

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta

**Hodnocení prvků pasivní bezpečnosti
dvoustopých vozidel**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Jan Kovanda CSc.

Autor bakalářské práce: Zdeněk Šašek

Praha 2012

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Šašek Zdeněk

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Hodnocení prvků pasivní bezpečnosti dvoustopých vozidel

Anglický název

Evaluation of passive safety elements of double truck vehicle

Cíle práce

Provést charakteristiku prvků pasivní bezpečnosti vozidel

Metodika

- prostudovat základní literaturu v oblasti pasivní bezpečnosti
- provést globální literární rešerši v dané problematice
- zhodnotit získaná data a vyvodit závěry

Osnova práce

1. Úvod
2. Historický vývoj a současný stav v oblasti prvků pasivní bezpečnosti
3. Zhodnocení a porovnání současných prvků pasivní bezpečnosti
4. Závěry

Rozsah textové části

30 stran textu včetně obrázků, tabulek a grafů

Klíčová slova

pasivní bezpečnost, prvky, karoserie, airbag, sedačka, bezpečnostní pás

Doporučené zdroje informací

Kovanda, Tobolář, Kotyk: Karosérie. ČVUT 1997

First, J.: Zkoušení automobilů a motocyklů. SnT Praha 2008

Kovanda, J.: Konstrukce automobilů - pasivní bezpečnost. ČVUT 1996

Kovanda, Šatochin: Pasivní bezpečnost vozidel. ČVUT 2000

Kovanda, J., Riva, R.: Vehicle-human Interaction. Ed. Spiegel, Milano, 1999

Vedoucí práce

Kovanda Jan, prof. Ing., CSc.

Termín zadání

listopad 2010

Termín odevzdání

duben 2012

doc. Ing. Boleslav Kadleček, CSc.

Vedoucí katedry



V Praze dne 9.2.2011

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma „Hodnocení prvků pasivní bezpečnosti dvoustopých vozidel“ vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Jana Kovandy CSc. a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze, dne 2.4.2012

.....

Zdeněk Šašek

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce panu prof. Ing. Janu Kovandovi CSc. a panu Ing. Janu Krejčímu za poskytnuté rady, vedení a konzultace při tvorbě této práce.

Abstrakt: Cílem této bakalářské práce je popsat charakteristiku prvků pasivní bezpečnosti vozidel z hlediska jejich historického vývoje a současného stavu. Práce je rozdělena do čtyř hlavních kapitol. V první části je stručný úvod do problematiky. Ve druhé kapitole jsou probrány prvky pasivní bezpečnosti. Celá kapitola začíná historickým vývojem pasivní bezpečnosti, dále je rozdělena na vnější bezpečnost, která obsahuje ochranu chodců, cyklistů a motocyklistů, a na vnitřní bezpečnost. Podkapitola vnitřní bezpečnost pojednává o zádržných systémech, sedadlech a opěrkách hlavy, dveřích a jejich zámcích a závěsech, interiéru vozidla a deformačních zónách. V další kapitole následuje popis bezpečnostních pásů. Jako první je popsáno jejich rozdělení, poté následují součásti, které bezpečnostní pásy obsahují. Dále následuje historie a statistika používání bezpečnostních pásů. Celá kapitola je uzavřena legislativou bezpečnostních pásů. Poslední kapitolou je závěr, kde je shrnuta celá problematika pasivní bezpečnosti.

Klíčová slova: pasivní bezpečnost, prvky, karoserie, airbag, sedačka, bezpečnostní pás

Evaluation of passive safety elements of double truck vehicles

Summary: The aim of this bachelor's thesis is to describe the characteristics of passive safety elements of vehicles from a viewpoint of their historical development and from the current status. The thesis is divided into four main chapters. The first part is a brief introduction to the topic. The second chapter discusses the passive safety elements. The whole chapter begins with the historical development of the passive safety, further is this chapter divided into the external safety, which includes protection of pedestrians, cyclists and motorcyclists and into the inside safety. The subchapter of the inside safety deals with restraint systems, seats and head rests, doors and their locks and hinges, interior and deformational zones. In the next chapter follows the description of the safety belts. Firstly, there is a description of their division, followed by components, which seat belts include. This is followed by history and statistics of the use of the safety belts. The whole chapter is closed by the legislation of seat belts. The last chapter is a conclusion, where the whole issue of passive safety is summarized.

Key words: passive safety, elements, body, airbag, seat, safety belt

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Historický vývoj a současný stav v oblasti prvků pasivní bezpečnosti	2
2.1. Celkový vývoj pasivní bezpečnosti	2
2.2. Vnější bezpečnost	3
2.2.1. Bezpečnost chodců	4
2.2.2. Bezpečnost motocyklistů a cyklistů.....	7
2.3. Vnitřní bezpečnost	8
2.3.1. Zádržné systémy	8
2.3.2. Sedadla a opěrky hlavy	15
2.3.3. Dveře, zámky a závěsy dveří	17
2.3.4. Interiér vozidla	17
2.3.5. Deformační zóny.....	18
3. Zhodnocení a porovnání současných prvků pasivní bezpečnosti	24
3.1. Rozdělení bezpečnostních pásů	24
3.2. Součásti bezpečnostních pásů	24
3.2.1. Navíječe bezpečnostních pásů	25
3.2.2. Napínače bezpečnostních pásů	25
3.2.3. Omezovače síly bezpečnostních pásů	27
3.3. Historie bezpečnostních pásů.....	27
3.4. Statistika používání bezpečnostních pásů.....	28
3.5. Legislativa související s bezpečnostními pásy.....	29
3.5.1. Zařízení pro zkoušky bezpečnostních pásů	29
3.5.2. Metoda zkoušky	29
3.5.3. Kritéria hodnocení	30
4. Závěr	31
Seznam použité literatury	33
Seznam použitých obrázků	36

1. Úvod

Cílem této práce je představit a popsat prvky pasivní bezpečnosti vozidel. Od doby, kdy se začala poprvé zmiňovat pasivní bezpečnost a její prvky se postupně začaly objevovat ve vozidlech, uplynula už dlouhá doba v řádu desítek let. Za tuto dobu se prvky od svého prvního uvedení v automobilu vyvinuly a zdokonalily až na dnešní úroveň. K jejich vývoji přispěla nejen neustále se zvyšující technická úroveň automobilek, ale také rostoucí počet jezdících automobilů. Čím více vozidel se objevuje na silnicích, tím více vzrůstá i počet dopravních nehod, při kterých jsou ohroženy lidské životy. Proto jsou prvky pasivní bezpečnosti nedílnou součástí moderních automobilů.

Úkolem prvků pasivní bezpečnosti je snížit následky dopravních nehod, jak u všech cestujících ve vozidle, tak i u ostatních účastníků silničního provozu, kterými jsou většinou chodci, cyklisté a motocyklisté. Z tohoto pohledu se dá pasivní bezpečnost rozdělit na vnější a vnitřní. Vnější prvky snižují následky poranění u ostatních účastníků nehody. V tomto případě se klade velký důraz na tvar a tuhost karoserie, zejména na její přední část, protože při srážce s chodcem právě na kapotu a přední masku dopadá nejvyšší procento chodců. Pro jejich větší ochranu automobilky vynalezly další systémy, jako je aktivní kapota nebo airbag pro chodce. Při srážce s motocyklistou a cyklistou se uvažuje náraz do jiné části vozidla, nejvíce čelní náraz do boku vozidla.

Vnitřní prvky pasivní bezpečnosti zajišťují ochranu posádky ve vozidle. Mezi nejdůležitější prvky patří takzvané zádržné systémy. Lze je chápat tak, že musí pomyslně spojit posádku a sedadla automobilu, tak aby se rychlost posádky přiblížila co nejvíce rychlosti vozidla v okamžiku nárazu. Mezi zádržné systémy se řadí bezpečnostní pásy, airbasy a pro ochranu dětí dětské sedačky. Se zádržnými systémy souvisí sedadla a jejich opěrky hlav. Další důležitou částí jsou deformační zóny, které mají za úkol pohlcovat nárazovou energii a vytvářejí posádce prostor pro přežití. Dále musí být zabezpečeno, aby posádka při nehodě zůstala v automobilu, to musí zajišťovat zámky a závěsy dveří a konstrukce dveří. Nedílnou součástí vnitřní bezpečnosti je i interiér vozidla, který nesmí způsobit cestujícím žádné poranění.

2. Historický vývoj a současný stav v oblasti prvků pasivní bezpečnosti

Vývoj v oblasti prvků pasivní bezpečnosti zaznamenal za svou více než šedesátiletou historii velký rozkvět ve všech směrech. Ať už v počtu jednotlivých prvků umístěných ve vozidle, nebo v jejich vyšší účinnosti, než na počátku vývoje.

2.1. Celkový vývoj pasivní bezpečnosti

Problematikou pasivní bezpečnosti se poprvé začal zabývat profesor Larry Patrick v USA v padesátých letech minulého století. V té době auta neměla žádné bezpečnostní prvky a byla velmi nebezpečná z pohledu ochrany posádky. Bezpečnosti v té době nikdo nevěnoval pozornost, vysoký počet zraněných a mrtvých lidí byl pokládán za nezbytnou daň za stále se zvyšující počet vozidel a houstnoucí provoz. Toto nebylo lhostejné profesoru Patrickovi, proto začal shromažďovat o nehodách všemožné údaje. Z takto nashromážděných údajů zjistil chyby v konstrukci vozidel a stanovil základní kritéria pro ochranu a přežití posádky, která jsou dodnes platná. Aby mohl doložit svá tvrzení, zkonstruoval několik přístrojů na měření odolnosti lidského těla proti nárazům. První zkoušky prováděl sám na sobě a z výsledků stanovil závěry o odolnosti lidského těla a podle nich navrhl první úpravy v konstrukci vozidel. Výsledky testů byly zpřesněny po zavedení testovacích figurín, které na sobě měly měřící čidla a tak nahrazovaly živou posádku.

Z výsledků testů, které profesor Patrick provedl na vlastním těle, vyvodil následující pravidla:

- Posádka vozidla musí mít dostatečný prostor pro přežití, a to i v případě převrácení nebo jízdy po střeše vozidla.
- Do tohoto prostoru nesmí nadměrně proniknout žádná část vozidla, která tam nepatří.
- V tomto prostoru nesmí být žádné části, které by mohly přispět ke zranění posádky, tedy žádné ostré hrany a výstupky (platí minimální rádius 2,5 mm).

- Vnitřní část tohoto prostoru by měla být obložena materiály tlumící náraz a plochy, které mohou přijít do styku s lidským tělem, musí být co největší (např. střed volantu).
- Prostor pro posádku musí být co nejtužší, aby se při nehodě co nejméně deformoval a aby umožnil otevřít alespoň jedny dveře bez použití nástrojů.
- Sedačky musí být upevněny tak, aby při nárazu zůstaly na svém místě.
- Posádka musí být fixována na sedadlech speciálním zařízením, které zachytí energii při nárazu a nedovolí kontakt těla s pevnými plochami.
- Dveře vozidla se nesmí při nehodě samovolně otevřít a posádka nesmí z automobilu vypadnout.
- Přední i zadní část vozidla musí energii nárazu pohltit a rozprostřít ji na takový čas, aby zrychlení kabiny, tedy i posádky, nepřekročilo kritické hodnoty.
- Okna auta musí být takové konstrukce, aby při rozbití nezpůsobila řezné poranění.
- Při nehodě nesmí dojít k úniku paliva z nádrže a k požáru vozidla.
- Materiály používané v interiéru vozidla by měly být nehořlavé, nebo alespoň s omezenou hořlavostí.

Z takto stanovených pravidel byly vytvořeny nové předpisy, které přesně stanovovaly, co musí která část vozidla splňovat. Výsledkem konstrukce automobilů podle těchto předpisů má být vozidlo s dostatečně pevnou kabinou zbavenou všech výstupků a ostrých hran a s dostatečně velkými deformačními zónami. [6]

V současné době, při návrhu nového vozidla, je nutné znát mechanismy poranění jak posádky, tak i ostatních účastníků nehody, deformační charakteristiky, pevnostní a absorpční vlastnosti jednotlivých dílů. Dále je při uvedení nového vozu nutné splňovat řadu přísných předpisů pro konstrukci automobilů Evropské hospodářské komise EHK-OSN. [1]

2.2. Vnější bezpečnost

Vnější bezpečnost zahrnuje ostatní účastníky dopravní nehody. Především se jedná o ochranu chodců, motocyklistů a cyklistů.

2.2.1. Bezpečnost chodců

Srážka chodce s vozidlem je velmi nebezpečná i při malých rychlostech, protože při střetu dochází k primárnímu nárazu na automobil a k sekundárnímu nárazu na vozovku, poté může nastat ještě terciální náraz na jinou překážku, např. obrubník. Místo srážky s chodcem je ovlivněno jeho fyziognomií, zvláště tělesnou výškou, rozložením jeho hmotnosti a jeho polohou vzhledem k vozidlu při nárazu. Srážka s vozidlem u člověka vysokého například 180 cm bude probíhat jinak než kolize s tříletým dítětem. Druh kolize je určen směrem nárazu člověka na vozidlo, nárazovou rychlostí a tvarem a tuhostí místa nárazu na vozidle.

Z celosvětových statistik vyplývá, že až jedna třetina obětí dopravních nehod připadá na srážku automobilu s chodcem. Z analýz nehod, experimentálních a teoretických simulací, vyplynuly požadavky na průběh pohybu chodce po kolizi s vozidlem: [2], [6]

- 1) Náraz by měl probíhat v pořadí nohy – pánev – hrudník – hlava.
- 2) Doba styku chodce s vozidlem by měla být co nejdelší.
- 3) Výška vrhu chodce co nejmenší.
- 4) Zabránění odhozu dětí směrem dopředu.

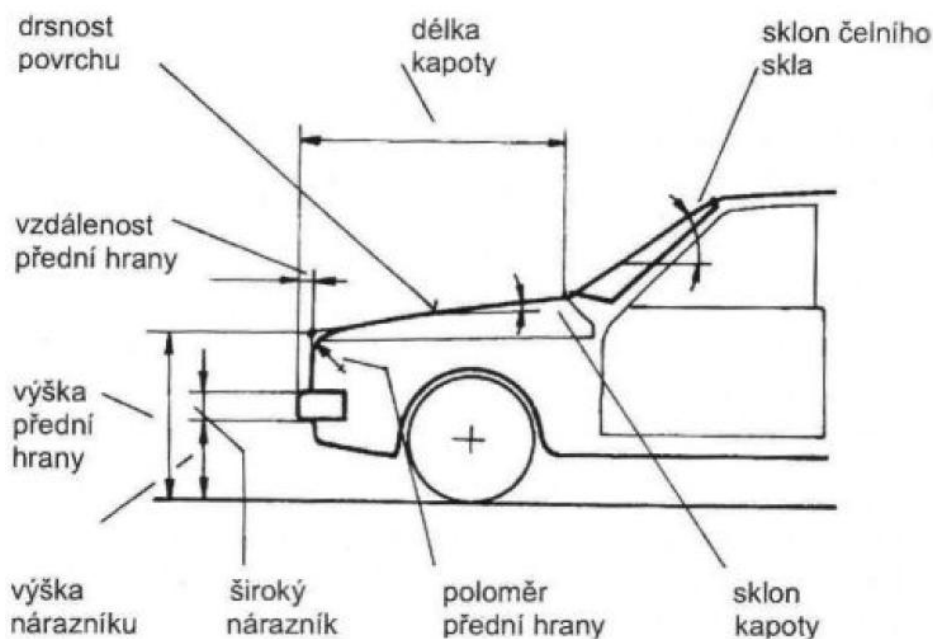
Z těchto požadavků se dále odvíjely požadavky na tvar a vlastnosti karoserie:

- 1) Nárazník musí mírně přečínvat před vozidlo a nemá být příliš vysoko, aby nevzniklo poranění kolen a zároveň nemá být příliš nízko, aby nevznikla vysoká nárazová rychlost hlavy na automobil.
- 2) Vozidla s krátkou kapotou by měla mít její přední hranu výraznou a poddajnou, jestliže je hrana tuhá, tak by měla být posunuta dále za nárazník.
- 3) Délka kapoty by měla být co největší a její sklon co nejmenší (0-6°).
- 4) Výška přední hrany nemá být extrémně malá nebo velká.
- 5) Čelní okno má mít plochý sklon a zaoblený tvar v půdorysu.

A požadavky na poddajnost karoserie:

- 1) Tuhost nárazových oblastí karoserie by měla být taková, aby nebyly překročeny biomechanické limity jednotlivých částí těla.
- 2) Je nutné vyvarovat se tvrdých materiálů, kapota by měla být pokryta měkkým materiálem, zvláště v přední třetině a v okolí čelního skla. [2]

Obr. 1 Faktory ovlivňující bezpečnost chodců



Zdroj: [2]

Aktivní kapota

Kvůli vážným poraněním hlavy, která vznikají nárazem na kapotu vozidla, začaly automobilky vyvíjet nový prvek pasivní bezpečnosti v ochraně chodců, a to aktivní kapotu. V Evropě tento systém jako první vyvinul Citroën a jako první ho použila automobilka Jaguar u modelu XK. V Japonsku s tímto systémem přišel jako první Nissan, který ho použil u modelu Skyline. K vystřelení kapoty dojde za 30 ms.

Vystřelovací kapota funguje na podobném principu jako airbag. Senzory umístěné v předním nárazníku vyhodnocují, zda došlo ke srážce s chodcem. Poté dají pokyn řídicí jednotce, která odpálí pyrotechnické rozbušky a ty vystřelí kapotu, která se nadzvedne o 65 milimetrů. Nadzdvížením kapoty se pro chodce zvětší deformační prostor a hrozí mu méně tvrdý náraz na pevné části motoru nebo tuhé části karoserie. Vystřelovací kapota může také fungovat na principu předepjaté pružiny, která se uvolňuje elektromagneticky. Výhoda předepjaté pružiny je v tom, že když kapota zůstane nepoškozená, tak ji řidič může vrátit zpět na původní místo vlastní silou. V případě použití pyrotechnické rozbušky musí navštívit autoservis. [7], [8], [9]

Airbagy pro chodce

Začínají se objevovat také airbagy pro chodce, které se umísťují v místě přechodu kapoty a předního skla a v oblasti A-sloupku. Tyto airbagy začal jako první vyvíjet vysokoškolský tým pod vedením Rogera Hardyho ve Velké Británii. V automobilech začal tento airbag mezi prvními používat Ford. Ford také jako jeden z prvních představil airbag, který je umístěn na předním nárazníku. [10], [11], [12]

Obr. 2 Umístění airbagů pro chodce na vozidle



Zdroj: [11]

Zkoušení a schvalování automobilů při srážce s chodcem

Při zkouškách jsou reálné střety simulovány pomocí figurín nebo částí těl – impaktorů. Jako impaktory se používají maketa dolní části nohy, maketa horní části nohy a maketa hlavy dítěte a dospělého člověka. Zkoušená místa, na kterých lze provést nárazy impaktorů, jsou nárazník, kapota a čelní sklo.

Metody zkoušek:

- zkouška nárazem makety dolní části nohy do nárazníku
- zkouška nárazem makety horní části nohy do nárazníku
- zkouška nárazem makety horní části nohy do řídicí hrany kapoty
- zkouška nárazem makety hlavy dítěte a dospělého do horního povrchu kapoty

Zkoušky se provádějí s celým vozidlem nebo s jeho částmi, které svými parametry odpovídají realitě, vozidlo je při zkoušce ve své normální poloze. Jestliže zkouška probíhá na celém vozidle, tak jsou všechna zařízení na ochranu chodců aktivována. Pokud zkouška probíhá na části vozidla, tak musí být upevněna tak, aby odpovídala normální jízdni poloze, a upevnění nesmí zkreslovat její vlastnosti. [3]

Legislativa související s ochranou chodců při srážce s automobilem

- Směrnice EHS/ES č. 2003/102; 2004/90 – Ochrana chodců a ostatních nechráněných účastníků dopravy před srážkou s motorovým vozidlem
- Norma ISO 6487:2000 – Měřicí technika při nárazových zkouškách [3]

Zkoušení a schvalování vnějších výčnělků vozidel

Jako vnější povrch jsou považovány všechny části vozidla, které mohou přijít v případě kolize do kontaktu s chodcem. Z posuzování jsou vyjmuty měkčí části jako například zpětná zrcátka a ohebné antény.

Předměty zkoušek:

- Výčnělky na vnějším povrchu vozidla.
- Výčnělky a rozměry částí upevněných na vnějším povrchu karoserie.
- Výčnělky clony světlometů.
- Mezery a prostor mezi členy mřížky.
- Poloměry zaoblení karoserie.
- Ozdobné prvky karoserie, které vyčnívají více než 10 milimetrů. [3]

Legislativa související s vnějšími výčnělky vozidel

- Předpis EHK/OSN č. 26 – Vnější výčnělky vozidel kategorie M₁
- Směrnice EHS/ES č. 74/483; 79/488 – Vnější výčnělky vozidel kategorie M₁ [3]

2.2.2. Bezpečnost motocyklistů a cyklistů

Množství dopravních nehod u motocyklistů je na počet najetých kilometrů až 10x větší než u automobilů. To má také vliv na to, že smrtelné následky u řidičů motocyklů jsou řádově vyšší než u posádek automobilů. Při střetu motocyklu s vozidlem dojde v 60 % k čelnímu nárazu motocyklu, ve 30 % k bočnímu nárazu motocyklu a zbylých 10 % připadá na ostatní druhy kolizí. [4]

Rozsah čelní srážky je $\pm 15^\circ$ od srážky kolmé. Při této kolizi dojde v 62 % k nárazu motocyklu na bok vozidla, ve 30 % případech proběhne kolize s předkem vozu a v 8 % se zádí vozu. Při střetu dojde nejčastěji ke zranění hlavy a dolních končetin. Vážnost poranění hlavy je nižší v případech, kdy jezdec přeletí přes vozidlo, aniž do něj přímo narazí. To se stane při střetu s běžným osobním automobilem. Při srážce s minivanem či terénním vozidlem jezdec narazí do automobilu a tím je v ohrožení i posádka vozidla. Přelety se dají usnadnit vhodnou konstrukcí motocyklu. Co se týče střetů cyklistů s vozidly, tak jsou analogické se srážkami motocyklistů s vozidly. [1], [13]

Legislativa související s ochranou cyklistů a motocyklistů

- Směrnice EHS/ES č. 99/144 – Vnější výčnělky vozidel kategorie L [3]

2.3. Vnitřní bezpečnost

Vnitřní bezpečnost obsahuje prvky, které slouží k ochraně posádky vozidla. Patří sem zádržné systémy, sedačky a opěrky hlavy, deformační zóny a prvky karoserie jako například zavěšení motoru a zámky a závěsy dveří.

2.3.1. Zádržné systémy

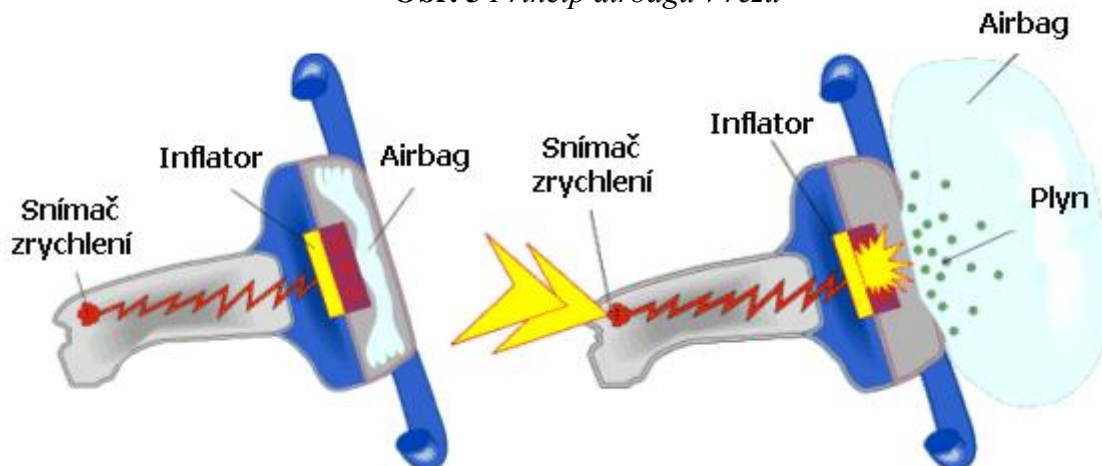
Mezi zádržné systémy patří bezpečnostní pásy, airbagy a dětské sedačky. Bezpečnostním pásům je věnována samostatná kapitola č. 3.

2.3.1.1. Airbag

Jedná se o látkový vak, který se při srážce během několika milisekund naplní plynem. Jeho účelem je chránit cestující před poraněním o tvrdé části interiéru vozidla. Airbag má především chránit horní část těla posádky vozu. Existuje ovšem i mnoho dalších typů airbagů, které chrání i ostatní části těla, například boční, okenní, kolenní atd. Airbagy jsou složeny z polyamidové tkaniny, inflátoru, řídicí jednotky a senzorů zrychlení. Řídicí jednotka je společná pro všechny airbagy ve vozidle. Aktivaci jednotlivých airbagů provádí řídicí jednotka na základě signálů, které získává od snímačů zrychlení. Tudíž by se nemělo stát, že se při bočním nárazu aktivují čelní a kolenní airbagy. Každý senzor je aktivován v okamžiku nárazu, jestliže zrychlení v místě jeho uložení překročí dané limity.

Airbagy jsou aktivovány pomocí inflátorů. Tradiční airbag je zcela naplněn za 30 – 40 milisekund. [4], [11]

Obr. 3 Princip airbagu v řezu



Zdroj: [11]

Snímače zrychlení jsou umístěny přímo v řídicí jednotce (pro čelní náraz) nebo jsou umístěné na vybraných stranách karoserie (pro boční a zadní náraz). [5]

Historický vývoj

Zařízení podobná airbagu se používala v leteckém průmyslu již ve 40. letech minulého století. Airbag, jak ho známe dnes, používaný v automobilovém průmyslu vynalezl v roce 1952 John W. Hetrick a o rok později si ho nechal patentovat. V roce 1967 byl Allenem Breedem vynalezen senzor zrychlení, který ho v tomtéž roce prodal Chevroletu. Ve stejném roce začal s vývojem airbagu i Mercedes. Roku 1980 se objevil první sériově vyráběný automobil s airbagem, byl to Mercedes – Benz třídy S. [11]

Čelní airbagy

Jedná se o airbagy pro osoby na předních sedadlech a jejich účelem je chránit řidiče a spolujezdce před poraněním hlavy a hrudníku při nárazu do pevné překážky do rychlosti 60 km/h a při čelním střetu dvou vozidel do rychlosti 100 km/h. Před řidičem se airbag nachází v hlavě volantu a před spolujezdcem je zabudován do přístrojové desky. Airbag pro řidiče je ve tvaru elipsoidu, evropský typ airbagu má objem 30 litrů a předpokládá se použití bezpečnostních pásů, americký typ má objem 60 litrů a použití bezpečnostních pásů se nepředpokládá. Vysoká účinnost se však dosahuje právě při použití bezpečnostních pásů. Airbag pro spolujezdce je tvořen dvěma bočními

rovinnými stěnami spojenými obecnou plochou a má objem 90 litrů. Aby byl zajištěn maximální ochranný účinek, musí být airbag zcela naplněn ještě před dopadem cestujícího. Při kontaktu s horní částí těla se airbag částečně vyprázdní a přitom absorbuje energii, kterou do něj člověk narazí a tím zmírní nebo zabrání poranění hlavy a hrudníku. Maximální dovolené dopředné posunutí řidiče je 12,5 cm, což odpovídá 40 ms po začátku nárazu (při rychlosti nárazu 50 km/h do pevné překážky). [4], [5]

Boční airbag

Boční airbag poprvé zavedla automobilka Volvo v roce 1995, aby snížila četnost a zmírnila závažnost poranění hlavy a hrudníku při bočním nárazu. Nejvyšší počet zranění při bočním nárazu nastane při kontaktu těla s deformujícím se bokem vozu a s pronikajícím tělesem, jako například stromem nebo kapotou druhého vozu. Airbag bývá umístěn v opěradle sedadla, dveřích nebo B-sloupku. Z dosavadní praxe a zkušeností je zřejmé, že airbagy umístěné v opěradle sedadla účinkují nejlépe. U airbagů umístěných v B-sloupku se může vyskytnout problém s nevhodnou polohou cestujícího v době nárazu. Potom airbag nepůsobí z boku, ale také mírně zezadu. Při vyšších rychlostech nárazu se boční okno rozbije a netvoří tedy žádnou oporu pro airbag, proto se airbag umístěný v B-sloupku příliš neosvědčil. Objem bočních airbagů je 12-15 litrů. [4], [14]

Nevýhodou bočních airbagů je velmi malá deformační oblast, proto je nutné dosáhnout velmi krátké doby naplnění vaku od počátku nehody. Na počátku vývoje se zdálo, že bude nutné srážku předpovídat, tato překážka se odstranila použitím snímačů zrychlení, které mají reakční dobu menší než 5 milisekund. Skutečnou dobu pro spuštění airbagu může do značné míry ovlivnit konstrukční provedení karoserie. U méně tuhých karosérií proti bočnímu nárazu je vhodné snímače zrychlení umístit do dveří, u odolnějších karosérií proti bočnímu nárazu je vhodné snímače umístit do podlahové části karoserie. Další možností pro indikaci nehody je snímání rychlé změny tlaku v dutině dveří. [4]

Okenní airbag

Tyto airbagy byly poprvé představeny automobilkou Volvo v roce 1998 v modelu S80. Okenní airbagy chrání posádku jak na předních, tak i na zadních sedadlech při bočních nárazech a jsou tak doplňkem bočních airbagů. Jsou uloženy ve stropě vozu a sahají od předního až po zadní sloupek. Volvo vyvinulo technologii, která umožňuje

uložení okenních airbagů do dveří a používá ji ve svých modelech. Při nárazu se airbag začne nafukovat ve stejném okamžiku jako boční airbag a rozprostře se po celé délce interiéru. Zabraňuje nárazu hlavy posádky do postranního okna nebo bočního sloupku a také zabraňuje vniknutí střepů skla a dalších předmětů do vnitřku vozu. Okenní airbag je tvořen více vzduchovými komorami, které se nafouknou do 25 milisekund. [5], [14]

Obr. 4 Umístění čelních, bočních a okenních airbagů



Zdroj: [15]

Kolení airbag

Kolení airbag slouží k ochraně dolní části těla. Při nárazu zabraňuje kontaktu dolních končetin s díly přístrojové desky. Airbag je umístěn pod volantem v palubní desce. K jeho aktivaci dojde společně s čelními airbagy. [16]

Obr. 5 Kolenní airbag



Zdroj: [16]

Centrální a středový airbag

Centrální airbag vyvinula automobilka GM v roce 2011, do sériové výroby ho chce zařadit v roce 2012. Na vývoji GM spolupracovalo se společností Takata a trval 3 roky.

Airbag je umístěn v pravé bočnici sedadla řidiče, u levostranného řízení v levé bočnici, nafoukne se tedy vpravo nebo vlevo od řidiče a při použití bočních airbagů je řidič chráněn z obou stran. Funkcí tohoto airbagu je při bočním nárazu zabránit příliš velkému vychýlení řidiče v příčném směru a zároveň slouží jako ochranná přepážka mezi řidičem a spolujezdcem, aby nedošlo k jejich vzájemnému kontaktu. [17]

Středový airbag vyvinula automobilka Toyota a v roce 2009 ho zavedla do sériové výroby. Airbag je zabudován v pevné konzoli, která je připevněná k zadním sedadlům. Středový airbag má podobnou funkci jako centrální airbag, také je spouštěn při bočním nárazu a slouží k ochraně cestujících na zadních sedadlech tím, že mezi nimi vytvoří bariéru, aby nedošlo ke vzájemnému kontaktu. Airbag vystřelí z horní části konzole a chrání prakticky celou horní polovinu těla. [18]

Obr. 6 *Centrální airbag*



Zdroj: [17]

Obr. 7 *Středový airbag*



Zdroj: [18]

Hlavový airbag

Tento airbag vyvinula a v roce 2008 představila automobilka Toyota v modelu iQ. Airbag se nachází nad zadním oknem v čalounění střechy a aktivuje se při nárazu zezadu. Slouží pro ochranu cestujících na zadních sedadlech, společně s hlavovými opěrkami snižuje až dvojnásobně závažnost poranění hlavy. [19]

Obr. 8 *Hlavový airbag*



Zdroj: [19]

Airbag v bezpečnostním pásu

Tyto airbasy se poprvé objevily ve voze Ford Explorer v roce 2010. Airbag je umístěn v pásích na zadních sedadlech. Snižuje rizika poranění hrudníku, krku a hlavy,

zejména u dětí. Airbag se nafoukne při čelní i boční srážce a jeho plocha se zvětší až pětkrát oproti původnímu pásu. Do této plochy se lépe rozprostírá tlak vytvořený člověkem při srážce, a tak udrží jeho tělo v bezpečné pozici.

Airbag se plní plynem ze zásobníku umístěného pod sedadlem. Plyn proudí do vaku poskládaného do harmoniky uvnitř pásu. Při plnění se odspodu začne trhat látka pásu a airbag se během 40 milisekund naplní.

Hlavní rozdíl oproti běžným airbagům je ten, že plyn je uchováván při nízké teplotě a při nafouknutí vzniká chemická reakce, která plyn ohřeje na pokojovou teplotu. Doba nafouknutí airbagu je asi 40 milisekund. [20]

Obr. 9 Airbag v bezpečnostním pásu



Zdroj: [20]

Airbag v zadních sedadlech

Tento airbag vyvinul švédský dodavatel bezpečnostních systémů Autolive v roce 2006 a poprvé se objevil ve voze Lexus LS460. Jedná se o ochranný prvek, který je umístěn v přední části sedáku zadních sedadel. Airbag je vystřelen při čelním nárazu a snižuje riziko poranění cestujících tím, že lépe rozkládá síly působící při nehodě na člověka. [21]

Obr. 10 Airbag v zadních sedadlech



Zdroj: [21]

Legislativa související s ochranou cestujících proti nárazu

- Předpis EHK/OSN č. 32 – Náraz na vozidlo zezadu (nepoužívá se)
- Předpis EHK/OSN č. 33 – Náraz na vozidlo zepředu (nepoužívá se)
- Předpis EHK/OSN č. 94 – Ochrana proti čelnímu nárazu
- Předpis EHK/OSN č. 95 – Ochrana proti bočnímu nárazu
- Směrnice EHS/ES č. 96/27 – Boční náraz
- Směrnice EHS/ES č. 96/79; 99/98 – Čelní vyosený náraz
- Norma ISO 3560:1975 – Pevné bariéry pro crash test
- Norma ISO 3784:1976 – Měření nárazové rychlosti
- Norma ISO 3984:1982 – Mobilní bariéry pro crash testy

- Norma ISO 6813:1981 – Kolize, terminologie
- Norma ISO 6887:1987 – Měřicí technika při nárazových testech
- Norma ISO 7861:2003 – Křivky rizika poranění pro vyhodnocení ochrany cestujících při čelním nárazu
- Norma ISO 12350:2004 – Křivky rizika poranění pro vyhodnocení ochrany cestujících při bočním nárazu
- Norma ISO 12351:1999 – Stanovení kontaktu hlavy s vozidlem při nárazových testech a délka jeho trvání
- Norma ISO 12825:2004 – Zkouška ofsetového čelního nárazu [3]

2.3.1.2. Dětské sedačky

Každý dětský zádržný systém musí splňovat náročné požadavky respektující stavbu i hmotnost dětského těla a každý se musí uchytit buď pomocí systému ISOFIX nebo pomocí bezpečnostních pásů. ISOFIX jsou speciální normované úchyty montované již při výrobě vozidla, jejich standardy jsou společné pro všechny automobily.

Některé sedačky se vyrábějí jako vícestupňové, kdy se po překročení určité hmotnosti dítěte odpojí opěradlo sedačky a používá se pouze sedák. [4], [6]

Obr. 11 Úchyty ISOFIX na zadním sedadle



Zdroj: [22]

Dětské sedačky se dělí podle tří kritérií:

1. Podle konstrukce:
 - Sedačka pro přenášení dítěte.
 - Dětská sedačka s ochranným štítkem.
 - Adaptace pro použití bezpečnostních pásů.
2. Podle použití:
 - Universální – nezávislé na typu vozidla, upevňují se pomocí bezpečnostních pásů.
 - Semi-universální a specifické – vyvinuté pro daný typ vozidla.
 - Isofix – speciální úchyty řešené předpisem EHK.

3. Podle hmotnosti dětí:

- 0 – do hmotnosti 10 kg, sedačka se samostatným pásem ve tvaru Y, umisťuje se proti směru jízdy.
- I – pro hmotnost 9 – 18 kg, sedačka s pětibodovým pásem, většinou doplněná o ochranný štítek a o opěru nohy, umisťuje se po směru jízdy.
- II – pro hmotnost 15 – 25 kg, nemá vlastní pás, dítě je drženo pomocí pásu ve vozidle, sedačka bývá výlisek z polystyrenu.
- III – pro hmotnost 22 – 36 kg, tvořeno pouze sedákem, který je držěn pásy.

Sedačky podléhají zkouškám materiálu, u kterého se zkouší nehořlavost, netoxicity, rozměry, výčnělky, koroze, pevnost, životnost a absorpce energie. Dále u nich probíhá statická zkouška převrácením, kde se kontroluje, zda figurína dítěte nevypadne ze sedačky a zda nenastane posun hlavy větší než 300 mm. Poslední je dynamická zkouška, ta zahrnuje test figuríny v sedačce při rychlosti 50 km/h se měří rovnoměrné zpomalení na dráze 650 mm s tolerancí 50 mm. Měří se trajektorie hlavy a zrychlení hlavy a hrudníku. [4]

Legislativa související s dětskými sedačkami

- Předpis EHK/OSN č. 44 – Zadržné systémy pro děti [3]

2.3.2. Sedadla a opěrky hlavy

Na sedadla je kladena celá řada požadavků, jako anatomické (tvarování a měrné tlaky), fyziologické (teplota, prodyšnost), přenosové (tlumení vibrací) a pevnostní (kolize). Kromě toho plní i funkci zádržnou, při nárazu odolávají setrvačné síle, která je vyvolána pohybem těla a hlavy osoby nebo nákladem. Dále při dopravní nehodě nesmí svým tvarem způsobit žádná zranění cestujícím osobám. Zádržná funkce je různá pro přední a zadní sedadla. Přední sedadla mají tuto funkci při nárazu zezadu pro osoby, které na nich sedí, a při nárazu zepředu pro osoby sedící za nimi. U zadních sedadel se zádržná funkce projevuje při nárazu zezadu pro osoby na nich sedící a při nárazu zepředu odolávají proti setrvačné síle nákladu. [2], [3]

Opěrka hlavy je nezbytným vybavením každého automobilu, protože při nárazu nedokáže svaly na krku udržet hlavu v bezpečné poloze a hrozí tak zlomení vazů. Opěrka

musí být nastavena tak, aby nedošlo k nadměrnému záklonu hlavy při nárazu zezadu a zpětnému překmitnutí hlavy při pohybu těla zpět do sedačky při čelním nárazu. Doporučené nastavení opěrky hlavy je takové, kdy horní konec opěrky je ve stejné výšce jako nejvyšší bod hlavy pasažéra. [2], [6]

Existují tři druhy konstrukce opěrky hlavy:

1. Integrovaná – opěrka je tvořena horní částí opěradla sedadla.
2. Oddělitelná – opěrka je upevněna na opěradle a dá se oddělit.
3. Samostatná – opěrka je zcela nebo částečně upevněna mimo opěradlo sedadla. [3]

Aktivní opěrka hlavy

Aktivní opěrky hlavy mají za úkol se v případě nárazu přiblížit co nejdříve k hlavě pasažéra tak, aby rychleji podložila jeho hlavu, vyztužila jeho krční páteř a pomohla zachytit setrvačné síly zatěžující hlavu a krční páteř v okamžiku nehody. Jako první zavedla aktivní opěrku hlavy do automobilů automobilka Opel v roce 1999. Nejčastější je čistě mechanický systém, který se uvádí do činnosti tlakem horní části těla do opěradla. Celý pákový systém je namontovaný v horní části opěradel na předních sedadlech, je spojen s opěrkou hlavy, kterou při nárazu zezadu posouvá směrem vpřed a vzhůru a nijak nezasahuje do činnosti airbagů ukrytých v opěradlech. Existuje také aktivní opěrka firmy Johnson Controls, která se při nárazu pomocí servomotorů vysune za 20 milisekund. [2], [23]

Obr. 12 *Aktivní opěrka hlavy firmy Johnson Controls*



Zdroj: [23]

Legislativa související se sedadly a opěrkami hlavy

- Předpis EHK/OSN č. 17 – Pevnost sedadel, úchytnů a opěrek hlav
- Předpis EHK/OSN č. 25 – Opěrky hlav
- Předpis EHK/OSN č. 80 – Pevnost sedadel autobusů a jejich úchytnů
- Směrnice EHS/ES č. 74/408; 96/37 – Pevnost sedadel
- Směrnice EHS/ES č. 78/932 – Opěrky hlavy vozidel kategorie M₁
- Směrnice EHS/ES č. 81/577 – Pevnost sedadel a úchytnů

- Norma ISO 6887:1987 – Měřicí technika při nárazových testech [3]

2.3.3. Dveře, zámky a závěsy dveří

Z hlediska pasivní bezpečnosti jsou na dveře kladeny zvláštní požadavky, které musí vykazovat při a po nárazu:

- Dveře se při nehodě nesmí otevřít.
- Po nehodě musí být otevíratelné.
- Musí dobře přiléhat ke sloupkům karoserie prostřednictvím závěsů a zámků dveří.
- Nosníky dveří a jiná zesílení musí zajistit přenos nárazové síly do karosérie.
- Vnitřní panel dveří musí cestujícím umožňovat dostatečnou deformační dráhu.

Z toho vyplývá, že dveře musí při nehodě splňovat dvě funkce. První funkcí je ochrana cestujících zajištěním prostoru pro přežití a zpoždění posádky na vnitřní deformační strukturu dveří. Druhá funkce zaručuje možnost úniku cestujících při zachování normální funkce dveří. Pevnost dveří se zvyšuje účelově volenými prolisy a výztuhami dveří. Nejvíce se pevnost zvýší přivařením výztuh k rámu dveří, nejlépe pod otvory oken. Výztuhy zabraňují zborcení dveří při čelním i bočním nárazu.

Dveře se do karosérie zavěšují pomocí závěsů. Zámky a závěsy musí být velmi tuhé a pevné, protože by po nehodě měly zůstat neporušené. Dále musí být navrženy tak, aby nedošlo ke vzpříčení dveří při čelním nárazu nebo k vytržení dveří při bočním nárazu. [2]

Legislativa související s dveřmi, zámky a závěsy dveří

- Předpis EHK/OSN č. 11 – Zámky a závěsy dveří
- Směrnice EHS/ES č. 70/387; 98/90 – Dveře, vstup do vozidla a výstup [3]

2.3.4. Interiér vozidla

Uspořádání vnitřního prostoru vozidla je velmi důležité, protože se podílí na ochraně cestujících při nehodách. Při nárazu absorbuje část energie osob a zároveň jim nesmí způsobit zranění. Pro posouzení ochrany jsou definovány oblasti interiéru, které jsou z hlediska absorpce energie, drsnosti povrchu, ostrosti hran a výčnělků kontrolovány. [3]

Řídicí ústrojí

Největší procento poranění způsobuje právě řídicí ústrojí. Jeho největší nebezpečí je zejména při čelním nárazu. V souvislosti s požadavky na pasivní bezpečnost byly vyvinuty systémy bezpečnostního řídicího ústrojí, které zahrnují tři prvky. První prvek má zachytit náraz trupu a pokud možno ho rozložit do co největší plochy, druhý má postupně pohlcovat kinetickou energii vyvolanou tělem řidiče, který je při nárazu vržen proti věnci a středu volantu. Třetí prvek má znemožnit nebezpečně velký průnik řídicího ústrojí do prostoru řidiče při čelním nebo šikmém nárazu.

U prvního prvku je základem pružné polštářování středu volantu, nebo je střed volantu níže než střed věnce, v tom případě funkci bezpečnostního prvku přejímají deformovatelná ramena společně s věncem. Věncem volantu má mít povrch z měkkého materiálu, nesmí se zlomit, ale zdeformovat a po nárazu se má sklopit tak, aby působil co největší plochou proti hrudníku řidiče.

Druhý prvek bezprostředně navazuje na první (je umístěn pod středem volantu) a má vyšší tuhost. Druhého prvku je dosaženo použitím deformačních členů ve tvaru misky, měchu, mřížkovaného válce nebo je docílen vhodným uložením horní části hřídele volantu.

Třetí bezpečnostní prvek souvisí s konstrukcí hřídele volantu. Využívá se principu zkracování jeho délky nebo jeho dělení. K tomuto účelu se používá například lomená hřídel řízení nebo se používají bezpečnostní hřídele s deformačními členy, které při nárazu umožňují naprosto nezávislé pohyby obou částí hřídele. [2]

Legislativa související s bezpečností interiéru vozidla

- Předpis EHK/OSN č. 12 – Ochrana řidiče při nárazu na mechanismus řízení
- Předpis EHK/OSN č. 21 – Vnitřní vybavení (výčnělky) vozidel
- Směrnice EHS/ES č. 74/60; 78/632; 2000/4 d) – Bezpečnost interiéru vozidel
- Směrnice EHS/ES č. 74/297; 91/662 – Bezpečnost při nárazu na řízení
- Norma ISO 6487:1987 – Měřicí technika a zařízení při nárazových zkouškách [3]

2.3.5. Deformační zóny

Jedná se o bezpečnostní struktury karosérie, umístěné nejčastěji v přídi a zádi vozidel. Jsou navrženy tak, aby při nárazu pohlcovaly jeho energii a tím snížily míru

poranění cestujících ve vozidle. Nejvyšší účinnosti se dosahuje vhodným navržením jejich profilu a tvaru pomocí počítačových simulací. Výsledek simulací se ověřuje nárazovými testy. [24]

Bezpečnostní struktury karoserie stanovují schopnost vozidla ochránit posádku před poraněním. Požadavky na bezpečnostní struktury:

1. Opatření pro transformaci kinetické energie vozidla na deformační práci struktury při udržení jisté úrovně velikosti zrychlení.
2. Udržet v jistých tolerancích kontaktní síly působící na posádku.
3. Zajistit prostor pro přežití.
4. V průběhu havárie udržet posádku uvnitř vozidla, tím se minimalizuje možnost vypadnutí z vozidla.
5. Chránit posádku před sekundárními poraněními, např. vlivem požáru.

První požadavek je předmětem zájmu konstruktérů struktury karosérie z hlediska elementů, které pohlcují hlavní část deformační práce. Zejména se jedná o přední a zadní náraz části karosérie do pevné nebo pohyblivé překážky. U boční struktury je umožňováno jen malé množství absorpce energie, protože potřebná deformační délka je malá. Hlavní nosnou strukturou jsou podélné nosníky, protože během nárazu je jejich deformace daleko vyšší než u jiných členů, jako příčných nosníků nebo podlahových panelů. Splnění druhého až čtvrtého požadavku je zajišťováno experimentálně statickými a dynamickými testy a je dáno pevnostními vlastnostmi skeletu. Pátý požadavek je předmětem zkoušek, například podle metodik EHK. [4]

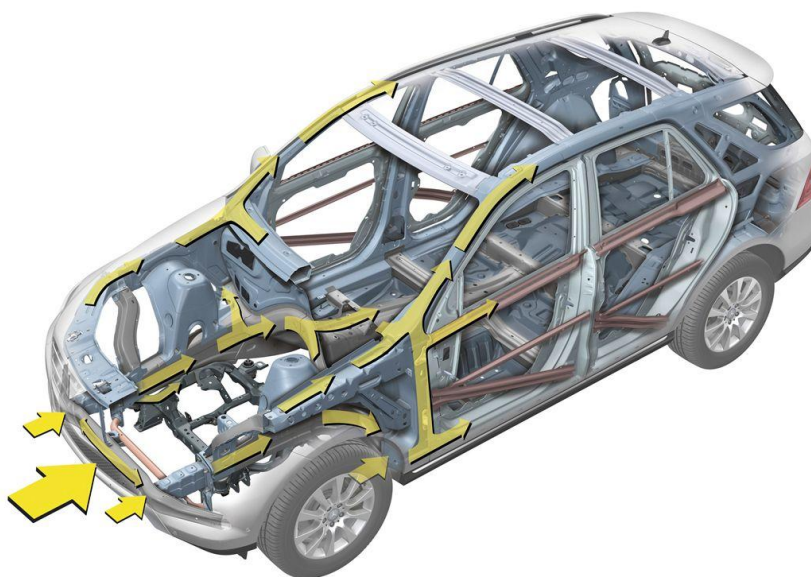
Při nárazu vozidla se jako první začíná deformovat nárazník a až poté dojde ke zborcení struktury podélníků. Nárazník absorbuje pouze část deformační energie, přesný podíl závisí na konstrukci, vlastnostech a uchycení nárazníku a uvádí se od 1 % do 15 %. Síly deformující nárazník musí být z důvodu pořadí deformace struktur přenášeny podélníky, v kterých nesmí nastat deformace. V úvahách o deformačních strukturách je také nutno zahrnout i vliv motoru a hnacího ústrojí. Motor musí být zavěšen tak, aby nedošlo k jeho vniknutí do vnitřního prostoru karosérie. Toho se docílí speciálním zavěšením, které při nárazu usměrní pohyb motoru pod podlahu vozidla.

Po deformaci nárazníku musí zbylou část nárazové energie pohltit podélníky a nosné struktury karosérie. Vzhledem k tomu, že nejčastějším druhem kolize je čelní

srážka, je vývoj zaměřen zejména na čelní strukturu vozidla. Příklad má mít progresivní průběh se čtyřmi stupni:

1. stupeň – ochrana při nízkých rychlostech, např. při najetí na patník
2. stupeň – kompatibilita – ochrana spoluúčastníků nehody
3. stupeň – vlastní ochrana – ochrana vlastních cestujících
4. stupeň – prostor pro přežití [4], [5]

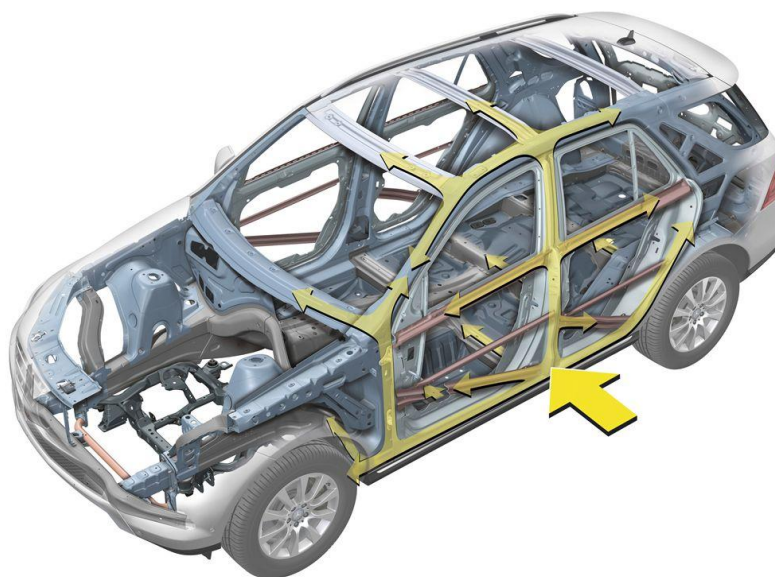
Obr. 13 Rozložení sil do deformační zóny při čelním nárazu



Zdroj: [25]

Tohoto průběhu je možné docílit pomocí prvků, které se při čelním nárazu zlomí nebo prolomí. Čelní struktura je nejčastěji tvořena dvěma podélnými nosníky, které jsou zatěžovány po směru podélné osy vozidla. Zadní struktura vozidla je dimenzovaná na menší síly, protože absorbovaná energie je vzhledem k nižší kolizní rychlosti menší. U automobilů s motorem vpředu se volí menší tuhost zadní struktury, protože je pro deformaci k dispozici celá zadní struktura. U přední a zadní deformační struktury je deformační zóna 300 až 800 milimetrů, zatímco u boční struktury je deformační zóna 100 až 150 milimetrů. Boční struktura je tvořena převážně prahy a nosníky dveří, které jsou namáhány ve směru příčné osy vozidla, tedy na ohyb. Tento druh namáhání umožňuje mnohem menší absorpci energie než u stlačování nosníků přední nebo zadní struktury. Pro zvýšení boční tuhosti je vhodné použít příčné traverzy ve střeše a v podlaze vozidla. [5]

Obr. 14 Rozložení sil do deformační zóny při bočním nárazu

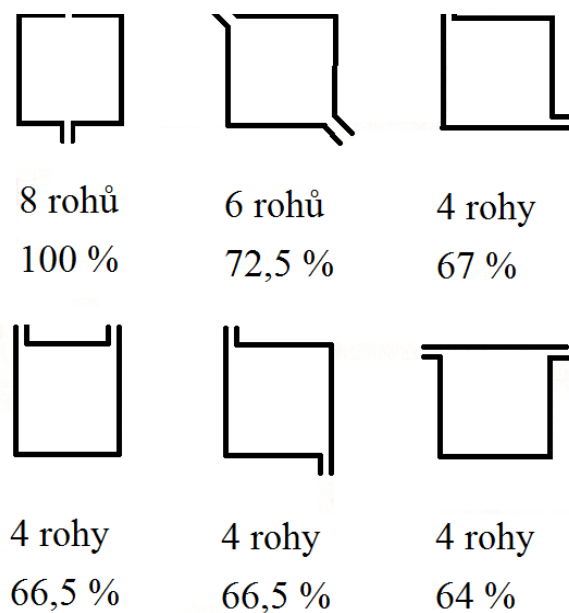


Zdroj: [25]

Parametry ovlivňující deformační vlastnosti podélníků

Uzavřené ocelové podélníky vykazují tím vyšší pevnost, čím více rohů vzniklých při svařování jejich částí mají (viz. obr. 15). Jak je vidět z tohoto obrázku, tak pro obdélníkový profil, který má 8 rohů, je nejvýhodnější svaření lemu umístěných ve středech protilehlých stěn. Nejméně únosné řešení je, když se otevřený profil uzavře rovinnou stěnou, tento profil má 4 rohy a dosahuje pouze 64% únosnosti oproti profilu s osmi rohy. Statická síla klesá s rostoucím poměrem rozměrů profilu. Má-li čtverec o poměru stran 1:1 únosnost 100 %, pak obdélník s poměrem stran 6:1 má únosnost pouze 30 %. Statická síla také roste, a to s rostoucí silou plechu nosníku, například u čtvercového profilu s osmi rohy tato roste exponenciálně s koeficientem 1,7.

Obr. 15 Zobrazení nosníků v řezu, s jejich pevností vztahující se na nosník s osmi rohy



Zdroj: [4]

Při dynamickém zatěžování, při rychlosti deformace 50 km/h a při zdeformování struktury na 50 % své původní délky vykazují profily nárůst dynamické síly proti síle statické. U čtvercového profilu s osmi rohy je koeficient nárůstu 1,67. Uspořádání profilu se čtyřmi rohy má koeficient nárůstu této síly od 1,72 do 2,02, z toho vyplývá, že nosník s osmi rohy je opět výhodnější. Síla plechu nemá výrazný vliv na nárůst dynamické síly, protože ta roste se statickou silou. [4]

Vzpěr dlouhých přímých nosníků s následným ohybem

Při vzpěru dlouhých štíhlých nosníků rozeznáváme podle způsobu uložení jejich konců čtyři případy vzpěru. Při zatížení nosníku osovou silou $F < F_{krit}$ se nosník stlačuje. Při dosažení kritické síly začne nosník vybočovat ve směru své nejmenší tuhosti, u nosníků se symetrickým průřezem je vybočení určeno geometrickými nepřesnostmi a materiálovou nehomogenitou. Pro výpočet kritické síly v elastické oblasti platí vztah:

$$F_{krit.} = n * \pi^2 * \frac{E * J_{min}}{l^2} [N]$$

n ...koeficient závislý na typu vzpěru

E ...modul pružnosti v tahu [Pa]

J_{min} ...minimální kvadratický moment průřezu

l ...délka nosníku [m]

V oblasti plastické deformace se pro výpočet kritické síly musí zavést redukovaný modul pružnosti v tahu, který se spočítá:

$$E_{red} = \frac{4 * E_p * E}{(\sqrt{E_p} + \sqrt{E})^2} [Pa]$$

E_p ...tečný modul pružnosti v tahu [Pa]

Kritická síla se určí ze vztahu:

$$F_{krit.} = n * \pi^2 * \frac{E_{red} * J_{min}}{l^2} [N] \quad [4]$$

Vzpěr rovinných desek a přímých nosníků obdélníkového průřezu

Samotný vzpěr rovinných desek, které na vozidle představují například povrchové plechy, není příliš zajímavý, protože při absorpci energie mají minimální vliv. Ovšem při

vzpěru tenkostěnných obdélníkových průřezů můžeme jejich jednotlivé rovinné stěny považovat za vzpírané desky. Tyto nosníky jsou tvořeny čtyřmi deskami. Pro pohlcení maximálního množství energie je nutné, aby se nosník deformoval axiálním zvlněním, nikoliv ohybem. Toho lze dosáhnout u elastoplastického materiálu tím, že poměr stran nosníku bude vyšší než 0,65. [4]

Ohyb tenkostěnných nosníků

Ohyb nosníku závisí převážně na jeho průřezu, tvaru tvořící křivky, podle které je profil tažen, na směru vnějších zatížení vzhledem k základnímu souřadnému systému spojenému s nosníkem a na jeho materiálu. Vznik plastického kloubu a typické příklady chování ohýbaného profilu se nejčastěji demonstrují na namáhání U-profilu silami různých směrů a přitom se uvažuje elastoplastický materiál.

Ohyb vetknutého tenkostěnného U-profilu, kdy vnější síla působí dovnitř profilu, má maximální ohybový moment v patě nosníku. Se zvyšující se silou, po dosažení meze kluzu, bude nosník v určité výšce přecházet z elastického stavu do stavu elastoplastického a v oblasti paty nosníku bude dosaženo stavu plasticity. U profilů otevřených ve směru působení síly, vlivem tlakových sil v pásnicích, dojde nad vetknutím ke ztrátě vzpěrné stability a v tomto místě se vytvoří plastický kloub. Převážná část deformační energie se pohlcuje požadovaným vlněním pásnic, které pro velké deformace ve směru osy vyvolávají harmonickou deformaci. Po vytvoření plastického kloubu má deformační charakteristika klesající charakter. [4]

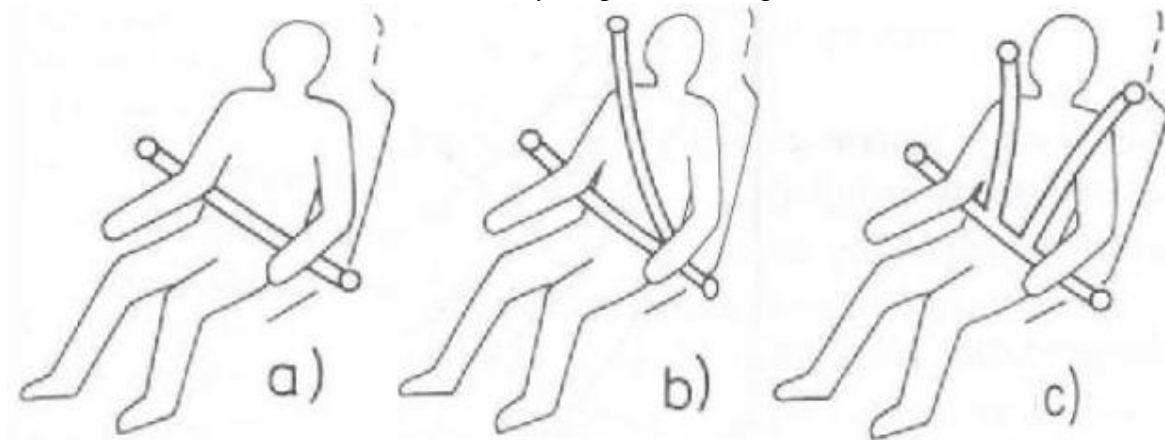
3. Zhodnocení a porovnání současných prvků pasivní bezpečnosti

Tato kapitola je věnována pouze bezpečnostním pásům, protože se, vedle airbagů a deformačních zón, řadí mezi nejdůležitější prvky pasivní bezpečnosti ve vozidle.

3.1. Rozdělení bezpečnostních pásů

Bezpečnostní pásy patří mezi zádržné systémy vozidla. Jejich základní funkcí je pohlcení části kinetické energie osob při nárazu vozidla. Jsou rozeznávány tři typy pásů: A – tříbodový, B – břišní a S – speciální. Tyto skupiny mohou být buď s navíječem – r nebo s navíječem a předepínačem – re. Nejvíce používané pásy jsou tříbodové, břišní (dvoubodové) pásy se používají v automobilech méně a speciální (nejčastěji čtyřbodové) se používají převážně v závodních a sportovních automobilech. [3], [5]

Obr. 16 Druhy bezpečnostních pásů



a – břišní (dvoubodový), b – tříbodový, c – speciální (čtyřbodový)

Zdroj: [5]

3.2. Součásti bezpečnostních pásů

Následující součásti pomáhají zvyšovat funkci a účinnost bezpečnostních pásů a snižují tak riziko poranění posádky.

3.2.1. Navíječe bezpečnostních pásů

Samonavíjecí bezpečnostní pásy zamezují volnému pohybu těla při jízdě a automaticky přizpůsobují svou délku tělesným rozměrům cestujících. Pás je veden do navíjecí cívky, která vtahuje pás zpět pod pružným napětím a při nárazech se cívka s pásem zablokuje. Blokovací zařízení může být uvedeno v činnost dvěma ději. První děj je rychlé vytáhnutí pásu, kdy se blokovací zařízení uvede v činnost setrvačným kolem na ose cívky. Druhý děj je zrychlení při nárazu vozidla v libovolném směru a blokovací zařízení se uvede v činnost vychýlením kyvadla. Podle požadavků EHP musí být blokovací zařízení uvedeno do činnosti při rychlém vytažení se zrychlením $0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ a při zrychlení vozidla u nárazu se zrychlením $0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. [5]

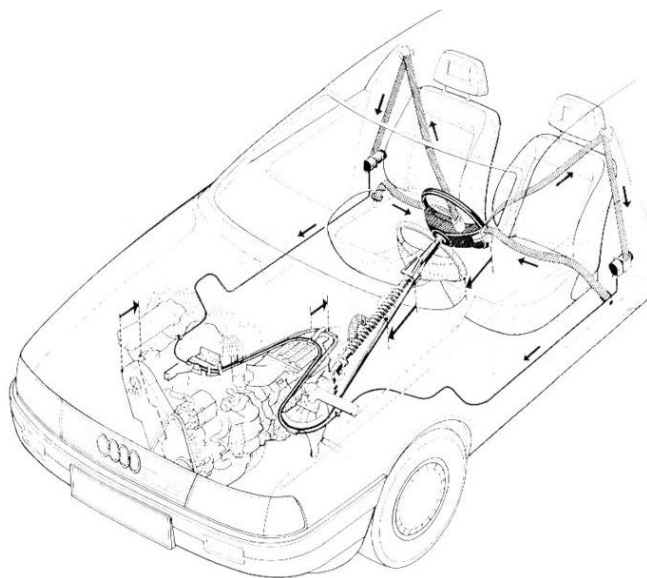
3.2.2. Napínače bezpečnostních pásů

Napínače pásů mají za úkol těsně přitáhnout pás k tělu připoutané osoby a tím zabránit velkému dopřednému zrychlení těla. Jejich plné účinnosti se dosáhne při nárazu 50 km/h do 20 milisekund po začátku kolize. Po nárazu čidla aktivují toto zařízení, čímž bude vůle v pásech nulová, pás se navine a předepne silou 3 až 5 kN za 0,008 – 0,012 vteřiny. Vedle napínačů hrudní větve existují i napínače břišní větve, které táhnou pásek bezpečnostního pásu dozadu. Napnutí pasu probíhá u obou systémů ve stejném čase. Napínací zařízení může být buď mechanické nebo pyrotechnické.

U mechanických napínačů zámků bezpečnostních pásů je předepjatá pružina, která přes bovden a zpětnou západku zatáhne zámek zpět až o 80 milimetrů. Automobilka Audi vyvinula systém

napínání pásů Proco-ten. Při nárazu se motor posune dozadu, tím napne soustavu ocelových lanek a přitáhne volant dopředu z dosahu řidičova těla a vtáhne zpět oba samonavíjecí pásy na předních sedadlech.

Obr. 17 Schéma systému Proco-ten

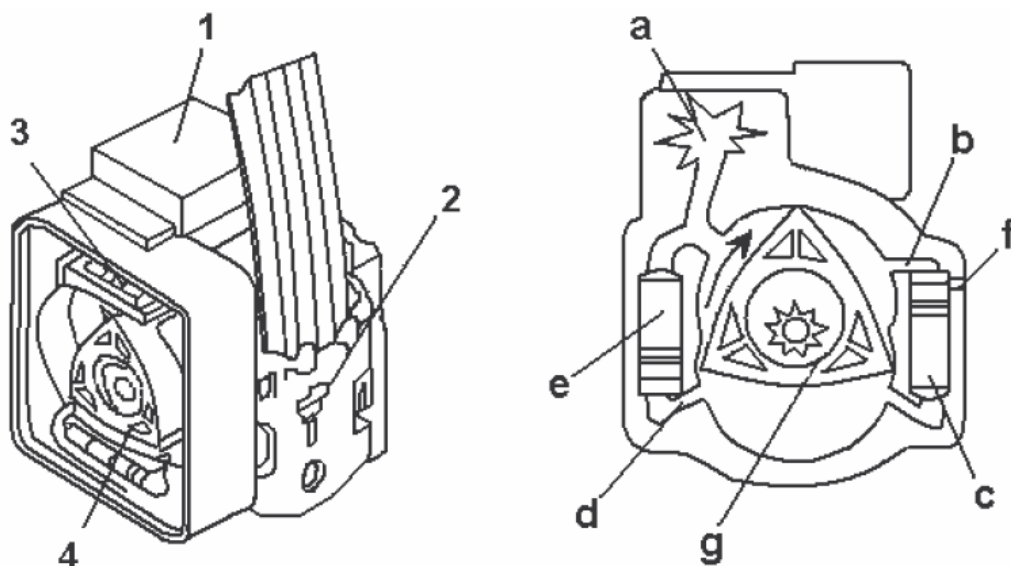


Zdroj: [5]

Při aktivaci pyrotechnických napínačů se elektronicky odpálí pyrotechnická nálož, tlak plynu začne působit na lanko spojené pyrotechnickým pístem s navíjecí cívkou bezpečnostního pásu a tím se pás napne. U napínače zámku bezpečnostního pásu tlak plynu působí na píst, který pomocí lanka táhne zpět zámek. U jiného systému uvede expandující plyn do pohybu ocelové kuličky, které zapadají do ozubení cívky navíječe, cívku roztočí a navinou na ni bezpečnostní pás.

Automobilka Volkswagen zkonstruovala napínače, kde je potřebná síla vyvinuta soustavou plynových generátorů. U tohoto systému se bezpečnostní pásy napnou, když vozidlo během 10 milisekund dosáhne zpoždění $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Napínač pracuje na principu rotačního pístu se třemi komorami a třemi plynovými zásobníky. Nejprve dojde k mechanickému zapálení prvního generátoru pomocí nárazového zapalovače, plyn expanduje a uvede do pohybu rotační píst. Při dosažení prvního přepouštěcího kanálu se pomocí stávajícího pracovního tlaku zapálí druhý plynový generátor. Tlak plynu dále pootočí pístem a po dosažení druhého přepouštěcího kanálu se celé zapálení opakuje zažehnutím třetího plynového generátoru. Dojde k dalšímu pootočení pístu, tím se dostane do dolní úvrati a dojde k napnutí pásů. Celý tento děj trvá 13 milisekund. [5]

Obr. 18 Pyrotechnický napínač bezpečnostních pásů



1 – mechanický spouštěč, 2 – navíjecí mechanismus, 3 – první plynový generátor, 4 – rotační píst, a – zapálení prvního plynového generátoru, b – první přepouštěcí kanál, c – druhý plynový generátor, d – druhý přepouštěcí kanál, e – třetí plynový generátor, f – vypouštěcí kanál, g – rotační píst

Zdroj: [5]

3.2.3. Omezovače síly bezpečnostních pásů

Omezovače síly se v bezpečnostních pásech používají, protože je z biomechanického hlediska žádoucí, aby síla v pásech nepřekročila určitou hodnotu. Omezení zádržné síly je možné třemi způsoby:

- plastickou deformací (výměnná torzní tyčka)
- suchým třením (třecí obložení)
- destrukcí pásu (trhací šev v pásu) [5]

3.3. Historie bezpečnostních pásů

Jako první přišel s myšlenkou bezpečnostního pásu britský vynálezce Georgie Cayley už v první polovině 19. století. V roce 1903 se jeho myšlenky ujal Louis Renault, spoluzakladatel stejnojmenné automobilky, a vynalezl pětibodový bezpečnostní pás. Poprvé byly bezpečnostní pásy použity v roce 1913 v letectví. V automobilu byly pásy poprvé představeny v americkém voze Tucker Sedan v roce 1948 a v roce 1955 je automobilka Ford nabízela jako příplatkovou výbavu. Vývojem bezpečnostních pásů se v padesátých letech dvacátého století začala zabývat také automobilka Volvo. Výsledkem jejich výzkumu byl dvoubodový diagonální pás, kterým standardně vybavovala své vozy od roku 1957. Tento pás ale nesplnil bezpečnostní očekávání, které jeho konstruktéři slibovali. Průlom nastal v roce 1959, kdy bezpečnostní konstruktér Volva Nils Bohlin vynalezl třibodový bezpečnostní pás, takový, jaký ho známe dnes. V tomto roce ho také automobilka Volvo zavedla jako standardní výbavu do svých modelů PV544 a Amazon. Tento pás si nechala automobilka patentovat v roce 1958 a poskytla ho všem výrobcům automobilů. Na základě tohoto bezpečnostního pásu byly vyvinuty i speciální pásy. Nils Bohlin byl v roce 1999 uveden do Automobilové

Obr. 19 *Dvoubodový diagonální bezpečnostní pás*



Zdroj: [27]

síně slávy a Německý patentový úřad v roce 1985 jeho vynález zařadil mezi osm největších vynálezů dvacátého století. [26], [27], [28]

Povinné používání bezpečnostních pásů zavedla jako první Austrálie. V Československu byla zavedena povinnost poutat se v roce 1967 na sedadlech, která byla vybavena pásy. Nejprve bylo povinné poutat se na předních sedadlech mimo obec, to se změnilo v roce 1976, kdy se musela připoutat celá posádka. Od 1. ledna 1990 jsou bezpečnostní pásy povinné i při jízdě v obci. [28]

3.4. Statistika používání bezpečnostních pásů

Podle průzkumu společnosti BESIP používá bezpečnostní pásy asi 81 % všech řidičů. Jak je vidět z tabulky 1, tak nepřipoutaných osob ve vozidlech umírá méně. V roce 2010 to bylo konkrétně o 80 řidičů a o 34 spolujezdců na předních sedadlech méně. Je ovšem nutné brát v potaz, že bezpečnostní pásy nepoužívá jedna pětina všech řidičů, u spolujezdců je to vyšší číslo. Po této úvaze dojdeme k závěru, že nepřipoutaní řidiči umírají až třikrát častěji než řidiči používající bezpečnostní pásy. [29], [30]

Tab. 1 *Počty usmrčených a zraněných osob ve vozidlech (2010)*

	Připoutání	Nepřipoutání
Řidič		
Usmrceno	157	77
Těžce zraněno	487	105
Lehce zraněno	6497	484
Spolujezdec na předním sedadle		
Usmrceno	157	16
Těžce zraněno	487	39
Lehce zraněno	6497	217
Spolujezdec na zadním sedadle		
Usmrceno	157	16
Těžce zraněno	487	51
Lehce zraněno	6497	205

Zdroj: [29]

3.5. Legislativa související s bezpečnostními pásy

- Předpis EHK/OSN č. 14 – Kotevní úchyty bezpečnostních pásů
- Předpis EHO/OSN č. 16 Bezpečnostní pásy
- Směrnice EHS/ES č. 76/115; 81/575; 82/318; 90/629; 96/38; 97/2412 – Kotevní úchyty bezpečnostních pásů
- Směrnice EHS/ES č. 77/541; 81/576; 82/319; 90/628; 96/36; 2000/3 – Bezpečnostní pásy
- Norma – ISO/TR 1417:1974 – Kotevní úchyty bezpečnostních pásů
- Norma – ISO/TR 6546:1979 – Bezpečnostní pásy [3]

3.5.1. Zařízení pro zkoušky bezpečnostních pásů

Měřícím místem je laboratoř, která splňuje podmínku možnosti upevnění karoserie nebo části karoserie do dostatečně tuhého a pevného stojanu. Jako zdroj zatěžovací síly lze použít libovolný zdroj tažné síly, který má možnost vyvinout tah do 2500 daN s přesností 8 %. K zavěšení popruhu při zkoušce se používá speciální tažné zařízení. [3]

3.5.2. Metoda zkoušky

Karoserie vozidla nebo její část se umístí na stojan tak, aby při zatěžování horizontální silou nedošlo k jeho posunutí a aby místa kotevních úchytnů nebyla neodpovědně zesílena. Do karoserie se umístí sedadla v poloze odpovídající konstrukci a technickým podmínkám výrobce, stejně tak se rozmístí i kotevní úchyty bezpečnostních pásů.

Pomocí tažného zařízení se působí na kotevní úchyty silou směrem dopředu pod úhlem $10^\circ \pm 5^\circ$ nad horizontální rovinou, rovnoběžně se střední podélnou rovinou vozidla. Plného zatížení musí být dosaženo rychle a zatížení musí působit po dobu nejméně 0,2 sekundy. Síla působí na všechny úchyty současně. Na jednotlivé typy pásů a úchytnů se působí následujícími silami:

1. typy A, Ar, Are – 1350 daN \pm 20 daN
2. typy B, Br, Bre – 2225 daN \pm 20 daN

3. pokud jsou kotevní úchyty umístěny, buď zcela nebo i jen částečně, v nosné konstrukci sedadla, působí se silami podle 1. nebo 2. zvětšenými o dvacetinásobek hmotnosti sedadla [3]

3.5.3. Kritéria hodnocení

Kotevní úchyty se považují za vyhovující, pokud:

- odolají namáhání při zkoušce. Přípustná je trvalá deformace nebo částečné trhliny okolí za podmínky, že síla byla udržena po stanovenou dobu.
- jsou u dvoudvéřových vozidel systémy pro posouvání a blokování, které umožňují výstup ze zadních sedadel, funkční po uvolnění síly. [3]

4. Závěr

Tato bakalářská práce je věnována prvkům pasivní bezpečnosti. Nejprve jsou popsány počátky vývoje pasivní bezpečnosti od prvního testu na živé osobě přes vyvození pravidel pro pasivní bezpečnost až k vytvoření prvních předpisů. Další kapitola je věnována vnějším prvkům pasivní bezpečnosti, které jsou rozděleny na bezpečnost chodců, cyklistů a motocyklistů. Tato kapitola dále pokračuje podkapitolou na téma vnitřních prvků pasivní bezpečnosti, ve které jsou popsány zádržné systémy, ke kterým patří bezpečnostní pásy, airbagy a dětské sedačky. V této kapitole je ještě psáno o sedadlech a opěrkách hlavy, dveřích a jejich zámcích a závěsech, o interiéru vozidla a v poslední podkapitole jsou uvedeny deformační zóny. Bezpečnostní pásy nejsou zmíněny v kapitole zádržné systémy, ale jsou uvedeny ve třetí kapitole, kde je popsáno jejich rozdělení, jejich součásti, jako jsou napínače, navíječe a omezovače síly. Další kapitoly jsou věnovány historii bezpečnostních pásů, statistice jejich používání a legislativě, podle které probíhají jejich zkoušky.

Kvalita systémů pasivní bezpečnosti jde ruku v ruce i s cenou vozidla. Nebyl by problém vyrábět automobily, které by měly po celém interiéru zabudované airbagy nebo by byly vyrobeny z měkčích materiálů kvůli bezpečnosti chodců. Samozřejmě by to byl obrovský přínos pro ochranu lidských životů, ale tyto automobily by si lidé nekupovali pro jejich vysokou cenu a raději by jezdili ve starších, daleko nebezpečnějších vozech. Proto se automobilky snaží udržet kompromis mezi cenou a vybaveností vozu. Tato problematika se netýká pouze pasivní bezpečnosti, ale i prvků aktivní bezpečnosti, kde také všechny automobily nejsou vybaveny všemi prvky aktivní bezpečnosti. Proto v základní výbavě vozidel bývá často omezen počet těchto prvků a bezpečnější automobil získáme za příplatkovou výbavu.

Tak jako v jiných odvětvích, tak i prvky pasivní bezpečnosti se neustále vyvíjejí. Systémy reagují na případný náraz rychleji, jednotlivé prvky jsou účinnější. Tím je zabráněno zbytečným ztrátám na životech a mírnější jsou i následky zranění. I neustálé zdokonalování prvků pasivní bezpečnosti však nedokáže zabránit všem smrtelným nehodám a těžkým zraněním. Některá zranění jsou způsobena například nepoužitím bezpečnostního pásu a ostatní jsou způsobena, řidiči, kteří výrazně překračují pravidla silničního provozu.

Základem pasivní bezpečnosti v automobilech je jejich konstrukce. Je zřejmé, že čím větší bude automobil, tím bude mít větší deformační zóny než menší vozidlo a tím se z něj stává i bezpečnější automobil. Je to dáno tím, že větší deformační zóny jsou schopny pohltit více nárazové energie. Vhodná konstrukce karoserie slouží také k ochraně chodců a jiných účastníků silničního provozu. Z tohoto pohledu je žádoucí, aby všechna potenciální místa střetu vozidla s těmito účastníky, byla z měkkých materiálů a aby jednotlivé díly karoserie neměly ostré hrany a příliš nebezpečné výčnělky. Velký pokrok v ochraně chodců nastal se zavedením aktivní kapoty a vnějších airbagů. Dále je z konstrukčního hlediska nutné posádce vozidla zajistit při srážce prostor pro přežití. Velice důležitá je konstrukce dveří a jejich uchycení do karoserie pomocí zámků a závěsů, protože na boku automobilu jsou minimální deformační zóny. Cestující na předních sedadlech mohou být při čelní srážce ohroženi motorem, ten musí být zavěšen tak, aby nedošlo k jeho vniknutí do prostoru pro posádku. Pro řidiče je ještě nebezpečné řídicí ústrojí, které mu nesmí způsobit žádná poranění. Pro interiér vozidla platí to, co pro karoserii z pohledu ochrany chodců, tedy že má být z měkkých materiálů a všechny hrany musí být zaoblené.

Důležitou součástí vozidel jsou zádržné systémy a jejich vzájemné používání. To je myšleno tak, že připoutaný člověk je více v bezpečí jestliže se při nárazu aktivují airbasy. Nepřipoutaný člověk ve voze s evropským typem airbagu si zahrává se životem daleko více, než nepřipoutaný člověk ve voze bez airbagu. U amerického typu airbagu se nepředpokládá použití bezpečnostního pásu, proto se velikost a doba naplnění od toho evropského liší. Také se předpokládá vzájemné použití bezpečnostních pásů a některých dětských sedaček. Ostatní dětské sedačky musí být zkonstruovány tak, aby se daly přichytit pomocí systému ISOFIX. Zavedení systému ISOFIX bylo velkým přínosem v ochraně dětí, protože se z něj staly celosvětově normované úchyty. Tím odpadly problémy s různými systémy pro uchycení dětských sedaček, které nebyly tak pevné jako tento systém.

Seznam použité literatury

- [1] KOVANDA, Jan a Vladimír ŠATOCHIN. *Pasivní bezpečnost vozidel*. 1. vydání. Praha: ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02235-8.
- [2] VLK, František. *Karosérie motorových vozidel*. 1. vydání. Brno:VLK, 2000. ISBN 80-238-5277-9.
- [3] FIRST, Jiří. *Zkoušení automobilů a motocyklů: Příručka pro konstruktéry*. 1. vydání. Praha: S&T CZ s.r.o., 2008. ISBN 978-80-254-1805-5.
- [4] KOVANDA, Jan. *Konstrukce automobilů: Pasivní bezpečnost*. 1. vydání. Praha: ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01459-2.
- [5] VLK, František. *Stavba motorových vozidel*. 1. vydání. Brno:VLK, 2003. ISBN 80-238-8757-2.
- [6] ČECH, Jiří. Pasivní bezpečnost. [online]. [cit. 2011-12-1]. Dostupné z: <http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=419>
- [7] KOLOŠ, Petr. Nárazové testy se zaměří na ochranu chodců. [online]. [cit. 2011-12-23]. Dostupné z: http://www.rozhlas.cz/motozurnal/bezpecnost/_zprava/narazove-testy-se-zameri-na-ochranu-chodcu--976311
- [8] SAJDL, Jan. PPDB (Pyrotechnic Pedestrian Deployable Bonnet). [online]. [cit. 2012-01-08]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/ppdb-pyrotechnic-pedestrian-deployable-bonnet/>
- [9] SAJDL, Jan. Aktivní kapota (Pop-up Bonnet). [online]. [cit. 2012-01-08]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/pop-up-bonnet-aktivni-kapota/>
- [10] OLIVÍK, Pavel. Aktivní kapota: měkčí dopad pro chodce. [online]. [cit. 2012-01-10]. Dostupné z: http://www.autorevue.cz/aktivni-kapota-mekci-dopad-pro-chodce_1
- [11] SAJDL, Jan, Airbag. [online]. [cit. 2012-01-10]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/airbag/>
- [12] Automobilky začínají myslet i na chodce. [online]. [cit. 2012-01-10]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/automoto.aspx?r=automoto&c=A020313_154101_automoto_lci
- [13] Crash testy: auta proti motocyklům. [online]. [cit. 2012-01-25]. Dostupné z: <http://www.motoforum.cz/nezarazeno/crash-testy-auta-proti-motocyklum>
- [14] PAVLŮŠEK, Ondřej, Airbag a Volvo již 20 let spolu. [online]. [cit. 2012-02-08]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/airbag-a-volvo-jiz-dvacet-let-spolu-11184>

- [15] Renault Latitude: seznam výbavy. [online]. [cit. 2012-02-08]. Dostupné z:
<http://www.renault.cz/nove-vozy/osobni-vozy/latitude/latitude/vybava/vybava/index.jsp>
- [16] SAJDL, Jan, Kolenní airbag. [online]. [cit. 2012-02-09]. Dostupné z:
<http://cs.autolexicon.net/articles/kolenni-airbag/>
- [17] JUNGSMANN, Aleš, GM představuje centrální airbag: Boční airbag trochu jinak. [online]. [cit. 2012-02-09]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/gm-airbag-centralni-62066>
- [18] LÁNÍK, Ondřej. Toyota vyvinula středový airbag pro zadní sedadla. [online]. [cit. 2012-02-09]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/toyota-airbag-vyvinula-stredovy-zadni-sedadla-5214>
- [19] Toyota iQ má nový airbag pro náraz ze zadu. [online]. [cit. 2012-02-09]. Dostupné z:
<http://www.auto.cz/toyota-airbag-iq-ma-novy-naraz-zezadu-6484>
- [20] VAVERKA, Lukáš. Ford: Airbag v bezpečnostním pásu zlepšil ochranu cestujících na zadních sedadlech. [online]. [cit. 2012-02-10]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/ford-pas-airbag-3400>
- [21] LÁNÍK, Ondřej. Autoliv dodává první airbag pracující při čelním nárazu pro cestující vzadu. [online]. [cit. 2012-02-10]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/autoliv-dodava-prvni-airbag-pracujici-pri-celnim-narazu-pro-cestujici-vzadu-13031>
- [22] ISOFIX. [online]. [cit. 2012-02-10]. Dostupné z:
http://www.bmw.cz/cz/cs/insights/technology/technology_guide/articles/isofix.html
- [23] SAJDL, Jan, Aktivní opěrka hlavy. [online]. [cit. 2012-02-12]. Dostupné z:
<http://cs.autolexicon.net/articles/aktivni-operka-hlavy/>
- [24] ZELINKA, Petr, Deformační zóna. [online]. [cit. 2012-02-12]. Dostupné z:
<http://news.autoroad.cz/nezarazeno/8674-asdf/>
- [25] Bezpečná třída M. [online]. [cit. 2012-03-03]. Dostupné z:
<http://www.pressinfo.cz/bezpecna-trida-m.html>
- [26] KOLINA, Josef, Každý desátý řidič je nepřipoutaný, nejčastěji majitel drahého vozu. [online]. [cit. 2012-03-17]. http://www.lidovky.cz/kazdy-desaty-ridic-jezdi-nepripoutany-nejcasteji-majitel-draheho-vozu-1my-/ln_domov.asp?c=A101017_170120_ln_domov_tsh
- [27] Volvo – 50 let bezpečnostního pásu. [online]. [cit. 2012-03-17]. Dostupné z:
<http://www.autokaleidoskop.cz/Historie/Volvo-padesat-let-bezpecnostniho-pasu/>

- [28] DVORŽÁK, František, Zachránil víc než milion lidí, připoutal je. [online]. [cit. 2012-03-17]. http://auto.idnes.cz/zachranil-vic-nez-milion-lidi-pripoutal-je-fjn-automoto.aspx?c=A090130_135736_automoto_fdv
- [29] Policie ČR, Statistika nehodovosti. [online]. [cit. 2012-03-19]. <http://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-900835.aspx?q=Y2hudW09Mw%3d%3d>
- [30] Používání bezpečnostních pásů v Česku - postoje. [online]. [cit. 2012-03-03]. <http://www.ibesip.cz/image.aspx?id=128&typ=5&sh=1153347665&title=&il=1>

Seznam použitých obrázků

- Obr. 1 Faktory ovlivňující bezpečnost chodců [2]
- Obr. 2 Umístění airbagů pro chodce na vozidle [9]
- Obr. 3 Princip airbagu v řezu [9]
- Obr. 4 Umístění čelních, bočních a okenních airbagů [15]
- Obr. 5 Kolenní airbag [16]
- Obr. 6 Centrální airbag [17]
- Obr. 7 Středový airbag [18]
- Obr. 8 Hlavový airbag [19]
- Obr. 9 Airbag v bezpečnostním pásu [20]
- Obr. 10 Airbag v zadních sedadlech [21]
- Obr. 11 Úchyty ISOFIX na zadním sedadle [22]
- Obr. 12 Aktivní opěrka hlavy firmy Johnson Controls [23]
- Obr. 13 Rozložení sil do deformační zóny při čelním nárazu [25]
- Obr. 14 Rozložení sil do deformační zóny při bočním nárazu [25]
- Obr. 15 Zobrazení nosníků v řezu s jejich pevností vztahující se na nosník s osmi rohy [4]
- Obr. 16 Druhy bezpečnostních pásů [5]
- Obr. 17 Schéma systému Proco-ten [5]
- Obr. 18 Pyrotechnický napínač bezpečnostních pásů [5]
- Obr. 19 Dvoubodový diagonální bezpečnostní pás [27]