)]}{dt} \cdot \frac{D(t)}{D}, \quad (2.3)$$

kde  $D(t)$  je deformace hrudníku v čase a  $D$  je dohodnutá veličina (polovina rozměru torza hrudníku). Maximální přípustná hodnota je 1,0 m/s a maximální deformace v oblasti žeber je 42 mm.

Mezi další kritéria patří např. kritérium stlačení hrudníku ThCC (Thorax Compression Criterion), které se udává při čelním nárazu a jeho maximální hodnota je 50 mm. Při bočním nárazu se stanovuje kritérium deformace žeber RDC (Rib Deflection Criterion), přičemž jeho maximální hodnota nesmí přesáhnout 42 mm.

#### **2.2.4. Poranění břicha**

Břišní dutina obsahuje životně důležité orgány, jako jsou játra, ledviny, slinivka břišní nebo slezina. Při jejich poškození může dojít k závažným metabolickým problémům, případně až k vážnému ohrožení života. Maximální přípustné zatížení břicha stanovuje kritérium APF (Abdomen Peak Force), které se používá při bočním nárazu. APF je suma maximálních hodnot ze tří snímačů umístěných 39 mm pod povrchem těla na nárazové straně figuríny. Limitní hodnota je 2,5 kN (ekvivalentní vnější síla 4,5 kN) [3].

#### **2.2.5. Poranění pánve**

Pánev se skládá ze dvou kostí pánevních a z kostí křížové, které dohromady tvoří uzavřený celek. Pomocí pánevních kostí jsou v kloubním spojení upevněny dolní končetiny. Pánevní dutina obsahuje orgány močového zažívacího a rozmnožovacího systému. Mezi nejvážnější poranění patří zlomeniny pánve, které mohou způsobit ztrátu stability celého těla, a může se zde následně objevit masivní krvácení z uložených orgánů a cév. Pro testování se užívá kritéria maximálního zatížení stydkých kostí PSPF (Pubic Symphysis Peak Force), používaného při testování bočním nárazem. Měří se maximální hodnota síly ve sponě stydké, která nesmí překročit hodnotu 6 kN.

#### **2.2.6. Poranění končetin**

Dolní končetiny jsou mnohem více zatěžovány při nárazech, a proto se vůbec

neprovádí testování horních končetin. Z tohoto důvodu také figurína EuroSID pro boční náraz horní končetiny vůbec neobsahuje. Nejčastější poranění dolních končetin nastávají při jejich kolizi s přístrojovou deskou, kontaktem s pedály nebo při deformaci podlahy automobilu.

Základními kritérii dle [3] jsou:

- kritérium stehenní kosti FPC (Femur Performance Criterion), při němž nesmí axiální síla působící na kost překročit 10 kN,
- kritérium tlakové síly působící na holenní kost TCFC, limitní hodnota nesmí přesáhnout hodnotu 8 kN,
- index holenní kosti TI, vypočte se z následujícího vzorce:

$$TI = |M_R / (M_C)_R| + |F_Z / (F_C)_Z|, \quad M_R = \sqrt{(M_X)^2 + (M_Y)^2}, \quad (2.4)$$

kde  $M_x$  je ohybový moment okolo osy x,  $M_y$  je ohybový moment okolo osy y,  $(M_C)_R$  je kritický ohybový moment, za který se považuje 244 Nm,  $F_z$  je axiální tahová síla ve směru z,  $(F_C)_z$  je kritická tlaková síla ve směru z, za kterou se považuje 35,9 kN. Pro kritérium je povolena limitní hodnota 1,3.

### 2.3. Nárazové zkoušky

Proto, abychom mohli vyhodnotit biomechanická kritéria poranění, je třeba provést nárazové zkoušky (crash testy). Průběhy dvou základních zkoušek jsou uvedené v předpisech EHK-OSN:

- Ochrana cestujících při čelním nárazu – EHK č. 94
- Ochrana cestujících při bočním nárazu – EHK č. 95

#### 2.3.1. Čelní náraz dle EHK č. 94

Dle předpisu EHK 94 [20] celá zkouška se provádí na dostatečně velké ploše tak, aby obsahovala rozběhovou dráhu, bariéru a technické vybavení nutné k provedení zkoušky. Posledních 5 m dráhy musí plocha hladká, rovná a horizontální. Nárazová bariéra se skládá z tělesa o hmotnosti minimálně 70 t, na

kterém je umístěna deformovatelná voštinová konstrukce. Těleso je pevně připevněno ke zkušební dráze. Bariéra musí být orientována tak, aby byl prvně styk vozidla s bariérou na straně sloupku volantu, a je kolmá na směr dráhy vozidla s tolerancí  $\pm 1^\circ$ .

Zkoušené vozidlo musí odpovídat sériové výrobě, musí obsahovat všechnu výstroj, kterou je běžně vybaveno a musí být v běžném provozním stavu. Při nárazu musí vozidlo překrývat čelní stěnu bariéry z  $40\% \pm 20$  mm. Při zkoušce musí být vozidlo zatíženo na pohotovostní hmotnost, palivová nádrž se plní vodou na hmotnost rovnající se 90% celkové hmotnosti paliva specifikované výrobcem. Vozidlo musí být poháněno buď svým vlastním motorem, nebo jakýmkoli jiným poháněcím zařízením, při nárazu pak nesmí být vystaveno působení jiného řídicího nebo poháněcího zařízení. Rychlost vozidla v době nárazu má být  $56 -0/+1$  km/h. Pokud je rychlost vyšší a vozidlo splní požadavky, považuje se za vyhovující.

Jako zkušební figurína se používá figurína Hybrid III (s proporcemi průměrného muže), která je osazena potřebnými snímači a měřícími zařízeními. Umisťují se dvě figuríny na přední sedadla. Z výsledků měření se stanovují biomechanická kritéria HPC, NIC, ThCC, V\*C a TI.

### **2.3.2. Boční náraz dle EHK č. 95**

Dle [5] platí obdobná pravidla pro zkušební dráhu jako u čelního nárazu. Rozdíl je zde v tom, že vozidlo v tomto případě stojí a pohybuje se deformační bariérou. Pohyblivá deformační bariéra musí být vybavena vhodným zařízením, které zabrání sekundárnímu nárazu na zkoušené vozidlo. Hmotnost bariéry je  $950 \pm 20$  kg, rozchod kol vozíku  $1500 \pm 10$  mm, rozvor  $3000 \pm 10$  mm [4]. Trajektorie podélné střední kolmé roviny pohyblivé deformační bariéry musí být kolmá k podélné střední svislé rovině naráženého vozidla. Rychlost bariéry v okamžiku nárazu musí být  $50 \pm 1$  km/h a musí být stabilizována nejméně 0,5 m před nárazem. Opět platí, že pokud byla provedena zkouška vyšší rychlostí a vozidlo splnilo požadavky, považuje se za vyhovující.

Pro boční náraz se používá figurína EUROSID 1 a umisťuje se na přední sedačku na straně nárazu. Jako zkušební kritéria se používají kritéria HPC, RDC, V\*C, PSPF

a APF.

## 2.4. Zadržné systémy

Při dopravních nehodách dochází k velkým silovým účinkům na posádku vozidel. K ochraně posádky nelze využít jen vhodného deformačního chování karosérie, ale pro dodržení biomechanických limitů poranění je nutné využít tzv. zadržných systémů. Při čelním nárazu vozidla na pevnou překážku se pohybová energie vozidla přeměňuje díky deformaci přední části vozidla na přetvárnou práci a toto vede k zastavení vozidla. Požadavek na prostor pro cestující je, aby se při působení zpomalení, které leží v přípustných mezích, nedeformoval. Pokud není cestující zadržen, pohybuje se nezmenšenou rychlostí přímo na části vozidla před ním (volant, palubní deska, čelní sklo). V tomto případě cestující nevyužije deformaci přední části vozidla a je vystaven velkým zpožděním, jelikož části, na které dopadá, mají jen velmi malé deformační dráhy. V případě, že je použit zadržný systém, je cestující držen na místě a ihned po nárazu se pohybuje se stejným zpožděním jako vozidlo (a využívá deformačních vlastností přídě vozidla).

Na základě těchto procesů probíhajících při dopravních nehodách jsou formulovány základní požadavky na zadržné systémy. Dle [4] jsou to:

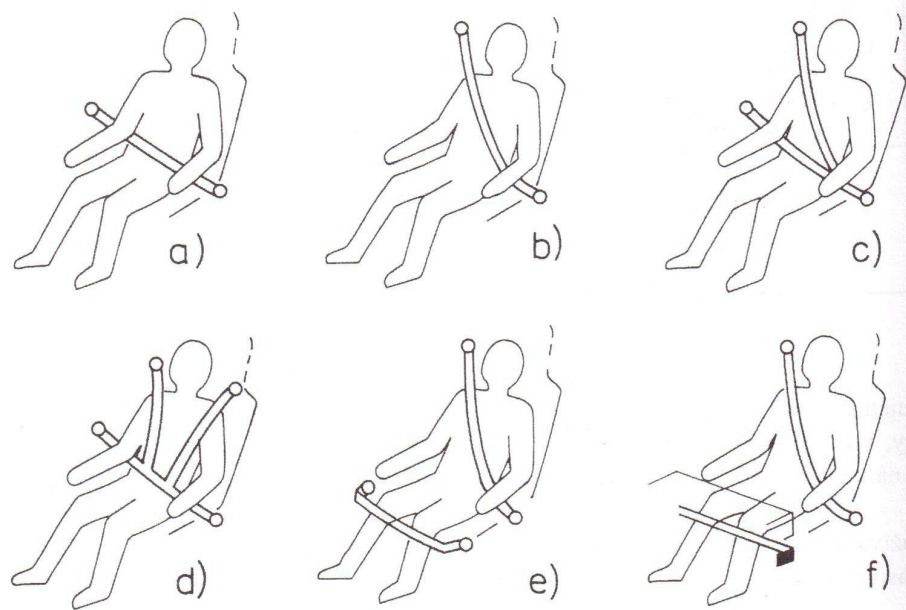
- rychlý účinek zadržného systému po okamžiku začátku zpoždění vozidla ve smyslu co nejmenšího zpoždění při stejném dopředném přemístění (tzn. co nejmenší dráha cestujícího a co nejmenší reakční doba systému);
- malé zpoždění cestujícího, kdy nesmějí být mechanickým zatížením překročeny biomechanické limity;
- pokud není systém v činnosti, musí být zaručeno dostatečné pohodlí, aby cestující zadržné systémy neustále používali.

U zadržných systémů také rozlišujeme, zda se jedná o aktivní nebo pasivní. Aktivní systémy musí cestující obsluhovat sám, pasivní jsou připraveny k funkci bez nutnosti obsluhy cestujícím. Nejvíce používanými zadržnými systémy jsou popruhové systémy (aktivní i pasivní bezpečnostní pásy) a pasivní systémy

s nafukovacími vaky (airbagy).

#### 2.4.1. Bezpečnostní pásy

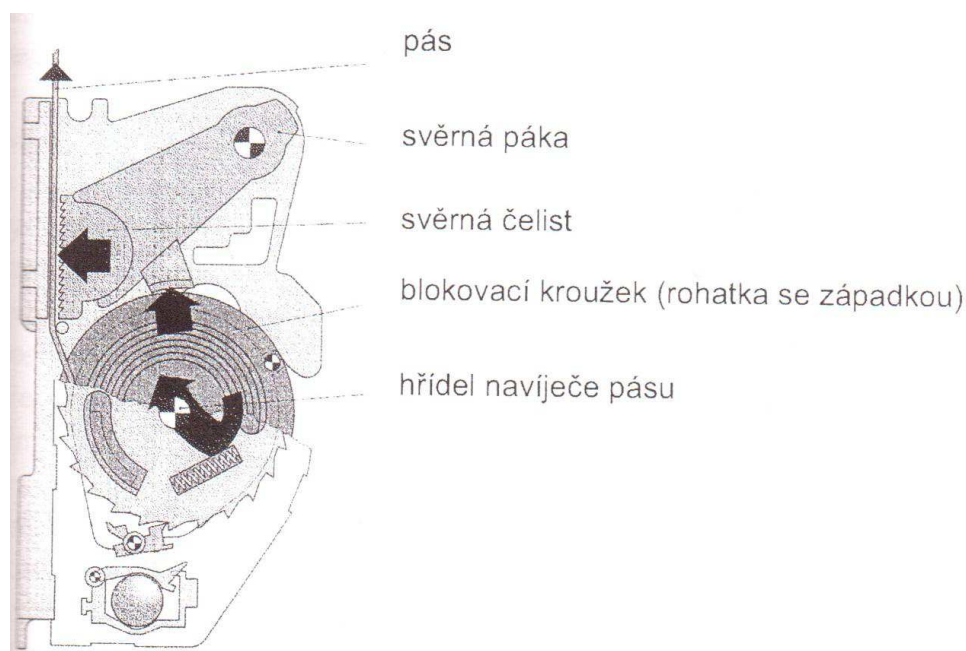
Na *obr. 2* jsou znázorněny základní typy bezpečnostních pásů. Nejpoužívanějším je aktivní třibodový pás, který je tvořen diagonálním pásem (obepíná hrudník cestujícího) a pánevním pásem. Dvoubodové břišní pásy se používaly v minulosti, ale v současné době se od nich ustoupilo. Jejich velkou nevýhodou je, že při pohybu cestujícího dochází k jeho ohýbání přes pás v břišní oblasti (tzv. „efekt zavíracího nože“). Čtyřbodové bezpečnostní pásy poskytují velmi dobré zabezpečení a používají se hlavně v závodních automobilech. Jako uzávěr aktivních pásů se používá hlavně tlačítkové ovládání.



obrázek 2 - Druhy bezpečnostních pásů (převzato z [4]): a – dvoubodový (břišní); b – dvoubodový (diagonální); c – třibodový; d – čtyřbodový (šle); e – ramenní a kolenní; f – diagonální s kolenní opěrkou.

Pasivní bezpečnostní pásy umožňují automatické obepnutí cestujícího po nasednutí. Jedná se ale o technicky velmi složitý systém, hlavně pak konstrukce pánevního pásu. Zjednodušení poskytuje kombinace samočinného diagonálního pásu s kolenním polštářem. Z důvodů jejich komplikovaného řešení se dnes ovšem využívají hlavně aktivní bezpečnostní pásy.

Aby byl zajištěn volný pohyb těla, je nutné automaticky přizpůsobovat délku bezpečnostních pásů. K tomu slouží samonavíjecí mechanismy (cívky). Diagonální pás je veden přes rameno, prochází úchytem v B-sloupku a směřuje do navíjecí cívky, která je umístěna u podlahy a vtahuje pás zpět (vytváří pružné napnutí pásu). Při nárazu je ale nutné zajistit, aby pás zadržel pohyb těla a cívka se proto musí blokovat. Existují dva způsoby zablokování samonavíjecí cívky: rychlým vytáhnutím pásu nebo zrychlením při nárazu vozidla v libovolném směru, kdy blokovací funkce je zabezpečena vykývnutím kyvadla. Často jsou použity oba způsoby blokování, jak uvádí *obr. 3*. Dle předpisů EHK musí být blokování spuštěno při zpoždění vozidla 0,4 g nebo při vytažení pásu se zrychlením 0,6 g [6].



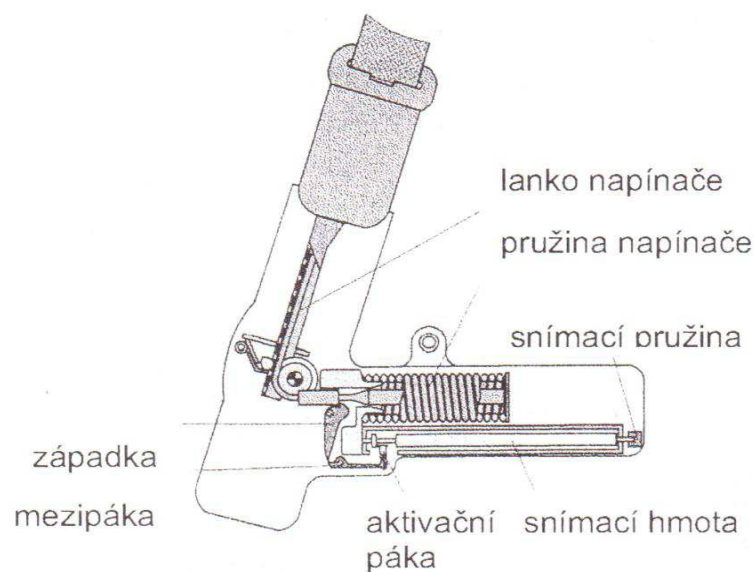
**obrázek 3 - Kombinované blokování bezpečnostního pásu (převzato z [4])**

Při vyšších rychlostech (nárazová rychlost nad 40 km/h) má samonavíjecí cívka s blokováním jen omezené ochranné účinky. Je to dáno volností bezpečnostního pásu, jeho roztažností a zpožděného účinku samonavíjecího zařízení. Pro eliminaci těchto negativních dějů při nárazu je třeba ve velmi krátké době po nárazu pásy navinout a předeprnout. Dopředný posuv cestujících v sedačce musí být co nejmenší a k tomu je třeba aktivovat napínače pásů krátce po nárazu. Maximální dopředný posuv v sedačce se udává cca 10 mm a doba mechanického napnutí 5 až

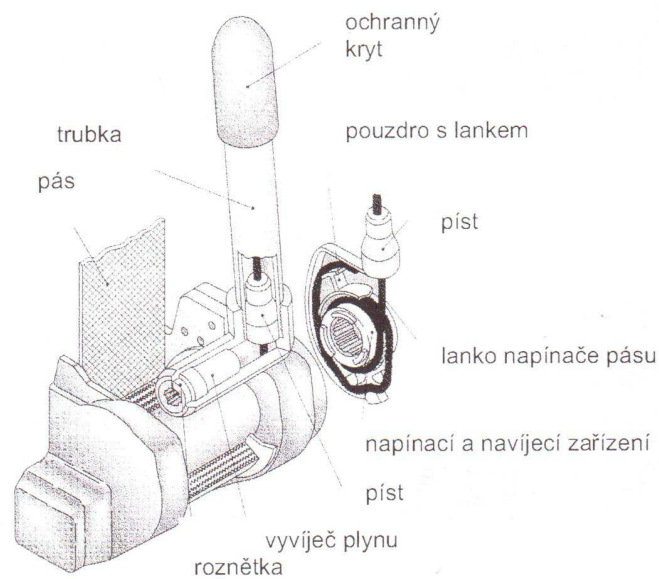
12 ms [6]. Napínače mohou být buď v provedení napínání bezpečnostního pásu nebo v provedení napínání zámku bezpečnostního pásu. Druhý způsob má výhodu v tom, že je předepínána jak hrudní tak i břišní část pásu a snižuje se nebezpečí podklouznutí pod bezpečnostním pásem.

K napnutí bezpečnostního pásu nebo zámku bezpečnostního pásu se používají dva druhy napínacího zařízení:

- Mechanické - využívá se stlačené vinuté pružiny, která je schopná přes bovden posunout zámek bezpečnostního pásu o desítky milimetrů (*obr. 4*)
- Pyrotechnické – místo stlačené pružiny je použita pyrotechnická nálož. Při nárazu se elektricky odpálí a vyvinutý tlak plynu působí na píst, který pomocí lanka působí na zámek bezpečnostního pásu nebo na navíjecí cívku bezpečnostního pásu (*obr. 5*)

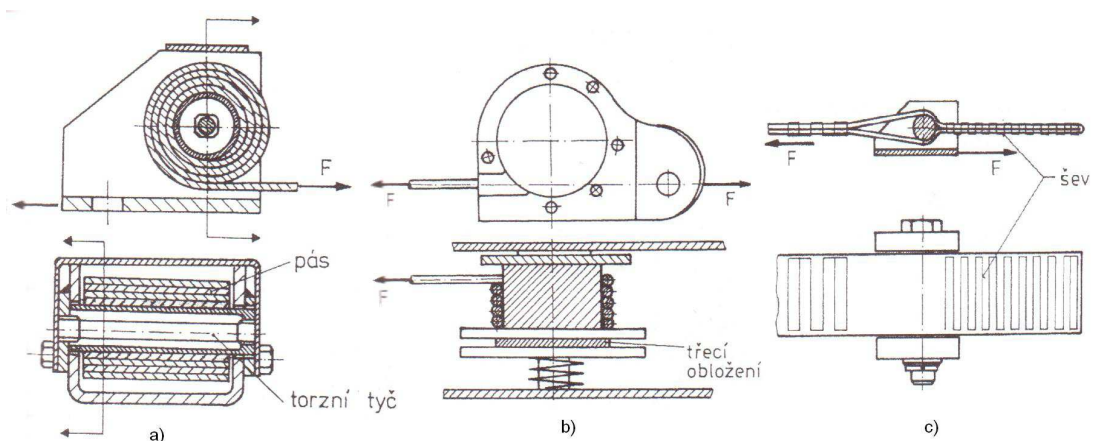


obrázek 4 - Mechanický napínač bezpečnostního pásu (převzato z [4])



obrázek 5 - Pyrotechnický napínač bezpečnostního pásu (převzato z [4])

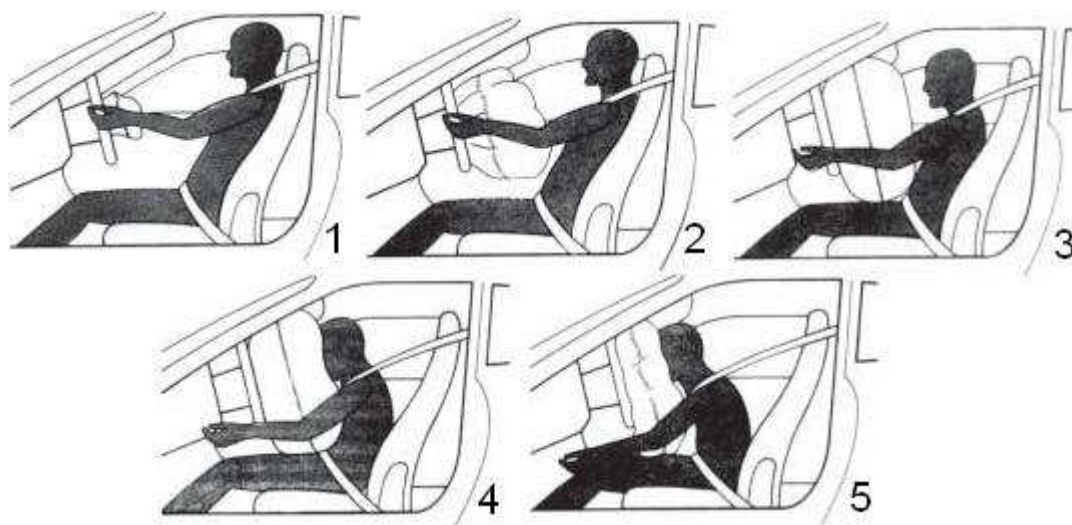
Předepnutí pásu je důležité, ale z hlediska biomechaniky poranění je nezbytně nutné hledět i na sílu působící v bezpečnostním pásu. Ta nesmí překročit určité předepsané hodnoty, a proto se používají omezovače síly v zádržném systému. Omezit sílu je možné plastickou deformací (výměnná torzní tyčka), suchým třením (třecí obložení) nebo destrukcí pásu (trhací šev v pásu). Všechny tři způsoby jsou uvedené na obr. 6.



obrázek 6 - Omezovače síly v pásu (upraveno z [4]): a - s torzní tyčkou; b - s využitím tření; c - destrukcí pásu.

#### 2.4.2. Bezpečnostní vaky - airbagy

Bezpečnostní vaky byly vyvinuty jako ochrana proti přímému nárazu hlavy a hrudníku na volant a přístrojovou desku. Aby byl plně využit bezpečnostní přínos airbagů, je zapotřebí jejich sladění s funkcí bezpečnostních pásů (časový průběh aktivace airbagu je uveden na *obr. 7*). Funkci obou zádržných systémů řídí společná elektronická řídicí jednotka, která je umístěna v karosérii. Airbag se stává bez použití bezpečnostního pásu nebezpečnou zbraní. Tělo nepřipoutaného řidiče letí volně přímo do vystřelovaného airbagu, což může zapříčinit smrtelná zranění. Díky rozdílným předpisům v Evropě (je povinnost používat bezpečnostní pás) a v Americe, je nastavení evropských airbagů jiné. Při nižších rychlostech se aktivují pouze bezpečnostní pásy, airbagy se spouští až při nárazech ve vyšších rychlostech. V dnešní době jsou čelní airbagy řidiče a spolujezdce už téměř ve všech nových automobilech v základní výbavě, v automobilech vyšších tříd je instalováno hned několik airbagů (boční, hlavové vpředu i vzadu a na obou stranách).

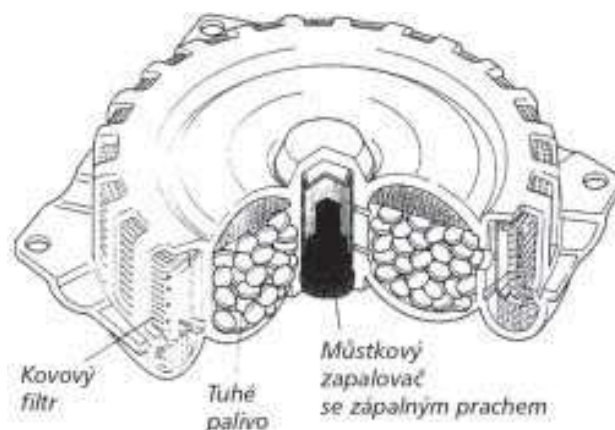


obrázek 7 - Časový průběh aktivace airbagu (upraveno z [8])

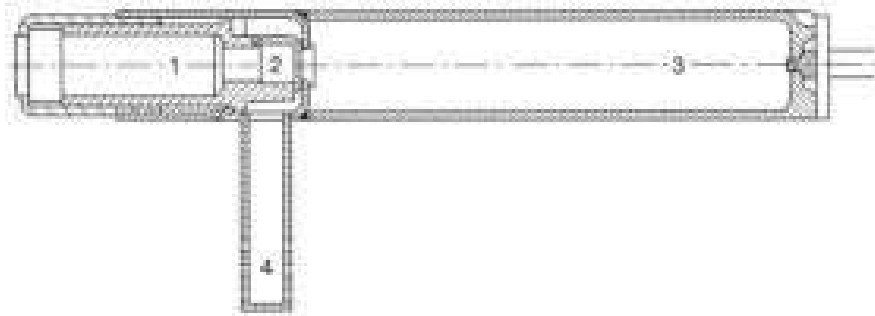
Hlavními konstrukční částí čelních airbagů (ostatní typy mají velmi podobné části) jsou samotný nafukovací vzduchový vak, vyvíječ plynu se zapalovací jednotkou, řídicí jednotka a snímače zrychlení. **Vzduchové vaky** se vyrábí hlavně z polyamidových materiálů tak, aby byly pevné lehké a nenáročné na úložný prostor ve složeném stavu. Čelní vaky jsou opatřeny po stranách výtokovými otvory a

porézní tkaninou, které slouží odpouštění vzduchu po nafouknutí, aby se člověk po zaboření do vaku neudusil a snížila se kritická plošná zatížení na hrudník a hlavu. Čelní vak spolujezdce má větší objem než vak u řidiče z důvodů delší dráhy těla k palubní desce.

K nafukování vaků slouží **vyvíječe plynu**. Uvnitř tělesa vyvíječe jsou uloženy nádoba s tabletami látky vyvíjecí plyn, roznětka a filtr. Jako náplň se používá výbušná sloučenina sodíku a dusíku, která po zažehnutí vyvíjí neškodný dusík. Prudkým zažehnutím sloučeniny se vyvine velké množství plynu, který naplní vak velmi krátké době (airbag řidiče se naplní přibližně za 30 ms [8]). Nevýhodou je, že samotná látka je zdraví škodlivá, což přináší i rizika při ekologickém zpracování vraků vozidel. Další nevýhodou je vysoká teplota vyvíječe po aktivaci a tím i vysoká teplota vyvíjeného plynu. Proto se vyvíjejí nové vhodnější sloučeniny a rozdílné koncepce vyvíječů. Odlišnou koncepcí mají systémy využívající stlačený plyn (zásobník stlačeného plynu naplněn asi na 20 MPa), u kterých se nevyskytují potíže s používáním nebezpečných chemikálií. Vyvíjený plyn je studený a není proto nutná jeho filtrace. Příklady vyvíječů plynu jsou na *obr. 8* a *obr. 9*.

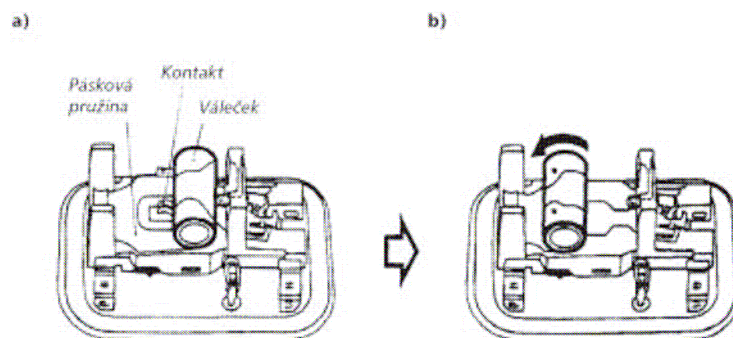


obrázek 8 - Průřez hrncovým koaxiálním vyvíječem plynu (převzato z [8]).

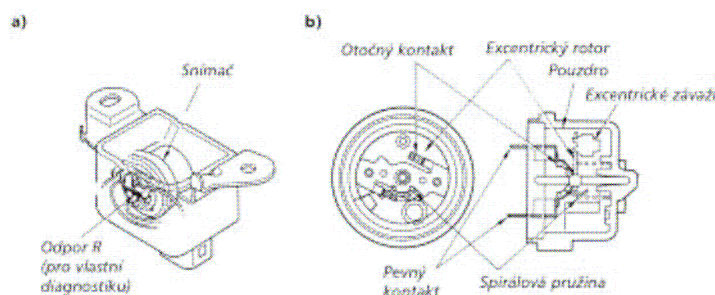


obrázek 9 - Studený vyvíječ plynu s otvíracím mechanismem (převzato z [8]): 1 – zapalovací jednotka; 2 – otvírací mechanismus; 3 – zásobník stlačeného plynu s náplní (tlak asi 20 MPa); 4 – vypouštěcí otvor.

**Snímače zrychlení** pro detekci nárazu se umísťují buď přímo do řídicí jednotky zádržných systémů nebo na definovaná místa pravé a levé části karosérie. Používají se dva typy snímačů zrychlení. Prvním z nich je snímač s pohyblivým válečkem, který se proti předepjaté páskové pružině pohybuje přes kontakt (*obr. 10*). Druhým typem je snímač s excentrickým rotorem. Rotor s excentrickým závažím se otáčí proti spirálové pružině, čímž dojde ke spojení otočných a pevných kontaktů (*obr. 11*). Snímače měří zpomalení při nárazu a předávají informace řídicí jednotce, která vyhodnocuje, zda dojde k aktivaci airbagů nebo ne. Průběhy zrychlení ovlivněné výbavou nebo konstrukcí karosérie jsou pro každé vozidlo jiné a proto se spouštěcí parametry nastavují pro různá vozidla jinak.



obrázek 10 - Čelní snímač s válečkem (převzato z [8]).



obrázek 11 - Čelní snímač s excentrickým rotorem (převzato z [8]).

V případě neobsazení místa spolujezdce je spuštění airbagu zcela zbytečné. Proto je u některých vozidel vyšších kategorií instalován speciální systém detekce přítomnosti spolujezdce. Systém obsahuje snímací rohož, která má přibližně 100 snímačů tlaku a je vestavěna do sedadla spolujezdce, a jednoduchou vyhodnocovací elektroniku. Pokud systém indikuje hmotnost pod 12 kg, vyše vyhodnocovací elektronika do řídicí jednotky signál, že sedadlo spolujezdce není obsazeno. V tomto případě se aktivuje pouze airbag řidiče. Obsazení sedadla se neustále sleduje a v případě závady se tato indikuje kontrolkou a sedadlo spolujezdce se z důvodu bezpečnosti považuje za obsazené.

### 2.4.3. Opěrky hlavy

Opěrka hlavy je velmi důležitým prvkem pasivní bezpečnosti, i když byla dlouhou dobu naší legislativou opomíjena. K uzákonění používání opěrek hlavy došlo u nás v až ke konci osmdesátých let, kdy se začínaly používat i na zadních sedadlech.

Hlavní funkcí opěrky hlavy je snižování rizika poranění krční páteře a míchy. Při zadním nárazu zabraňuje nadměrnému záklonu hlavy a při předním nárazu zabraňuje zpětnému překmitnutí hlavy při zpětném pohybu těla do sedačky. Dochází k velkým přetížením a krční svaly nejsou schopny zadržet těžkou hlavu v bezpečné poloze a může dojít až k fatálním následkům (zlomení vazů).

Pro správnou funkci je důležité přesné seřízení opěrky. Styčný bod hlavy s opěrkou by měl být v horní části hlavy. Toto nastavení vychází z testů a praktických zkušeností, kdy při čelním nárazu dochází k prodloužení bezpečnostních pásů a pohybu karosérie a připoutaný pasažér se vrací do sedadla po vyšší trajektorii, než se

pohyboval vpřed. Při jízdě by neměla opěrka překážet a mezi hlavou a opěrkou by měla být jen minimální vzdálenost.



obrázek 12 - Aktivní opěrka hlavy. Převzato z [19]

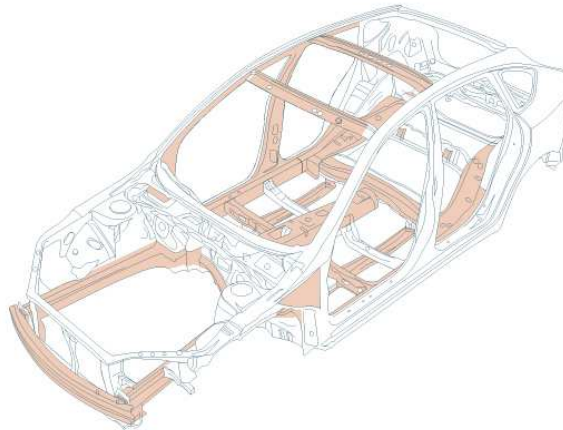
Vylepšením klasické opěrky je tzv. aktivní hlavová opěrka (*obr. 12*). Jedná se o mechanický systém uložený v opěradle sedadla a reagující na tlak těla pasažéra do opěradla, který je vyvolán zadním nárazem. Opěrka je pákovým mechanismem spojena s opěradlem a při nárazu zezadu ji mechanismus posouvá směrem dopředu a vzhůru. Tím se udržuje minimální vzdálenost hlavy od opěrky a snižuje se tím výrazně poranění krční páteře.

## 2.5. Deformační vlastnosti karosérie automobilu

Karosérie je důležitým článkem v ochraně cestujících při nehodách. Při konstrukčních návrzích karosérií se zohledňují vzájemná působení navrhovaného vozidla vzhledem k chodcům, cyklistům a vzhledem k ostatním vozidlům. Z hlediska pasivní bezpečnosti musí karosérie splňovat dvě důležitá kritéria. Prvním z nich je, že karosérie musí být při nárazu s ohledem na druh namáhání schopna absorbovat dostatečné množství energie tak, aby nedošlo k překročení biomechanických limitů poranění posádky (zpoždění posádky nesmí překročit limitní hodnoty zpoždění). Druhým kritériem je, aby deformování karosérie bylo takové, aby nebyl narušen vnitřní prostor pro posádku. Vnitřní prostor musí být tuhý s pevně ukotvenými

zádržnými systémy, nesmí docházet k vniku velkých částí do prostoru pro posádku a musí být zachován dostatečně velký prostor pro přežití posádky.

K pohlcování kinetické energie, která je závislá na intenzitě a rychlosti srážky, a k její následné přeměně slouží především přední a zadní části vozidel. Z hlediska bočního nárazu je možné pohlcovat jen malá množství energie, protože deformační dráhy jsou velmi malé. Vhodných deformačních charakteristik přídě vozidla lze dosáhnout deformovatelnými díly, které se při nárazu lámou a bortí a pohlcují tím energii nárazu. Typickým uspořádáním přídě jsou dva podélné nosníky spojené příčnicí (obr. 13).

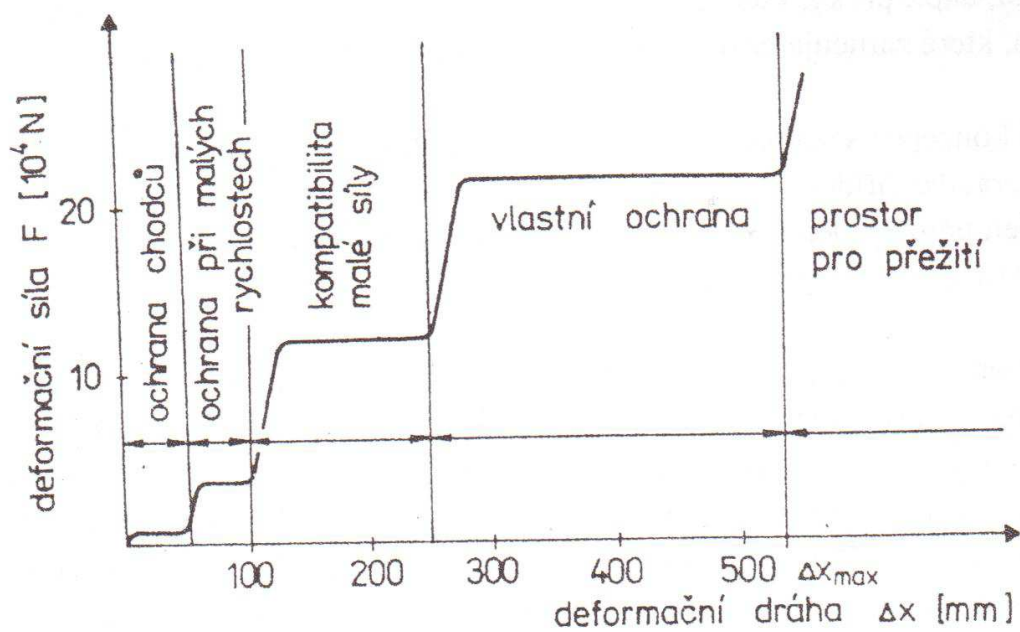


**obrázek 13 - Konstrukce karosérie vozu Subaru Impreza. Převzato z [18].**

Deformační charakteristika přídě vozidla (obr. 14) má mít vzhledem k ochraně cestujících stupňovitý progresivní průběh se čtyřmi stupni. Dle [4] se jedná o:

- ochranu při nízkých rychlostech (najetí na patník, parkovací manévr),
- kompatibilitu (ochrana spoluúčastníka nehody),
- vlastní ochranu (dodržení biomechanických kritérií ochrany cestujících – přípustná zpoždění),
- prostor pro přežití.

Tato charakteristika se ještě doplňuje kvůli ochraně chodců o pátý stupeň („měkký stupeň“ pro malé deformační síly a malé deformační dráhy).



obrázek 14 - Ideální progresivní stupňovitá charakteristika příďe (převzato z [4]).

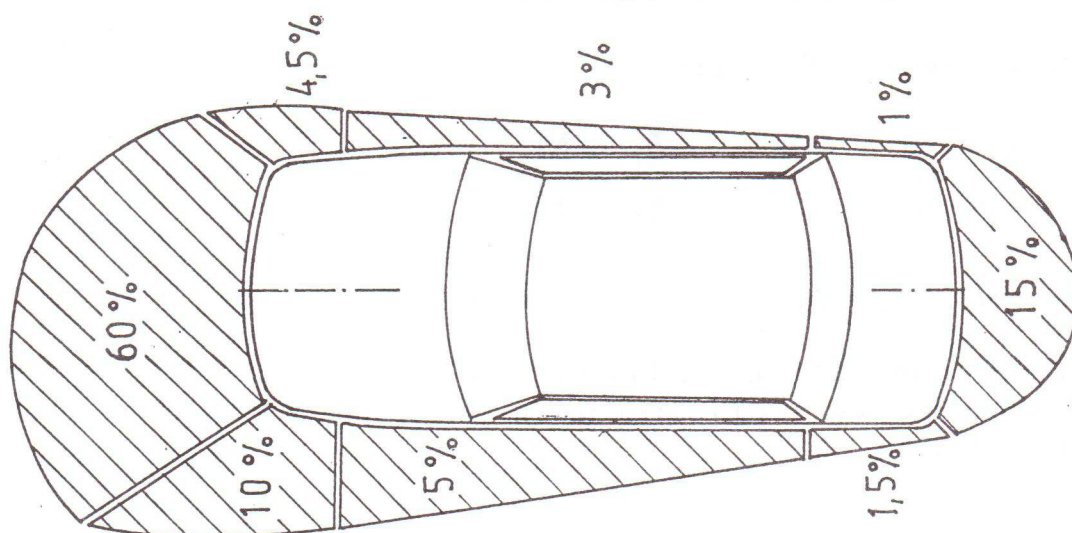
### 3. Stanovení cílů práce

- Popis oblastí pasivní bezpečnosti na vozidle
- Ideový návrh řešení koncepce se zaměřením na vytipované oblasti
- Zpracování teoreticky možných modelů nekonvečních prvků pasivní bezpečnosti s využitím reálných v praxi používaných, případně vyvíjených prvků
- Návrh možného uspořádání na vozidle
- Technicko ekonomické zvážení možností reálného využití

## 4. Ideový návrh reálně využitelných nekonvenčních prvků pasivní bezpečnosti

### 4.1. Rozdělení četnosti nárazů

Důležité pro zlepšování pasivní bezpečnosti je provádění vyhodnocování dopravních nehod. Z prováděných statistických výsledků se sestavuje rozdělení četností nárazů. Jedno takové rozdělení je uvedeno v [1] (*obr. 15*) a z něj vyplývá, že nejčastějším druhem nárazu je čelní střet ať už s jiným vozidlem nebo s bariérou. Druhým významným typem nárazu je zadní střet, u kterého ovšem nejsou způsobené škody tak vysoké, protože v drtivé většině případů dochází k nárazům při mnohem menších rychlostech, než je tomu u čelních střetů. Výskyt bočních nárazů sice není tak velký, ale zde je nebezpečí v tom, že dochází k velkým škodám i při relativně malých rychlostech. Na obrázku není naznačeno možné převrácení, které má procento výskytu velmi podobné procentu výskytu bočních nárazů. Stejně jako u bočních nárazů dochází k velkým škodám, ale nebezpečí pro posádku (pokud nedojde při převrácení k dalším nárazům) je relativně malé.



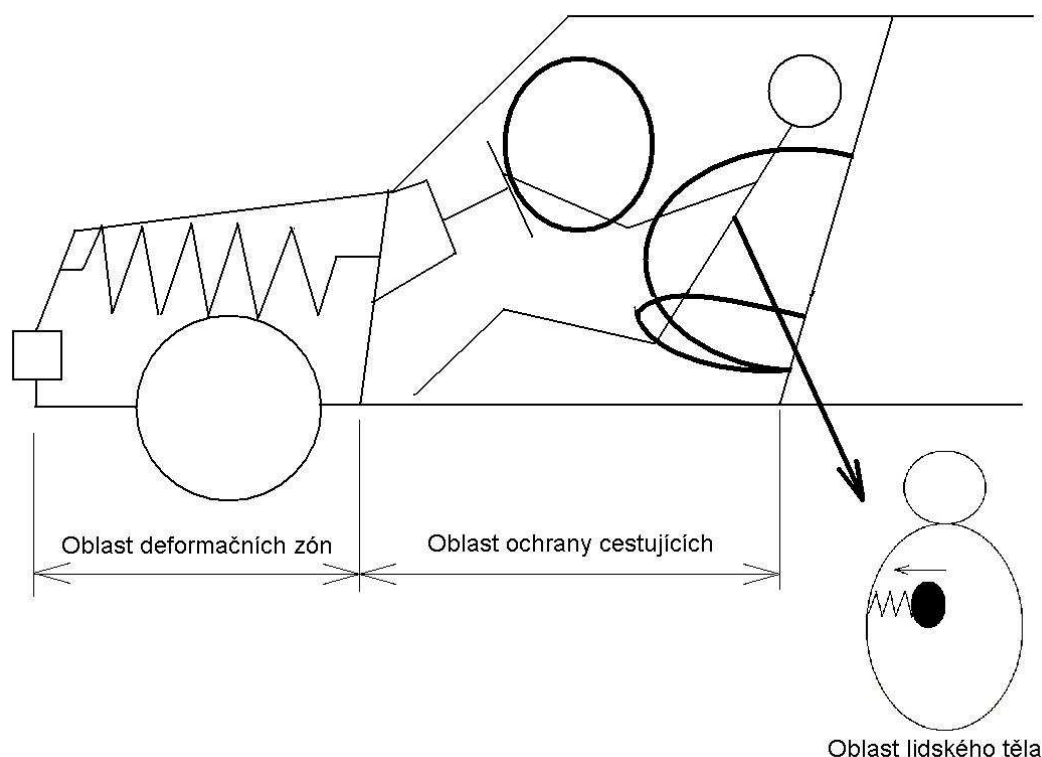
obrázek 15 - Rozdělení četnosti nárazů vozidla. Převzato z [1].

Z výše popsaného vyplývá, že velmi velká část nárazů jsou čelní nárazy. Proto se budu v další části práce zabývat návrhem možných prvků pasivní bezpečnosti využitelných při čelních nárazech.

#### 4.2. Základní idea zlepšení pasivní bezpečnosti

Z analýzy současného stavu vyplývá, že celý problém pasivní bezpečnosti je možné teoreticky rozdělit do tří základních oblastí. Jsou to hlavně (viz také *obr. 16*):

- oblast deformačních zón – v nichž se pohlcuje část energie vzniklé při nárazech tím, že se v těchto místech karosérie deformuje,
- oblast ochrany cestujících – zde se jedná hlavně o správnou funkci zádržných systémů a zajištění minimálního prostoru pro přežití,
- oblast samotného lidského těla – působení přetížení při nárazu na vnitřní orgány a s tím spojené biomechanické limity.



obrázek 16 - Ideové rozčlenění pasivní bezpečnosti

Pokud se podíváme podrobněji na všechny tři oblasti, zjistíme, že v některých již nejsme schopni přispívat k ještě lepší pasivní bezpečnosti. Nejvíce je to vidět v oblasti lidského těla, které má své biomechanické limity jasně dané. Například při pohybu vnitřních orgánů v hrudním koši nesmí zpoždění vyvolané nárazem překročit maximální dovolené zpoždění dané biomechanickými limity. Jen těžko si lze představit, že bychom měli ve stěně svého hrudního koše zabudované miniaturní airbagy, které by zabraňovaly přímému nárazu orgánů na stěnu. Z to jasně vyplývá, že v této oblasti není reálná šance něco vylepšit.

Z pohledu ochrany cestujících v prostoru kabiny také nejsou velké možnosti ke zlepšování. Airbagy i bezpečnostní pásy mají své fyzikální podstaty jasně dané a těžko se bude v budoucnu hledat nějaké výrazně inovativní řešení. Je možné, že dojde k nějakým vylepšením, ale to budou jen drobná zlepšení jejich funkce.

Zbývá tedy už jen oblast deformačních zón, kde dle mého názoru je v současné době největší šance k vylepšování. Při nárazu se kinetická energie vozidla mění na jiné druhy energie. Snahou je, aby byla ideálně všechna kinetická energie pohlcena nebo přeměněna tak, aby její působení na posádku bylo minimální. V současné době dochází k pohlcování (maření) energie hlavně při řízených deformacích přídě vozidla, pomocí různých výztuh karosérie. V další části práce se zaměřím právě na tuto oblast a na návrh možných nekonvenčních prvků pasivní bezpečnosti, které budou složeny z již existujících, reálně využitelných dílů.

## **5. Modelové ztvárnění nekonvenčních prvků pasivní bezpečnosti**

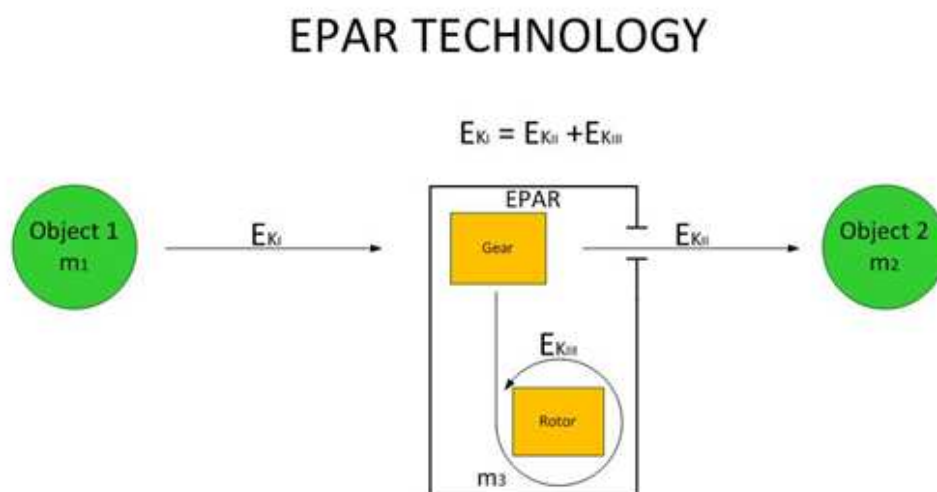
Snaha o zlepšení situace při čelním nárazu pomocí nekonvenčních řešení prvků bude řešena ve těchto směrech:

- převést kinetickou energii nárazu na jiný druh energie, než je deformační energie karosérie,
- prodloužit délku deformační zóny tak, aby se zmařilo více kinetické energie,
- cestující v prostoru pro přežití uvést do protipohybu (zmenšení zatížení)

posádky při zpoždění).

## 5.1. Absorbující nárazník

Tento model bude představovat variantu s přeměnou kinetické energie. Jeho základní myšlenkou je, že přímočarý pohyb při nárazu je převeden na rotační pohyb akumulátoru energie. Řešení projektu EPAR [10] (obr. 17) je naakumulování části kinetické energie a její následné zmaření. Čelní náraz je ve skutečnosti velmi rychlý děj, což znamená, že kinetická energie se akumuluje v krátkém časovém intervalu. Díky systému s rotačním akumulátorem dochází ke zmaření části energie v libovolném čase, tzn. že se zde kinetická energie rozptyluje pomalu. Tím, že se část energie rozptýlí v akumulátoru, nepůsobí už dále na ostatní objekty tak velké zpoždění vyvolané nárazem.

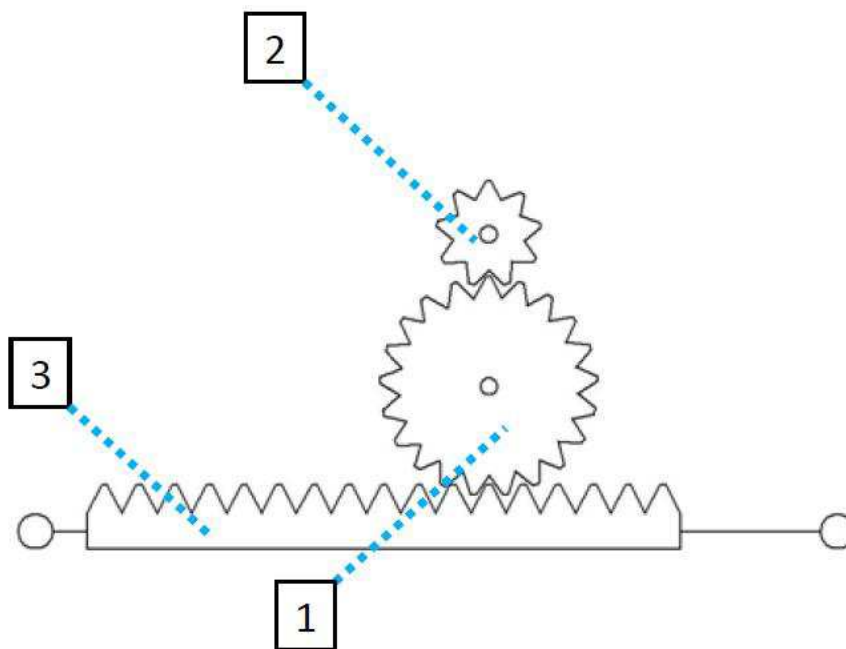


- |                              |   |
|------------------------------|---|
| 1) performance of the method | : up to 90%                             |
| 2) ranges of application     | : from tens to hundreds of km/h         |
| 3) system control            | : the device adjusts parameters unaided |
| 4) compatibility             | : full compatibility                    |
| 5) structure of the systems  | : simple and reliable mechanisms        |
| 6) costs of production       | : comparable to standard systems        |

obrázek 17 - Schéma technologie projektu EPAR. Převzato z [10]

1) účinnost technologie – až 90%; 2) rozsah použití – od desítek až po stovky km/h; 3) řízení – zařízení je samo reguluje parametry; 4) kompatibilita – plná; 5) struktura systému – jednoduchý a spolehlivý mechanismus; 6) náklady na výrobu – srovnatelné se standardními systémy

Technicky je tento systém řešen dle *obr. 18*. Přímočarý pohyb narážející hmoty je převeden na rotační pohyb akumulátoru pomocí ozubeného hřebene 3, který roztáčí převodové ozubené kolo 1. Toto ozubené kolo tvoří převod s ozubeným kolem 2 pohánějícím akumulátor energie (setrvačnick), který se díky tomuto převodu roztočí a pohlcuje se v něm kinetická energie vzniklá přímočarým pohybem hřebene.



obrázek 18 - Mechanické schéma absorberu kinetické energie. Převzato z [12]

Matematicky a fyzikálně lze tento mechanismus popsat následujícím způsobem. Hmoty 1 (v tomto případě vozidlo) má při určité rychlosti  $v$  [km/h] kinetickou energii  $E_{k1}$  [J] danou vztahem

$$E_{k1} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2, \quad (5.1)$$

kde  $m$  [kg] je hmotnost vozidla.

Setrvačnick při svém roztočení získá kinetickou energii  $E_{k2}$  [J] danou vztahem

$$E_{k2} = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2, \quad (5.2)$$

kde  $I$  [kg.m<sup>2</sup>] je moment setrvačnosti tělesa setrvačnicku a  $\omega$  [s<sup>-1</sup>] je úhlová rychlost setrvačnicku.

V reálu ovšem nikdy nenastane situace, že by se veškerá kinetická energie  $E_{k1}$  přeměnila na kinetickou energii  $E_{k2}$ . Vždycky dojde i k mechanické deformaci, tudíž energetická rovnice bude sestavena dle [12] následujícím způsobem

$$E_{k1} = E_{k2} + W, \quad (5.3)$$

kde  $W$  [J] je práce deformačních sil a vyjádří se

$$W = F \cdot s, \quad (5.4)$$

kde  $F$  [N] je deformační síla, působící na prvky karosérie a  $s$  [m] je deformační dráha.

V [10] je uvedeno, že tento systém je schopný pohltit 50 – 90% původní kinetické energie  $E_{k1}$ . Stupeň absorpce kinetické energie je dán různými faktory, jako jsou například zvolený převodový poměr soukolí, vnitřní tření v mechanismu a setrvačnost nebo přesněji moment setrvačnosti jednotlivých částí mechanismu.

Bylo provedeno několik testů, při kterých mechanismus fungoval buď jako absorbující nárazník a nebo jako absorbující bariéra. Při zkouškách bariéry bylo použito reálné vozidlo, které bylo posláno proti bariéře rychlostí 50 km/h. Srovnání výsledků čelního nárazu se systémem EPAR a bez něj je názorně vidět na *obr. 19*. Při použití systému nejsou viditelné téměř žádné deformace předě vozidla, na rozdíl od testu provedeného proti pevné bariéře při rychlosti pouze 40 km/h. Mechanismus ve funkci absorbujícího nárazníku je zatím ve stádiu modelů vozíků.

With EPAR ON



*pictures from archives*

Effects of a crash at 50 km/h

Without EPAR



Effects of a crash at 40 km/h

obrázek 19 - Srovnání výsledků čelního nárazu s použitím systému EPAR (vlevo) a bez jeho použití (vpravo). Převzato z [11]

V automobilech se prozatím neuplatňuje (probíhá vývoj), z části je to zřejmě díky tomu, že obsahuje spoustu mechanických dílů, pro něž už nezbyvá v přední části vozu mnoho volného prostoru. Pravděpodobně zajímavěji by celá koncepce vypadala, kdyby se systém modifikoval s pomocí elektrických součástí, tak aby náročnost na zástavbový prostor byla menší.

Hlavním prvkem celého systému by byl lineární motor, který by nahrazoval funkci ozubeného hřebene. Jedná se o lineární motor, který firma Bose [16] využívá ve vývoji svých inteligentních tlumičů (*obr. 20*). Konstrukčně je motor řešen tak, že hlavní částí je magnetický válec, na nějž se osazuje cívka. Pokud se na cívku přivede elektrická energie, začne se magnetický válec pohybovat. Pomocí přesného elektronického řízení, dokáže tlumiče efektivně pohlcovat jakékoliv nerovnosti. V mém případě bude motor použit opačným způsobem, tzn. ve funkci generátoru elektrické energie. Pohybem válce uvnitř cívky se bude vytvářet elektrická energie, kterou bude možno dále využít.



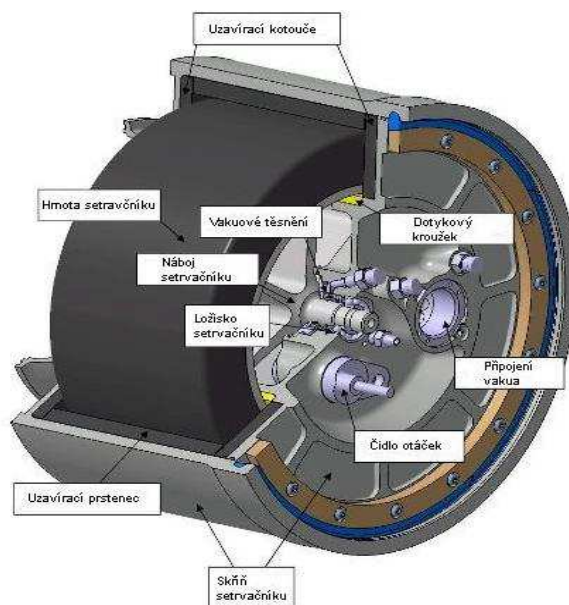
obrázek 20 - Lineární motor Bose. Převzato z [16]

Získaná elektrická energie by se dala využít následujícími způsoby.

#### 5.1.1. Varianta 1 – využití elektromechanické baterie

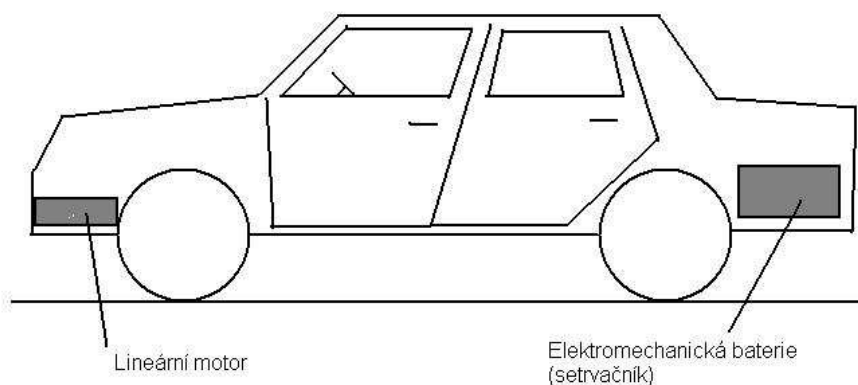
V první řadě je třeba objasnit, co se skrývá pod pojmem elektromechanická baterie. Dle [17] je to zařízení, které umožňuje přeměnit elektrickou energii na mechanickou a tuto energii po omezenou dobu akumulovat. Uloženou mechanickou energii lze následně zpět přeměnit na elektrickou a využít v jiných částech vozidla. Tato myšlenka je používána v současnosti ve vozech Formule 1 pod názvem KERS (Kinetic Energy Recovery System). Konstrukčně se jedná o elektricky poháněný setrvačnick, jehož konstrukce je patrná z *obr. 21*.

Setrvačnick je schopen pojmout energii (případně konat práci) o velikosti dle rovnice (5.2). Z rovnice je zřejmé, že velikost energie závisí na otáčkách, na hmotnosti setrvačnicku a na poloměru setrvačnicku. Z požadavku co nejmenších zástavbových rozměrů je cesta zvyšování hmotnosti a velikosti setrvačnicku nereálná. Jedinou cestou zvyšování kapacity je přes otáčky. Dle [17] by setrvačnick pro osobní automobil mohl mít hmotnost cca 20 kg, poloměr 150 mm a otáčky  $60.000 \text{ min}^{-1}$ .



obrázek 21 - Průřez elektromechanickou baterií (setrvačníkem). Upraveno z [17].

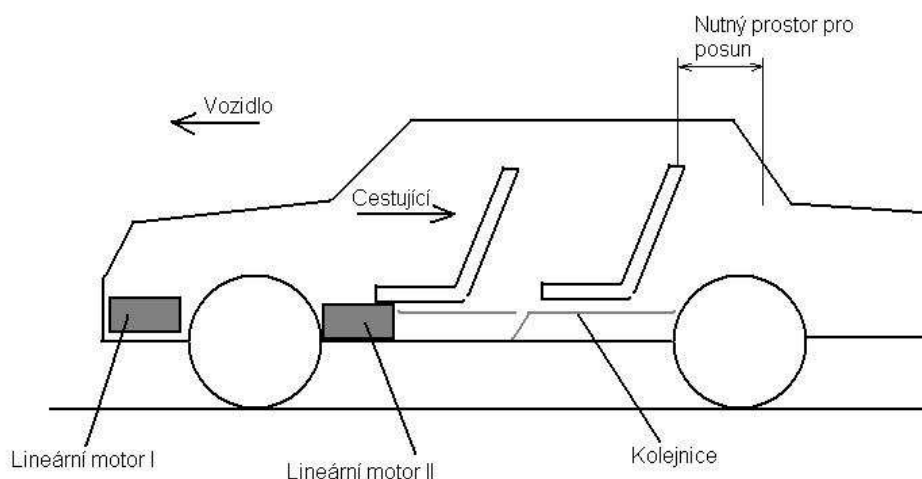
Schéma koncepce absorbujícího nárazníku ve spolupráci s elektromechanickou baterií je na obr. 22. Jedná se v podstatě o náhradu mechanického systému EPAR. Lineární motor je uložen v přední části vozu, magnetický válec je vysunut. Elektromechanická baterie může být uložena v podstatě kdekoli, ale jelikož v přední části je vlivem přítomnosti spalovacího motoru minimum místa, jeví se jako vhodné umístění v zadní části vozidla v zavazadlovém prostoru. Při nárazu dojde k deformaci přídě a zasunutí magnetického válce dovnitř cívky, čímž se vytvoří elektrická energie nutná pro pohon setrvačníku. V něm se následně energie naakumuluje.



obrázek 22 - Konceptní schéma varianty s elektromechanickou baterií

### 5.1.2. Varianta 2 – využití dvou lineárních motorů k prodloužení deformační zóny

Koncepční schéma této varianty je na *obr. 23*. První lineární motor má stejnou funkci jako v předešlém případě, vytváří elektrickou energii. K němu je připojen druhý lineární motor, který má v tomto případě funkci motoru. Pomocí přijaté energie z prvního motoru je schopen pohybovat s cestujícími. Při přesně řízeném pohybu cestujících proti pohybu vozidla by docházelo k nárůstu délky deformační zóny, zmařilo by se více energie a tím by došlo k poklesu zatížení působícího na cestující. Možným konstrukčním řešením této varianty by mohly být posuvné sedačky. Byly by opatřeny kolejničkami, umožňující jejich pohyb. Druhým, ale technicky velmi složitým řešením, by mohlo být ovládání pohybu celého vnitřního prostoru pro cestující.



obrázek 23 - Koncepční schéma varianty s dvěma lineárními motory

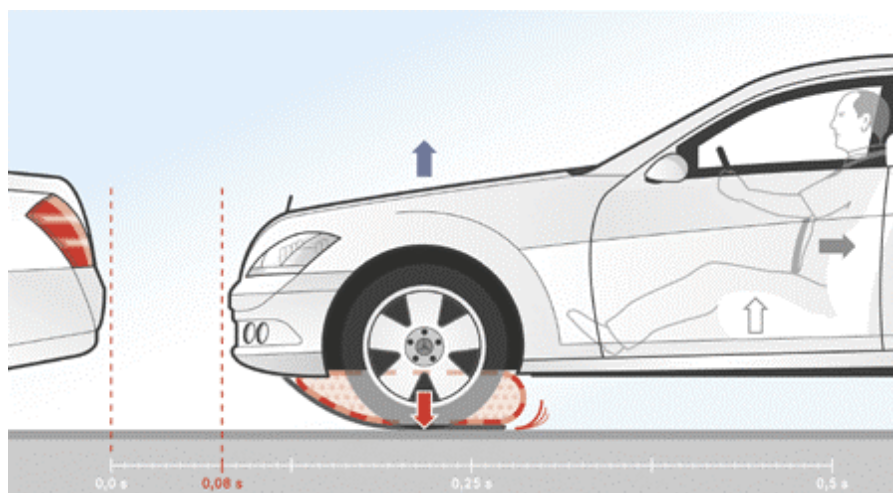
## 5.2. Přídavné speciální airbagy

Dalšími prvky, které mohou zlepšit pasivní bezpečnost, jsou airbagy, ovšem ne airbagy používané v interiéru, ale airbagy používané vně vozidla. V současnosti dochází k jejich stále většímu rozvoji a mnohé automobilky vynakládají velké úsilí při jejich vývoji.

Jedním takovým případem může být podlahový airbag pod karosérií, který vyvinula firma Mercedes (*obr. 24*). Airbag je uložen v přední části karosérie pod

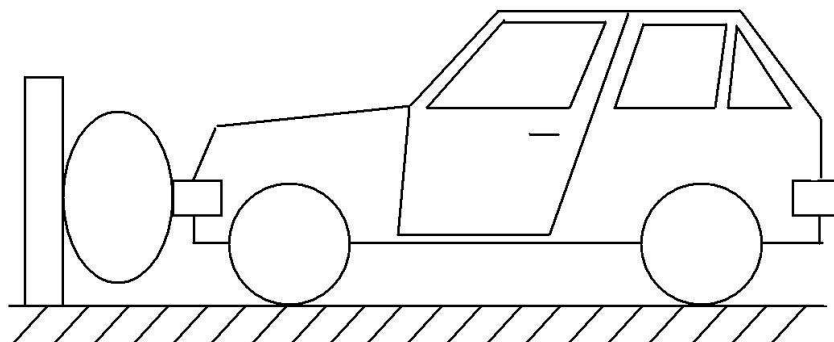
přední nápravou automobilu. Aktivuje se ve chvílích, kdy už nelze zabránit střetu s překážkou, což je signalizováno řídicí jednotce pomocí senzorů v přídi automobilu. Dle vývojových pracovníků Mercedesu [9] má samotný airbag hned několik pozitivních funkcí. Jsou to hlavně:

- Zvýšení tření – rozprostřením vaku pod vozidlem se zvýší tření mezi ním a vozovkou a vozidlo je tak schopno vykonat větší brzdny účinek. To má za následek snížení nárazové rychlosti a tím zmírnění následků nehody.
- Nadzvednutí automobilu – má vliv na posádku vozidla. Když dojde k nadzvednutí, tak jsou cestující pevněji usazeni do sedadel (trup tlačěn do opěradla a stehna přitlačována k sedáku) a jsou lépe připraveni na náraz. Tímto účinkem klesá riziko vážných poranění.



obrázek 24 - Airbag pod vozidlem. Převezato z [9]

Druhým typem přídavného airbagu by mohl být čelní airbag umístěný v přídi vozidla (*obr. 25*). Aktivován by byl na podobném principu jako podlahový airbag, tzn. že čidla v přídi by v nevyhnutelné situaci (například pro určitou rychlost jízdy by byla stanovena minimální vzdálenost od překážky – pokud by vzdálenost byla pod touto hranicí, došlo by k aktivaci) dala signál řídicí jednotce a ta by dala pokyn k vystřelení airbagu. Jednotka by měla také vyhodnocovat velikost překážky před sebou, protože při srážce s chodcem by aktivace tohoto airbagu byla nežádoucí. V dalším ale budu uvažovat náraz na velkou hmotnou překážku (jiné vozidlo nebo pevná bariéra).

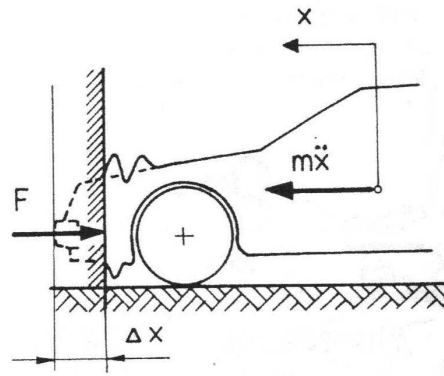


**obrázek 25 - Schematický obrázek automobilu s předním airbagem.**

Po nafouknutí airbagu by došlo k prodloužení deformační zóny a tím k větší šanci pohltit co nejvíce energie. Vak by měl být v ideálním případě v okamžiku nárazu plně nafouknut tak, aby v následné fázi nehody došlo k jeho postupnému vyprazdňování. Po úplném vyfouknutí vaku by došlo ke klasické deformaci přední části karosérie, ovšem už s menší energií. Pro správnou funkci je nutné stanovit parametry, při kterých se má airbag spouštět (rychlost vozidla a vzdálenost od překážky), a pak také definovat způsob řízeného vyprazdňování vaku (určení velikosti výfukových otvorů, jejich umístění). K určení těchto parametrů je nutné provést výpočty a reálné testy, což ovšem přesahuje rámec této práce.

### **5.3. Deformační charakteristiky přídě**

Matematicky lze náraz vozidla na pevnou překážku popsat jednoduchým dynamickým modelem (viz *obr. 26*). Předpokladem je plně plastický ráz, tzn. že koeficient restituce (poměr nárazové rychlosti k rychlosti odrazu na pevné bariéře) je roven nule. Ve skutečnosti ovšem dochází i k elastickým deformacím, dochází k zpětnému vypružení karosérie a koeficient restituce může dosahovat hodnoty okolo 0,1. Popíšme si situaci bez použití nekonvečních prvků.



obrázek 26 - Dynamický model nárazu vozidla na pevnou překážku. Převzato z [4].

Dle [1] a [4] lze pro danou situaci sestavit pomocí zákona zachování energie následující rovnici

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 = \int_0^{\Delta x_{\max}} F \cdot dx, \quad (5.5)$$

kde  $m$  [kg] je hmotnost vozidla,  $v_0$  [m/s] je nárazová rychlost,  $F$  [N] je okamžitá deformační síla a  $x$  [m] je velikost deformace vozidla.

Pro náraz na pevnou bariéru lze napsat pohybovou rovnici ve tvaru

$$m \cdot \ddot{x} + F = 0 \quad (5.6)$$

Na průběh nárazu vozidla bude mít vliv průběh deformační síly  $F$ . Dle [1] a [4] lze uvažovat tři možné závislosti.

- a) **Deformační síla je konstantní během celé deformace** –  $F = konst = m \cdot a_{\max}$

Z energetické rovnice vychází

$$F \cdot \Delta x_{\max} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 \Rightarrow \Delta x_{\max} = \frac{v_0^2}{2 \cdot a_{\max}} \quad (5.7)$$

- b) **Deformační síla úměrná deformaci** -  $F = c \cdot \Delta x$  a zároveň  $F_{\max} = m \cdot a_{\max}$

Energetická rovnice rovnováhy bude mít tvar

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 = \int_0^{\Delta x_{\max}} c \cdot \Delta x \cdot dx, \quad (5.8)$$

po integraci a úpravě  $\Delta x_{\max} = \frac{v_0^2}{a_{\max}}$

c) Deformační síla závislá na rychlosti deformace -  $F = k \cdot \Delta \dot{x}$

Pohybová rovnice má v tomto případě tvar ( $\Delta x = x$ )

$$m \cdot \ddot{x} + k \cdot \dot{x} = 0 \quad (5.9)$$

Řešení pro posuv nedeformované části vozidla vyjde ve tvaru

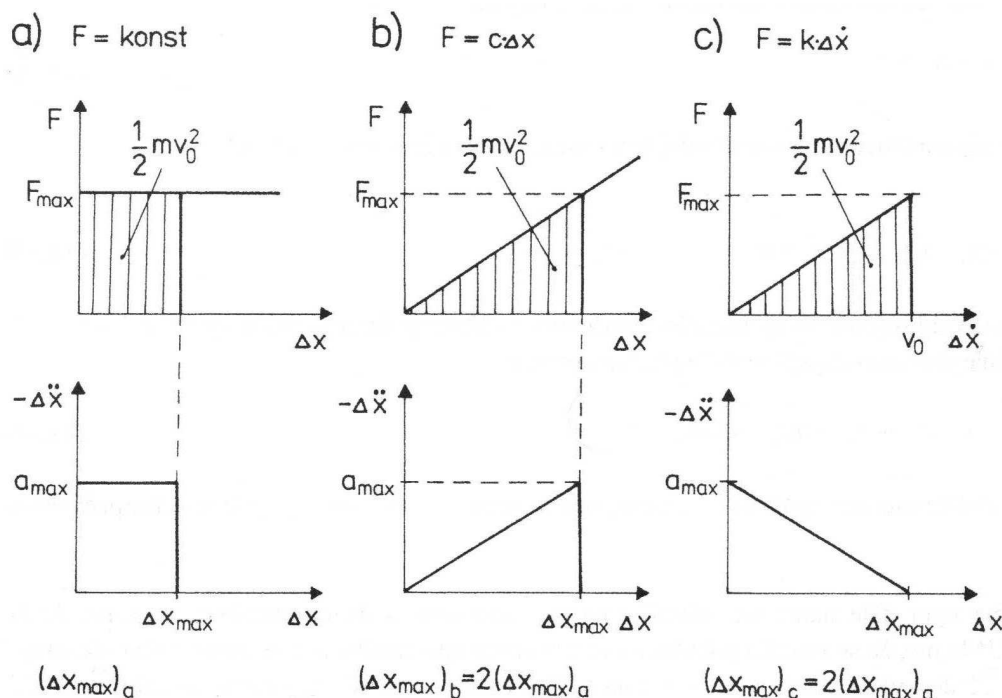
$$x = v_0 \cdot \frac{m}{k} \left( 1 - e^{-\frac{k}{m}t} \right), \text{ tedy } \dot{x} = v_0 \cdot e^{-\frac{k}{m}t}. \quad (5.10)$$

Maximum deformační rychlosti nastane v momentě nárazu ( $t = 0$ ), kdy  $\Delta \dot{x}_{\max} = v_0$ .

Aby byla splněna podmínka  $\ddot{x}_{\max} = a_{\max}$ , musí platit  $k = \frac{m \cdot a_{\max}}{v_0}$ , maximální

deformace (pro  $t \rightarrow \infty$ ) je potom  $\xi_{\max} = \frac{v_0^2}{a_{\max}}$ .

Na obr. 27 jsou průběhy deformačních sil a deformačních zrychlení v závislosti na deformaci.



obrázek 27 - Deformační síly a zpždění v závislosti na deformační charakteristice přídě. Převzato z [4]. a – deformační síla konstantní, b – deformační síla úměrná stlačení přídě, c – deformační síla úměrná rychlosti stlačování přídě

Z průběhů vyplývá, že při závislosti deformační síly na deformaci nebo rychlosti deformace vychází velikost deformační zóny dvojnásobná, než v případě konstantní deformační síly. Z hlediska průběhu maximálního zpoždění jsou nevýhodné varianty s konstantní deformační silou a se závislostí na rychlosti deformace (maximální zpoždění v okamžiku nárazu).

Při využití nekonvenčních prvků dojde ke změnám, které ovlivní velikost výsledného zpoždění. V případě absorbujícího nárazníku dojde k úpravě energetické rovnice (x.1) na tvar

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 + \int_0^{\Delta x_{\max}} F \cdot dx, \text{ kde} \quad (5.11)$$

$I$  [kg.m<sup>2</sup>] je moment setrvačnosti setrvačníku a  $\omega$  [s<sup>-1</sup>] je jeho úhlová rychlost.

Z rovnice vyplývá, že část celkové kinetické energie nárazu je naakumulována do setrvačníku a deformační zóna musí pohltit méně energie, což má za následek nižší zpoždění působící na cestující. V případě airbagů je výsledek v podstatě úplně stejný, opět dojde ke snížení zpoždění. U podlahového airbagu je to cestou snížení nárazové rychlosti  $v_0$  (vytvoří se méně kinetické energie), u předního airbagu je to prodloužením deformační zóny (větší dráha na pohlcení kinetické energie).

## **6. Technicko ekonomické zhodnocení navržených řešení a možností jejich praktické aplikace**

Celková koncepce osobního automobilu s nekonvenčními prvky pasivní bezpečnosti by se skládala z absorbujícího nárazníku a dvou typů přídatných airbagů. První by se spouštěl airbag pod vozidlem, který by snížil rychlost střetu třením o vozovku. Poté by se aktivoval přední airbag umístěný v nárazníku a svým nafouknutím by prodloužil deformační zónu automobilu. V konečné fázi, kdy už dojde ke střetu a deformacím přidě by se stlačil lineární motor, který by roztočil setrvačník elektromechanické baterie, a došlo by ke zmaření části kinetické energie při nárazu. Všechny prvky by měly snížit zatížení posádky automobilu a přispět tak k větší šanci zabránit vážným poraněním cestujících.

Pokud se nyní zaměříme na jednotlivé prvky použité v této koncepci, tak využití přídavných airbagů by mělo být reálně proveditelné. Obzvláště to platí o airbagu pod vozidlem, který je usilovně vyvíjen automobilkou Mercedes od roku 2009 [9] (vývoj experimentálního vozidla ESF – Experimental Safety Vehicle). Technologie airbagů je dobře zvládnutá už v interiéru vozidel, problémy mohou být ve správné volbě materiálu. Smýkání po vozovce nebo náraz na tvrdou členitou překážku (na rozdíl od opření lidského těla do vaku) už vyžaduje vysoce odolné materiály. Další důležitou věcí je nutnost osadit automobil senzory, které by detekovaly kritické situace. Zde by zřejmě bylo možné využít při vhodném naprogramování senzory využívané jako aktivní prvky bezpečnosti vozidel („Pre-crash“ systémy pro odvrácení střetu). Ke správné funkci airbagů je ovšem nutné určit přesný čas, kdy dojde k jejich nafouknutí, a následně optimalizovat řízené odpouštění vzduchu, aby systém fungoval podobně jako deformace pevných částí karosérie automobilu. To ovšem není možné bez dlouhodobého a finančně náročného testování. Pokud vezmeme v úvahu výzkum vhodných materiálů vaků, náročné testování, další elektronika navíc (řídící jednotka, senzory) vyjde nám, že cena těchto řešení nebude nízká. Proto si myslím, že pokud se v blízké budoucnosti dostanou tyto airbagy do sériově vyráběných vozidel, bude to ve vozidlech nejvyšších tříd s luxusní výbavou.

O něco složitější situace z hlediska reálného využití bude u absorbujícího nárazníku. U varianty 1 s použitím elektromechanické baterie se nejeví jako reálné instalovat tuto baterii do vozidel pouze se spalovacím motorem, kde by plnila funkci pouze samotného absorbéru kinetické energie. Byla by v podstatě využita pouze při havárii. Mnohem výhodnější je použití u vozidel s hybridním pohonem. Zde by baterie nebyla využita jen při nárazu, ale byla by využita i v normálním provozu. Dle [17] se při deceleraci rekuperuje energie a ukládá se do setrvačnicku uvnitř baterie. energii je následně možné ze setrvačnicku zpět získat a použít. Nelze předpokládat, že by se naakumulovalo tolik energie, aby to stačilo k pohonu automobilu na delší vzdálenosti. Z tohoto důvodu by měla baterie sloužit k vyrovnávání aktuální vysoké spotřeby energie, například při prudké akceleraci. Naopak při nízké spotřebě by se energie akumulovala do setrvačnicku.

Lineární motor firmy Bose je sice vyvíjen v aplikaci inteligentního tlumiče, ale jeho použití jako generátoru elektrické energie při čelním nárazu je možné. Důležitou podmínkou funkce je množství vytvořené energie v lineárním motoru, které je potřebné k roztočení setrvačnicku a naakumulování potřebné energie. Energie bude závislá na délce magnetického válce a na velikosti cívky. V krajním případě při nedostatečné produkci elektrické energie lze použít více lineárních motorů, což ovšem výrazně prodraží celou koncepci, protože samotný motor je velmi nákladná záležitost. Pro správnou funkci systému je také důležité postavení vozidel při střetu. Pokud se bude jednat o přímý čelní náraz, bude systém fungovat správně. Pokud ovšem dojde k šikmému čelnímu nárazu, logicky se účinnost systému sníží. Díky možnosti šikmého čelního nárazu nebo i případně přesazeného čelního nárazu je nutností použít buď dva lineární motory uložené symetricky podle podélné osy vozidla, nebo použít příčnou vzpěru s jedním lineárním motorem. U druhého řešení zřejmě nebude účinnost tak vysoká jako u prvního, ale nebude také tolik finančně náročná.

Jako méně příznivá z hlediska realizace se jeví varianta 2 s dvěma lineárními motory (při použití dvou motorů v přední části pak dokonce s celkovými třemi motory). K řešení uložení a velikosti motorů ještě přibývá konstrukční řešení pohybu sedaček a zajištění prostoru pro jejich pohyb. Potřebný prostor pro pohyb by se jen těžko hledal u vozidel typu sedan, jako vhodnější se jeví použití ve vozidlech typu kombi nebo MPV, kde by se dal využít únik do zavazadlového prostoru. Tato varianta je realizovatelná z konstrukčního hlediska, ale z ekonomického hlediska naráží na vysoké náklady konstrukčního řešení. Ještě nepříznivější je situace u varianty s posuvem celého vnitřního prostoru pro cestující. Ten by musel být řešen jako samostatná posuvná jednotka uvnitř karosérie vozidla.

## 7. Závěr

Pasivní bezpečnost vozidel je v dnešní době nezanedbatelná součást vývoje nových automobilů. Lidské zdraví je třeba co nejvíce chránit a výrobci automobilů proto investují nemalé částky do výzkumu a vývoje nových technologií v této oblasti. I tato práce je věnována novým směrům v této oblasti a poskytuje náhled na možná bezpečnostní řešení prvků pasivní bezpečnosti využitelných v budoucnosti.

Z hlediska technické realizace by měla být představená koncepce s absorberem kinetické energie a přídatnými vnějšími airbagy proveditelná. S ohledem na stále klesající zásoby ropy se přechází postupně na jiné koncepce pohonu motorových vozidel. Postupuje se cestou postupného přechodu použitím kombinace spalovacího motoru a elektromotoru (tzv. hybridní pohon) nebo cestou úplného nahrazení spalovacího motoru elektromotorem (tzv. elektromobily). A právě při použití v automobilech s hybridním pohonem se jeví jako užitečné použití absorbujícího nárazníku ve spolupráci s elektromechanickou baterií. Ta v tomto případě může plnit dvě funkce v podobě dočasné zásobárny energie (při deceleraci se v ní ukládá energie, kterou lze následně využít například při akceleraci) a v podobě akumulátoru kinetické energie nárazu.

Problém nastává při zvážení ekonomických hledisek této koncepce. Pomineme-li náklady na dlouhodobý vývoj a testování, je pro funkčnost systému zapotřebí instalovat nová, velmi nákladná zařízení (lineární motory, elektromechanická baterie, mechanismy airbagů, ovládací elektronika) a to má velmi vysoké nároky na celkovou cenu. Pokud by se tedy uvažovaná koncepce prosadila, byla by v blízké budoucnosti instalována pravděpodobně pouze do automobilů nejvyšších tříd.

Tato práce poskytuje pouze ideový návrh možné koncepce. Z teoretického hlediska se jeví jako realizovatelná, ale zapotřebí jsou samozřejmě i matematické výpočty, které jsou nutné k ověření funkce a stanovení rozměrů zařízení. Ty ovšem překračují rozsah této práce a mohou být námětem pro další zpracování.

## 8. Seznam použité literatury

- [1] KOVANDA, Jan. *Konstrukce automobilů: pasivní bezpečnost*. Dotisk 1. vyd. Praha: ČVUT, 1996. ISBN 80-010-1459-2.
- [2] ŠACHL, Jindřich. *Analýza nehod v silničním provozu: pasivní bezpečnost*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2010, 144 s. ISBN 978-80-01-04638-8.
- [3] MIČUNEK, T. Možnosti snížení dopravních nehod technickými opatřeními a opatřeními po nehodě. Doktorská disertační práce. ČVUT Praha, FD, 2010.
- [4] VLK, František. *Stavba motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2003, 499 s. ISBN 80-238-8757-2.
- [5] ČLUPEK, Jiří. *Silniční doprava*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství dopravy a turistiky, 1997, 48 s. Knižnice základních právních norem EU vztahujících se k dopravě. ISBN 80-85884-80-1.
- [6] VLK, František. *Elektronické systémy motorových vozidel. Díl 2*. 1. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc, nakladatelství a vydavatelství, 2002, 298 s. ISBN 80-238-7282-6.
- [7] VLK, František. *Automobilová elektronika: systémy řízení podvozku a komfortní systémy*. vyd. 1. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006, 308 s. ISBN 80-239-7062-3.
- [8] *AutoEXPERT: časopis profesionálů v autoopravárenství*. Praha: Autopress, s.r.o., 2004. ISSN 1211-2380.
- [9] The Mercedes-Benz ESF 2009 Experimental Safety Vehicle. *Www.emercedesbenz.com* [online]. 2009 [cit. 2012-05-03]. Dostupné z: <http://www.emercedesbenz.com/autos/mercedes-benz/concept-vehicles/the-mercedes-benz-esf-2009-experimental-safety-vehicle/>
- [10] Project EPAR - Kinetic energy absorption. Project EPAR [online]. 2011 [cit. 2012-05-03]. Dostupné z: <http://www.epar.pl/en/metoda-absorpcji-energi->

kinetycznej/

- [11] EPAR Presentation. In: *EPAR Project* [online]. 2011 [cit. 2012-05-03].  
Dostupné z: <http://www.epar.pl/wp-content/uploads/2011/08/ENGLISH-EPAR-presentation.pdf>
- [12] Technology Comparison. In: *EPAR Project* [online]. 2011 [cit. 2012-05-03].  
Dostupné z: [http://www.epar.pl/wp-content/uploads/2011/02/tabela\\_1\\_\\_uk%C5%82ad\\_EPAR.pdf](http://www.epar.pl/wp-content/uploads/2011/02/tabela_1__uk%C5%82ad_EPAR.pdf)
- [13] Airbag. In: *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-05-03]. Dostupné z:  
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Airbag>
- [14] Volvo - padesát let bezpečnostního pásu. In: *Www.autokaleidoskop.cz* [online]. 2009 [cit. 2012-05-03]. Dostupné z:  
<http://www.autokaleidoskop.cz/Historie/Volvo-padesat-let-bezpecnostniho-pasu/>
- [15] Různorodost bezpečnosti vozidel. *Chytrá žena* [online]. 2009 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.chytrazena.cz/cestovani/prakticke-rady/ruznorodost-bezpecnosti-vozidel-5813.html>
- [16] Bose learning centre: Bose suspension system. *Www.bose.com* [online]. 2012 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <http://www.bose.co.uk/GB/en/learning-centre/suspension/3-the-system/>
- [17] Setrvačnick, inovativní řešení pro hybridní a elektrická vozidla, 2. díl. *Www.hybrid.cz* [online]. 2011 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z:  
<http://www.hybrid.cz/clanky/setrvacnik-inovativni-reseni-pro-hybridni-elektricka-vozidla-2-dil>
- [18] Subaru Impreza bezpečnost. *Www.subaru.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-15].  
Dostupné z: [http://www.subaru.cz/11impreza\\_safety.html](http://www.subaru.cz/11impreza_safety.html)
- [19] Aktivní opěrky hlavy. *Www.toyota.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-15].  
Dostupné z:  
[http://www.toyota.cz/cars/new\\_cars/toyota\\_tech/active\\_headrest.tmex](http://www.toyota.cz/cars/new_cars/toyota_tech/active_headrest.tmex)
- [20] Předpis EHK č.94. Dostupný z www: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:130:0050:0100:CS:PDF>

## Seznam obrázků

obrázek 1 - Hranice snesitelnosti zpoždění v závislosti na době účinku pro lidský mozek. WSU - křivka (Převzato z [4]).....	17
obrázek 2 - Druhy bezpečnostních pásů (převzato z [4]): a – dvoubodový (břišní); b – dvoubodový (diagonální); c – třibodový; d – čtyřbodový (šle); e – ramenní a kolenní; f - diagonální s kolenní opěrkou. ....	24
obrázek 3 - Kombinované blokování bezpečnostního pásu (převzato z [4]).....	25
obrázek 4 - Mechnický napínač bezpečnostního pásu (převzato z [4]) .....	26
obrázek 5 - Pyrotechnický napínač bezpečnostního pásu (převzato z [4]).....	27
obrázek 6 - Omezovače síly v pásu (upraveno z [4]): a - s torzní tyčkou; b - s využitím tření; c - destrukcí pásu.....	27
obrázek 7 - Časový průběh aktivace airbagu (upraveno z [8]) .....	28
obrázek 8 - Průřez hrcovým koaxiálním vyvíječem plynu (převzato z [8]). .....	29
obrázek 9 - Studený vyvíječ plynu s otevíracím mechanismem (převzato z [8]): 1 – zapalovací jednotka; 2 – otevírací mechanismus; 3 – zásobník stlačeného plynu s náplní (tlak asi 20 MPa); 4 – vypouštěcí otvor. ....	30
obrázek 10 - Čelní snímač s válečkem (převzato z [8]).....	30
obrázek 11 - Čelní snímač s excentrickým rotorem (převzato z [8]).....	31
obrázek 12 - Aktivní opěrka hlavy. Převzato z [toyota].....	32
obrázek 13 - Konstrukce karosérie vozu Subaru Impreza (převzato z www.subaru.cz) .....	33
obrázek 14 - Ideální progresivní stupňovitá charakteristika příďe (převzato z [4])... ..	34
obrázek 15 - Rozdělení četnosti nárazů vozidla. Převzato z [1]. .....	36
obrázek 16 - Ideové rozčlenění pasivní bezpečnosti.....	37
obrázek 17 - Schéma technologie projektu EPAR. Převzato z [10].....	39
obrázek 18 - Mechanické schéma absorbéru kinetické energie. Převzato z [12].....	40
obrázek 19 - Srovnání výsledků čelního nárazu s použitím systému EPAR (vlevo) a bez jeho použití (vpravo). Převzato z [11] .....	42
obrázek 20 - Lineární motor Bose. Převzato z [16] .....	43
obrázek 21 - Průřez elektromechanickou baterií (setrvačnickem). Upraveno z [17]. ..	44
obrázek 22 - Koncepční schéma varianty s elektromechanickou baterií .....	44
obrázek 23 - Koncepční schéma varianty s dvěma lineárními motory .....	45
obrázek 24 - Airbag pod vozidlem. Převzato z [9].....	46
obrázek 25 - Schematický obrázek automobilu s předním airbagem. ....	47
obrázek 26 - Dynamický model nárazu vozidla na pevnou překážku. Převzato z [4]. .....	48
obrázek 27 - Deformační síly a zpoždění v závislosti na deformační charakteristice příďe. Převzato z [4]. a – deformační síla konstantní, b – deformační síla úměrná stlačení příďe, c – deformační síla úměrná rychlosti stlačování příďe ..	49

## Seznam tabulek

tabulka 1 - Předpisy EHK/OSN (upraveno z [4]) .....	13
tabulka 2 - Tabulka AIS (převzato z [4]).....	15