

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra jakosti a spolehlivosti strojů**



**Analýza a vliv pasivních prvků na bezpečnost  
provozu osobních automobilů**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Vypracoval: Bc. Jiří Hájek

© 2019 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jiří Hájek

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Analýza a vliv pasivních prvků na bezpečnost provozu osobních automobilů**

Název anglicky

**Analysis and influence of passive elements on the safety of passenger cars**

---

### Cíle práce

Cílem diplomové práce je analýza prvků pasivní bezpečnosti silničních vozidel, hodnocení vozidel podle Euro NCAP. Práce bude zaměřena na simulaci funkce vybraného prvku pasivní bezpečnosti.

### Metodika

- 1) Úvod
- 2) Rozbor současného stavu (prvky aktivní a pasivní bezpečnosti, Euro NCAP)
- 3) Cíl práce
- 4) Metodika práce
- 5) Výsledky (simulace vybraného prvku pasivní bezpečnosti)
- 6) Závěr

**Doporučený rozsah práce**

50-60

**Klíčová slova**

pasivní bezpečnost, vozidlo, simulace

---

**Doporučené zdroje informací**

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. TECHNICKÁ FAKULTA, – KOVANDA, J. – MÍK, J. *Pasivní bezpečnost vozidel a vliv informačních technologií : doktorská disertační práce*. Disertační práce. Praha: 2015.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. DOPRAVNÍ FAKULTA, – ŠATOCHIN, V. – KOVANDA, J. *Pasivní bezpečnost vozidel*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02235-8.

KOVANDA, J. *Konstrukce automobilů : pasivní bezpečnost*. Praha: ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01459-2.

Předpisy, normy a periodika.

VLK, F. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel : výkon vozidla, brzdné vlastnosti, převodová ústrojí, řízení, geometrie kol, tlumiče a pružiny, říditelnost a ovladatelnost, životnostní zkoušky, motor, zapalování, elektronické systémy*. Brno: Vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2018/19 LS – TF

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

---

Elektronicky schváleno dne 18. 12. 2017

**doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2018

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 26. 11. 2018

## Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci na téma: **Analýza a vliv pasivních prvků na bezpečnost provozu osobních automobilů** vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne 31.3.2019 \_\_\_\_\_

## **Poděkování**

Rád bych zde poděkoval doc. Ing. Martinu Pexovi, Ph.D. za odborné vedení a užitečné informace, které jsou v diplomové práci zúročeny. Dále Ing. Martinu Kotkovi, Ph.D. za ochotu a praktické zkušenosti při simulačním měření airbagů na pracovišti školy. Děkuji rovněž své rodině, která mě při psaní diplomové práce maximálně podporovala.

# **Analýza a vliv pasivních prvků na bezpečnost provozu osobních automobilů**

## **Souhrn**

Diplomová práce pojednává převážně o prvcích pasivní bezpečnosti v oblasti automobilového průmyslu, které mají zásadní vliv na bezpečnost silničního provozu. V první části práce se nachází rozbor současného stavu aktivní a pasivní bezpečnosti vozidel společně s hodnocením míry bezpečnosti podle Euro NCAPu. Samostatná kapitola je věnována hodnocení čelních airbagů z hlediska jejich funkce. Funkce byla ověřena experimentem na pracovišti školy. Jedná se o airbasy, které jsou starší více než 15 let, tudíž by podle většiny výrobců měly být nahrazeny novými. Součástí této kapitoly je vyhodnocení naměřených hodnot, které byly pořízeny pomocí rychlokamery při simulačním měření. V poslední části práce jsou znázorněny rychlosti, časy a doby reakce jednotlivých airbagů.

**Klíčová slova:** pasivní bezpečnost, vozidlo, simulace

# **Analysis and influence of passive elements on the safety of passenger cars**

## **Summary**

The diploma thesis deals mainly with the elements of passive safety in the automotive industry, which have a major influence on road safety. The first part of the thesis analyzes the current state of active and passive safety of vehicles together with Euro NCAP safety assessment. A separate chapter is devoted to the assessment of front airbags in terms of their function. The function was verified by an experiment at the school workplace. These airbags are more than 15 years old and should therefore be replaced by new ones, according to most manufacturers. Part of this chapter is the evaluation of measured values that were taken using a speed camera during a simulation measurement. The last part of the work shows the speeds, times and reaction times of individual airbags.

**Keywords:** passive safety, vehicle, simulation

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Rozbor současného stavu</b> .....	<b>3</b>
2.1 Aktivní bezpečnost .....	5
2.1.1 Asistenční systémy podporující vozidlo.....	6
2.1.2 Asistenční systémy podporující řidiče.....	6
2.2 Pasivní bezpečnost.....	6
2.2.1 Vnější pasivní bezpečnost .....	13
2.2.2 Vnitřní pasivní bezpečnost .....	20
<b>3 Cíl práce</b> .....	<b>36</b>
<b>4 Metodika práce</b> .....	<b>37</b>
<b>5 Experiment</b> .....	<b>39</b>
<b>6 Výsledky</b> .....	<b>47</b>
6.1 Airbag číslo 1 – volantový Felicia.....	48
6.2 Airbag číslo 2 – volantový Felicia.....	51
6.3 Airbag číslo 3 – volantový Felicia.....	54
6.4 Airbag číslo 4 – spolujezdcův Felicia .....	56
6.5 Airbag číslo 5 – volantový Fabia I .....	60
6.6 Airbag číslo 6 – volantový Octavia I.....	63
6.7 Prodlevy reakcí jednotlivých airbagů .....	66
<b>7 Závěr</b> .....	<b>68</b>
<b>Bibliografie</b> .....	<b>71</b>
<b>Seznam obrázků</b> .....	<b>76</b>
<b>Seznam tabulek</b> .....	<b>78</b>
<b>Seznam grafů</b> .....	<b>79</b>



# 1 Úvod

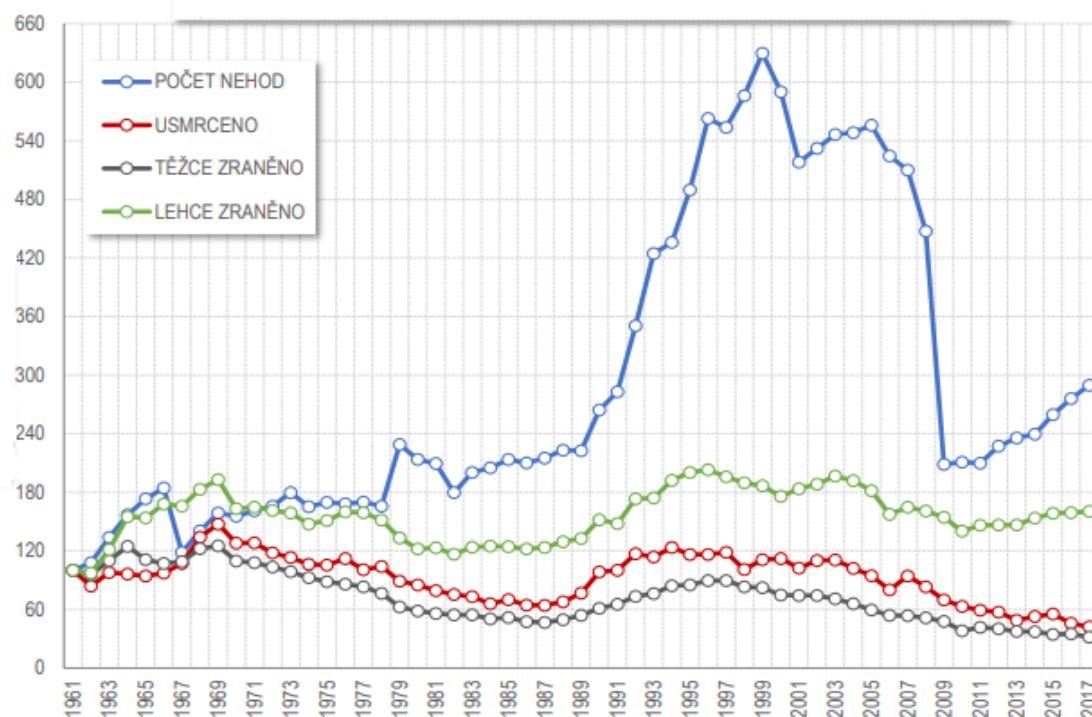
Rozvoj automobilové dopravy přináší jak pozitivní tak i negativní dopady. Pozitiva jsou například možnost rychlého přemístění osob, nákladu či zvířat. Mezi negativa lze zařadit následky dopravních nehod jak hmotných, tak zejména ztráty na lidských životech či trvalé následky na zdraví. Dalším negativem dnes velmi diskutovaným jsou výfukové emise.

Bezpečnost automobilů se zpočátku výroby neřešila z důvodů dosahování nízkých provozních rychlostí a minimálního počtu vozidel. Právě proto byly dopravní nehody velmi ojedinělé, pokud k nim došlo, obešly se bez vážnějších zranění.

Prvotním impulsem pro počátek vývoje bezpečnosti vozidel byla první smrtelná nehoda řidiče Henryho Lindfielda z 12. února roku 1898. Již o dva roky dříve byla zaznamenána nehoda, při níž zemřela chodkyně Angličanka Bridget Driscollová. [1]

Celosvětově důsledkem dopravních nehod přichází ročně o život přibližně 1,3 miliónů lidí a na každého usmrceného připadá 10 těžce zraněných. V ČR podle statistik má tato situace za posledních 20 let klesající tendenci viz obrázek číslo 1.

**Obrázek 1: Vývoj počtu dopravních nehod a jejich následků v ČR**



Zdroj: [2] – upraveno. Osa x = rok, Osa y = počet osob

Nehody zaviněné lidským faktorem jednoznačně převyšují, dalším důvodem je například nevyhovující technický stav vozidel. Mezi účinné faktory jak předejít dopravním nehodám, nebo z minimalizovat jejich následky patří rozvoj pasivní a aktivní bezpečnosti vozidel. Novodobá motorová vozidla jsou mnohdy vybavena inteligentními systémy ochrany posádky a ostatních účastníků provozu, které řídí činnost mnoha bezpečnostních prvků, jenž reagují za zlomek sekundy a dokáží tak skutečně zachraňovat lidské životy. V současnosti se prvky aktivní a pasivní bezpečnosti řadí i do méně rozpočtově nákladných vozidel. Již není možné na evropském trhu zakoupit vozidlo bez prvků aktivní bezpečnosti jako je ABS či ESP a prvků pasivní bezpečnosti například airbagu či bezpečnostních pásů. [3]

V této práci je pojednáno především o prvcích pasivní bezpečnosti, které mají za úkol snížit následky dopravní nehody. Každý řidič by si měl uvědomit, že jednotlivé prvky bezpečnosti vozidel dovedou pracovat pouze v rámci fyzikálních zákonů a nejsou všemocné. Z tohoto důvodu musí řidič přizpůsobit rychlost a styl jízdy danému stavu vozovky i vozidla. Vybrané prvky zejména pasivní bezpečnosti dnes běžně používané jsou v práci podrobněji popsány.

Poslední část je věnována problematice airbagů, které podle automobilek podléhají stáří a měly by být v pravidelných intervalech měněny. V průměru výrobci udávají lhůtu pro výměnu 12 let. Toto tvrzení by mělo být potvrzeno či vyvráceno na základě experimentu, při kterém došlo k řízené aktivaci několika airbagů z vozů Škoda.

## 2 Rozbor současného stavu

Bezpečnosti vozidel je v současné době věnována značná pozornost společně s úsilím techniků již během vývoje nového modelu. Cesta k bezpečnému automobilu se rozděluje do dvou hlavních směrů. Prvním směrem je vytvořit takové vozidlo, které bude schopno vlastní nehodě zabránit pomocí konstrukčních prvků a svými vlastnostmi. Druhým směrem jsou konstrukční prvky, které se snaží následky všem účastníkům nehody co nejvíce snížit, když k nehodě dojde. [4] [5]

Veškeré úsilí začíná již při vývoji nového typu. Vozidlo je ve finální podobě souborem kompromisů z požadavků různých zainteresovaných stran. Nová moderní vozidla jsou složitý komplex, který v sobě zahrnuje myšlenky motorářů, designerů, elektrotechniků a mnoha dalších, které mají s vývojem cokoli společného. Dalším činitelem, který hraje velkou roli, je marketing s požadavky trhu. V neposlední řadě je důležitá cena finálního produktu na trhu. Konstrukteři se tak musí pohybovat při své činnosti mezi určitými hranicemi a hledat optimální řešení, která se budou snažit vyhovět všem požadavkům. Proto cesta od první myšlenky, jak by mělo vozidlo vypadat, je velmi dlouhá a mnohdy ji doprovází i spousta velmi složitých či dokonce neřešitelných situací. Nastanou i situace, kdy se objeví nová, velmi užitečná řešení konstrukčních problémů, které byly dříve například neřešitelné. Za vším stojí tým vzájemně komunikujících vývojářů, kteří hledají optimální východisko.

V tabulce číslo 1 je znázorněn trend nehodovosti na pozemních komunikacích v České republice, včetně jejich následků na zdraví cestujících ve sledovaném období v letech 2003 až 2017.

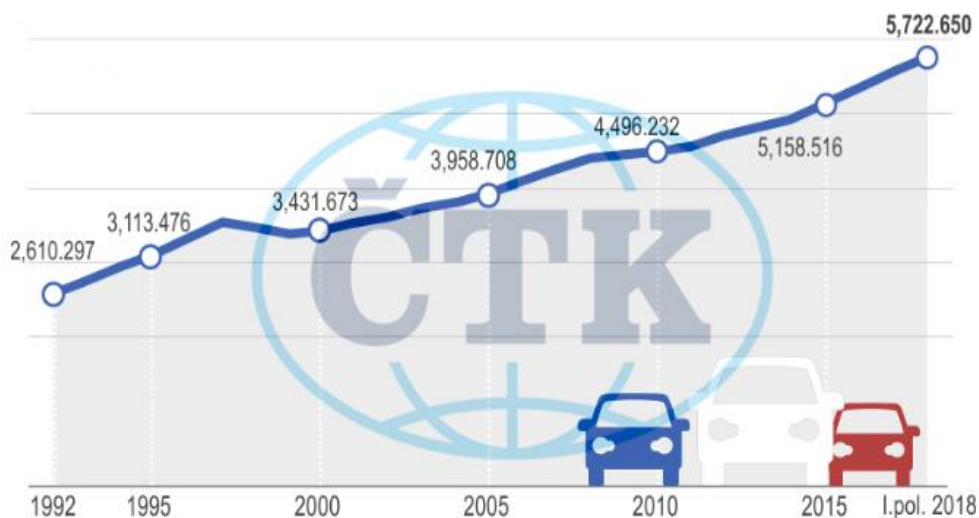
**Tabulka 1: Počet nehod a jejich následků za období 2003 až 2017**

<b>Rok</b>	<b>Počet nehod</b>	<b>S následky na zdraví</b>	<b>Usmrceno</b>	<b>Těžce zraněno</b>	<b>Lehce zraněno</b>
2003	195 851	27 320	1 319	5 253	30 312
2004	196 484	26 516	1 215	4 878	29 543
2005	199 262	25 239	1 127	4 396	27 974
2006	187 965	22 115	956	3 990	24 231
2007	182 736	23 060	1 123	3 960	25 382
2008	160 376	22 481	992	3 809	24 776
2009	74 815	21 706	832	3 536	23 777
2010	75 522	19 676	753	2 823	21 610
2011	75 137	20 487	707	3 092	22 519
2012	81 404	20 504	681	2 986	22 590
2013	84 398	20 342	583	2 782	22 577
2014	85 859	21 054	583	2 762	23 655
2015	93 067	21 561	660	2 540	24 426
2016	98 863	21 386	545	2 580	24 501
2017	103 821	21 263	502	2 339	24 740

*Zdroj: [2] – upraveno*

V roce 2003 došlo k pozitivní změně, kdy se bezpečnost silničního provozu stala prioritou ministerstva dopravy Šimonovského a Policie ČR. Od tohoto období došlo k rozmachu policejních akcí pod pracovním názvem „Kryštof“, jejichž úkolem je razantně zvýšit dohled nad dodržováním předpisů silničního provozu. Zvyšující se zájem médií včetně preventivních akcí pomáhají k dalším poklesům. V roce 2006 nastoupil v platnost dvanáctibodový systém trestání řidičů a s ním i nová pravidla silničního provozu. V tomto roce klesl počet usmrcených osob pod hranici 1000 osob. Od roku 2009 statistika zaznamenává snížení počtu dopravních nehod až na polovinu, je to zapříčiněno novelou zákona č. 361/2000 Sb., která pojednává o přítomnosti policie u dopravní nehody. Přítomnost policie je nezbytná v situaci, kdy věcná škoda na jednom z vozidel přesáhne 100 000 Kč, nebo v případě zranění či poškození majetku třetí osoby. Od tohoto roku dochází ke zvýšení počtu dopravních nehod, což je zapříčiněno neustálým nárůstem hustoty provozu viz obrázek číslo 2. Nejzásadnější je snížení počtu usmrcených osob za posledních 15 let o více jak 60 %, podobně je na tom i počet těžce zraněných viz tabulka číslo 1. Důležitou roli hraje v této statistice zvyšující se aktivní a pasivní bezpečnost vozidel, což vyplývá z počtu dopravních nehod, který se zvyšuje, ale poranění se snižují. [6] [7]

Obrázek 2: Počet osobních automobilů registrovaných v ČR



Zdroj: [8] – upraveno

## 2.1 Aktivní bezpečnost

Vyhnout se nehodě je vždy nejlepší možnost, to je úkolem prvků aktivní bezpečnosti. Mezi prvky aktivní bezpečnosti patří veškerá technická zařízení, vlastnosti vozidla a systémy, který předchází, respektive se snaží zabránit vzniku dopravní nehody. Nejdůležitějšími prvky této bezpečnosti jsou účinné brzdy, které umožňují včasné zastavení před překážkou, dobrý výhled z vozidla, dostatečný výkon motoru, přesné řídicí ústrojí, kvalitní pneumatiky s dostatečnou hloubkou dezénu zajišťující dobré jízdní vlastnosti, tlumiče kmitů vyvolaných od per podvozku a mnoho dalších činitelů. [4] [9] [10]

Nedílnou součástí této bezpečnosti jsou elektronický jízdní asistenti. Automobily jsou v současné době vybaveny mnoha jízdními asistenty, které napomáhají řidiči aktivně nebo výstražně při ovládní vozidla. Lze je rozdělit do dvou podskupin:

- asistenční systémy podporující řidiče,
- asistenční systémy podporující vozidlo.

Úkolem jednotlivých systémů je upozornit řidiče na krizové situace a v krajních případech samostatně zakročit do jízdního manévru. [5] [11]

### **2.1.1 Asistenční systémy podporující vozidlo**

V případě nutnosti jsou asistenční systémy podporující vozidlo v činnosti, aniž by jim v tom mohl řidič zabránit (pokud nejsou deaktivovány). Běžný uživatel ani nepozoruje jejich funkci a považuje účinky za normální. Jedním ze základních požadavků na tyto asistenty je, že musí pracovat velmi rychle a precizně, jelikož přebírají kontrolu nad vozidlem. Mezi nejběžnější asistenty podporující vozidlo lze zařadit:

- ABS – protiblokovací systém kol,
- ESP – elektronický stabilizační systém,
- ASR – protiskluzový systém,
- EDS – elektronická uzávěrka diferenciálu. [12] [13]

### **2.1.2 Asistenční systémy podporující řidiče**

Tyto systémy podporují řidiče nepřímě. Jejich úkolem je informovat o situaci před vozidlem a varují před hrozcím nebezpečím, řidič tak má lepší přehled nad dopravní situací, což mu pomůže učinit lepší rozhodnutí. Jedná se o asistenční systémy, které nepřebírají kontrolu nad vozidlem a mohou být kdykoliv deaktivovány. Zodpovědnost vždy zůstává na řidiči. Mezi nejběžnější asistenty podporující řidiče lze zařadit:

- APS – parkovací asistent,
- LDW – udržování jízdních pruhů,
- HHC – asistent rozjezdu do kopce,
- HUD – head – up (transparentní) displej. [12] [13]

## **2.2 Pasivní bezpečnost**

Pasivní bezpečností se rozumí všechna opatření, která zmenšují následky dopravní nehody pro všechny zúčastněné osoby, tudíž je v činnosti až během samotné nehody. Je to souhrn všech konstrukčních a výrobních opatření, jejichž posláním je snížení možnosti poranění a ztrát na lidských životech, případně i ztrát hmotných. Nezahrnuje jen vnitřní bezpečnost, tzn. ochranu vlastních cestujících, ale také vnější bezpečnostní ochranu

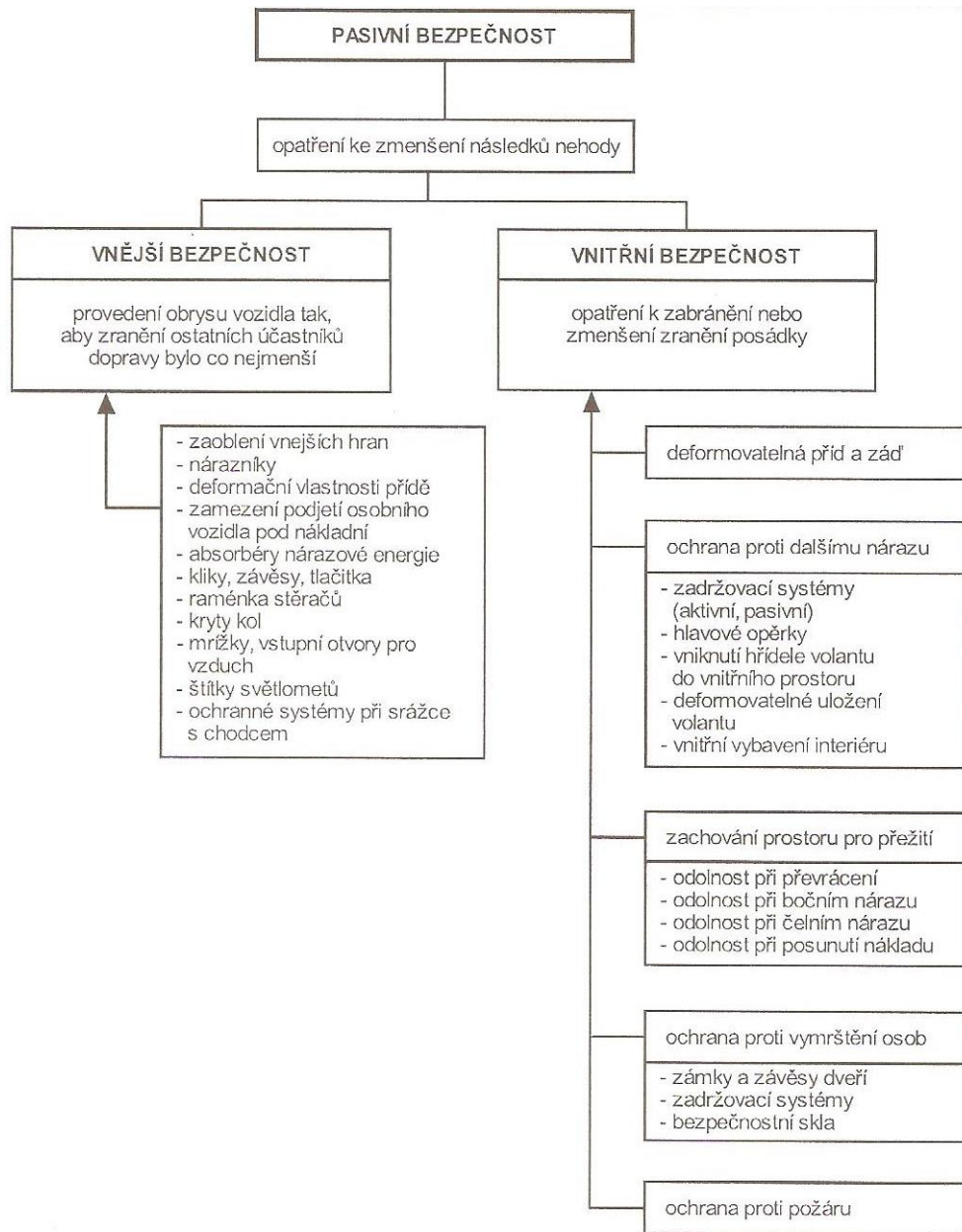
ostatních účastníků silniční dopravy viz obrázek číslo 3. Veškeré prvky pasivní bezpečnosti musí být dokonale kompatibilní (sladěné). [14] [15] [9]

Prvky k zajištění vnější a vnitřní bezpečnosti slouží k tomu, aby všem účastníkům silniční dopravy byla poskytnuta co největší naděje na přežití a riziko poranění bylo co nejmenší v případě dopravní nehody. Mezi základní kritéria pro přežití a minimální ohrožení posádky vozu patří:

- maximální hodnota vzniklého přetížení organismu a doba jeho trvání,
- zůstatkový prostor pro přežití,
- možnost poranění o ovládací a řídicí prvky uvnitř vozidla,
- možnost co nejrychleji vozidlo opustit,
- riziko vznícení vozidla. [16] [17]

Pro zvýšení pasivní bezpečnosti je nutné neustále analyzovat popřípadě simulovat dopravní nehody a provádět systematický biomechanický výzkum.

**Obrázek 3: Základní rozdělení pasivní bezpečnosti**



Zdroj: [16]

Ze strany zákonodárství jsou požadavky na pasivní bezpečnost stanoveny v ČR Zákonem č. 193/2018 Sb. a vyhláškou „O technických podmínkách provozu silničních vozidel na pozemních komunikacích“ a další vyhláškou Ministerstva dopravy a spojů č. 341/2014 Sb. „O schvalování technické způsobilosti a technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích“ dále homologačními předpisy Evropské hospodářské komise - EHK. Mezinárodní předpisy EHK obsahují řadu předpisů, jejichž požadavky musí vozidla splnit, aby mohla být puštěna do silničního provozu. Tyto homologační předpisy



neudávají přímo konstrukční řešení, ale vyžadují předepsané vlastnosti a účinky. Většina předpisů EHK je zaměřena na vnitřní pasivní bezpečnost posádky (viz tabulka číslo 2). To vyplývá ze skutečnosti, že v této oblasti jsou zaznamenány nejnaléhavější problémy, čímž se snaží bezpečnostní opatření zlepšit bilanci nehod. [15] [18] [19]

**Tabulka 2: Předpisy EHK zajišťující pasivní bezpečnost**

Část vozidla	Předpis EHK
zámký a závěsy dveří (OA)	R 11
náraz na sloupek řízení (OA)	R 12
úchyty bezpečnostních pásů (OA)	R 14
bezpečnostní pásy pro dospělé (OA, NA, A)	R 16
pevnost sedadel a jejich uchycení (OA)	R 17
vnitřní výčnělky osobních vozidel (OA)	R 21
opěrky hlavy (OA, NA, A)	R 25
pevnost budek nákladních vozidel (NA)	R 29
náraz na vozidlo zezadu (OA)	R 32
náraz na vozidlo zepředu (OA)	R 33
ochrana proti požáru (OA)	R 34
konstrukce vozidel pro hromadnou přepravu osob (A)	R 36
bezpečnostní skla a zasklívací materiály (OA, NA, A)	R 43
zadržovací systémy pro děti (OA)	R 44
zařízení proti podjetí zezadu (NA)	R 58
pevnost karoserie autobusu (A)	R 66
boční ochrana (NA, P)	R 73
sedadla a úchyty (A)	R 80
zařízení proti podjetí zepředu (NA)	R 93
ochrana cestujících při čelním nárazu (OA)	R 94
ochrana cestujících při bočním nárazu (OA)	R 95

Zdroj: [15] – upraveno. OA – osobní automobily, NA – nákladní automobily, A – autobusy,  
P – přípojná vozidla

Předpis **EHK – R 11** udává podmínky odolnosti závěsů a zámků dveří. Závěsy a zámký se cíleně zatěžují v podélném i příčném směru. Kontrola zámký probíhá v poloze správně zavřených dveří, ale i v poloze kdy dveře nejsou zcela zavřeny. Zkouška je doplněna o výpočet odolnosti zámký proti svévolnému otevření při zrychlení 30 g. Hodnota, kterou musí závěsy i zámký snést při zcela zavřených dveřích je stanovena na sílu 11,1 kN v podélném směru a v příčném 8,9 kN. V situaci, kdy zámeček není zcela zavřený, je hodnota síly kterou zámeček musí snést stanovena na 4,5 kN. [15] [20] [21]

Předpis **EHK – R 12** specifikuje chování řídicího ústrojí osobních automobilů, je-li vystaveno následujícím druhům sil:

- silám vzniklým při čelním nárazu, které mohou způsobit pohyb řídicího ústrojí směrem k řidiči,
- silám způsobeným vlivem setrvačnosti těla řidiče v okamžiku nárazu na volant. [15] [20] [21]

Předpis **EHK – R 14** udává podmínky pro kontrolu zakotvení bezpečnostních pásů. Podle tohoto předpisu se řídí umístění a pevnost kotevních bodů. [15] [20] [21]

Předpis **EHK – R 16** specifikuje homologační podmínky bezpečnostních pásů pro dospělé cestující. Kontrolují se jednotlivé části součásti pásu, tj. uzavírací přezka, seřizovací zařízení, upevňovací kování, popruhy, popřípadě další části. U tuhých součástí se kontroluje statická pevnost v tahu, odolnost proti atmosférickým vlivům a míra spolehlivosti. Popruhy musí odolávat statickým zkouškám v tahu, dále světlu, chladu, teplotě a vlivům vody. Celá soustava bezpečnostního pásu se testuje rovněž dynamicky, kdy se zkušební vozík s připoutanou figurínou zbrzdí z rychlosti 50 km/h do zastavení (nárazem) při délce brzdě dráhy  $400 \pm 50$  mm. [15] [20] [21]

Předpis **EHK – R 17** stanovuje pevnost sedadel a jejich upevnění do podlahy. Mechanismus pro nastavení polohy opěradla se kontroluje pomocí figuríny, přičemž je zatěžováno momentem vůči sedáku o síle 530 Nm. Seřizovací a blokovací mechanismus v podélném směru se kontroluje statickými zkouškami, stejně jako i pevnost kostry sedadla, která se zatěžuje v těžišti kompletního sedadla dvacetinásobkem jeho tíhy. Tyto zkoušky jsou doplněny výpočtem, které kontrolují seřizovací a blokovací mechanismy proti svévolnému odjištění při působení přetížení 20 g. [15] [20] [21]

Předpis **EHK – R 21** udává podmínky pro vnitřní vybavení vozidel včetně uspořádání ovládacích prvků, střechy, opěradel a zadní části opěradel. Definuje tzv. referenční oblast nárazu hlavy, obsahující všechny nezasklené plochy vnitřního prostoru automobilu, které mohou přijít do kontaktu s kulovou maketou hlavy s průměrem 165 mm, tato maketa je součástí zkušebního zařízení. Veškeré výčnělky, které jsou ve vnitřní přední části prostoru pro cestující včetně referenční oblasti, musí mít určitá zaoblení. Sleduje se i míra pohlcení energie přístrojovou deskou v oblastech nárazu hlavy pasažérů na předních

sedadlech. Stejně tak i části opěradel předních sedaček, při nárazu od cestujících na zadních sedadlech. Tato zkouška se provádí podobně jako zkouška opěrek hlavy, kdy kulová hlavice zkušebního zařízení udeří do opěrky rychlostí 24,1 km/h a její zpoždění nesmí být větší než 80 g nepřetržitě po dobu více než 3 ms (milisekund). [15] [20] [21]

Předpis **EHK – R 25** stanovuje podmínky pevnosti a geometrie opěrek hlavy. Tento předpis se vztahuje na veškeré opěrky, ať jsou odnímatelnou nebo trvalou součástí sedadla. Kontroluje se umístění, rozměry, deformace při určitém zatížení a pohlcování energie opěrek. [9] [13] [14]

Předpis **EHK – R 29** specifikuje podmínky pro pevnost kabin nákladních automobilů o celkové hmotnosti převyšující 7000 kg. Testuje se:

- odolnost při čelním nárazu – zavěšené kyvadlo narazí na přední spodní část kabiny momentem 44 kNm,
- odolnost zadní stěny kabiny při posunutí nákladu,
- odolnost střechy kabiny při převrácení – střecha kabiny je zatížena rovnoměrně statickým zatížením, které odpovídá polovině maximální tíhy vozidla, největší možné zatížení je stanoveno na 98,1 kN. [15] [20] [21]

První dvě zkoušky se provádí při upevnění kabiny na vozidle. Poslední zkoušku lze provést na odděleném rámu – kabina musí být upevněna na rámu. Kabina řidiče se během testu nesmí oddělit od podvozku a nesmí dojít k otevření dveří. Po skončení testu musí kabina zaručovat prostor pro přežití. [15] [20] [21]

Předpis **EHK – R 32** definuje podmínky při nárazu do vozidla zezadu. Při zkoušce se napodobuje stav, který vznikne při nárazu jiným vozidlem zezadu, čímž se ověřuje, zda vozidlo splňuje požadavky týkající se chování nosné struktury vozidla pro pasažéry. Po nárazu zkušebního zařízení (vozíku o hmotnosti  $1100 \pm 20$  kg) rychlostí 35 – 38 km/h nesmí podélný posunutí zadních sedadel přesáhnout 75 mm. Dále nesmí po zkoušce v prostoru pro pasažéry žádný z předmětů vytvářet nebezpečí, která by mohla vést k vážnému zranění. Vlivem nárazu se nesmí žádné z dveří samovolně otevřít, ale musí být možné otevřít takový počet dveří bez použití nástrojů, aby mohli všichni cestující včas opustit automobil. [15] [20] [21]

Předpis **EHK – R 33** specifikuje chování nosné konstrukce prostoru pro cestující, dojde-li k čelnímu nárazu. [15] [20] [21]

Předpis **EHK – R 34** stanovuje podmínky ochrany proti požáru. Hlavním předpokladem je, aby po definované zkoušce čelním nárazem na bariéru a při zkoušce nárazem zezadu nedošlo nejlépe k žádnému úniku paliva, nebo jen nepatrnému. V případě trvalého úniku nesmí jeho množství přesáhnout 30 g/min při čemž nesmí dojít k požáru, který by se vlivem paliva udržoval. Součástí toho předpisu je provedení palivové soustavy včetně nádrže a elektroinstalace. [15] [20] [21]

Předpis **EHK – R 36** se zaměřuje na podstatné části autobusů. Zejména na rozdělení zatížení, pevnost struktury, ochranu proti požáru, prostor motoru i nádrže na palivo, přístupu ke dveřím, prostoru pro řidiče, pevnost sedadel a jejich úchytů. [15] [20] [21]

Předpis **EHK – R 43** specifikuje podmínky pro zkoušky tříštivosti, mechanické pevnosti, optické vlastnosti, odolnosti vůči prostředí a ohni pro skla vozidel. [15] [20] [21]

Předpis **EHK – R 44** definuje zásady montáže zádržných systémů pro děti. Účinky zařízení na dětský organismus se zjišťují zkušebními figurínami, které demonstrují děti ve věku 9 měsíců, 3, 6 a 10 let života. Mají přesně určené rozměry a hmotnosti. Skelet tvoří kov společně s polyesterem, tělo je převážně z polyuretanu. [15] [20] [21]

Předpis **EKH – R 58** udává rozměry pro ochranné zařízení proti podjetí nákladního automobilu. [15] [20] [21]

Předpis **EHK – R 66** specifikuje podmínky pro homologaci velkých autobusů z pohledu pevnosti jejich konstrukce. Provádí se zkoušky převrácení celého vozidla a zkouška nárazem kyvadla na část karoserie. [15] [20] [21]

Předpis **EHK – R 73** udává rozměry pro ochranné zařízení proti bočnímu podjetí u nákladních a přípojných vozidel. [15] [20] [21]

Předpis **EHK – R 80** specifikuje požadavky pro homologaci sedadel autobusů z hlediska pevnosti a jejich úchytů. Zkoušky se provádí jak statické, tak dynamické. Jsou dány druhy a frekvenční charakteristiky přístrojů použitých při zkouškách. [15] [20] [21]

Předpis **EHK – R 93** definuje podmínky pro přední ochranná zařízení zamezující podjetí nákladních automobilů osobním vozidlem. Jedná se o tvar, rozměry, připevnění, materiály a značení. [15] [20] [21]

Předpis **EHK – R 94** určuje podmínky pro homologaci vozidel z pohledu ochrany pasažérů při čelním nárazu vozidla. V platnost vstoupil roku 1999. Určuje zkušební metodu pro zkoušku čelním nárazem do bariéry, při které se využívá zkušební figurína. [15] [20] [21]

Předpis **EHK – R 95** specifikuje jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska ochrany pasažérů při bočním nárazu vozidla. Zkouška se provádí za pomoci pohyblivé bariéry na bok vozidla. Rychlost bariéry v okamžiku nárazu musí být rovna  $50 \pm 1$  km/h. Pokud vozidlo při zkoušce vyhoví předepsaným limitům, pak se výsledek zkoušky považuje za příznivý. Hmotnost bariéry je určena na  $950 \pm 20$  kg. [15] [20] [21]

### **2.2.1 Vnější pasivní bezpečnost**

Oblast vnější pasivní bezpečnosti zahrnuje veškerá opatření, která mají za úkol snížit následky dopravní nehod. Chodci a cyklisté představují nejzranitelnější články dopravy. Dále je brán zřetel na bezpečnost posádek ostatních silničních vozidel, kde se zohledňuje tzv. nárazová kompatibilita. To v praxi znamená např. u nákladních vozidel použití prvků zabraňující podjetí osobního vozidla ze všech stran, tak aby prvky pasivní bezpečnosti fungovaly správně.

#### **Zaoblení všech hran**

Prvním představitelem je tvar karoserie, zejména zaoblení všech hran. Vývoj je znázorněn na obrázku číslo 4, kde je rozdíl nejen v pasivní bezpečnosti 40 let. Zlepšila se tak ochrana ostatních účastníků provozu, například při srážce s chodcem, ale i aerodynamický odpor výrazně klesl a s ním i spotřeba paliva.

**Obrázek 4: Srovnání tvaru karoserie VW Golf první a sedmé generace**



*Zdroj: [22]*

Zvolením vhodného tvaru dveřních klik a stěračů došlo ke snížení možnosti vzniku tržných ran při střetu s chodcem či cyklistou. Nejvíce nebezpečné byly kliky používané u starších vozidel, které vyčnívaly vně karoserie. Rovněž nevhodně zvolené kryty kol, popřípadě jejich upevňovací šrouby mohou zapříčinit vážná poranění.

### **Nárazník**

Druhým představitelem vnější pasivní bezpečnosti jsou nárazníky, zejména vpředu vozidla. Jejich úkolem je zachytit a rozložit náraz na celou přední část vozidla, tudíž musí být dostatečně tuhé a pevné. Dříve se vyráběly z ocelových pochromovaných výlisků. Nyní se jedná pouze o plechové výztuhy, které jsou překryty plastovým krytem zlepšující aerodynamiku a bezpečnost při srážce s chodcem. Nárazníky jsou konstruovány tak, aby při srážce s pevnou překázkou do 4 km/h nedošlo k poškození vozidla. V USA dokonce na 5 mil/h (8 km/h), proto jsou nárazníky z těchto zemí výrazně odlišné od evropských. [23]

Snaha o zlepšení pasivní bezpečnosti byla dříve pomocí nárazníku uloženého na pružinách, které měly absorbovat nárazovou energii. Toto řešení se ovšem neosvědčilo, protože pružiny náraz částečně zachytily, ale při zpětném pohybu zvyšovaly přetížení. Tato situace by se dala řešit pomocí tlumiče, ale bylo by to příliš složité. [23]

## Kapota

Kapota vozidla je součástí přední deformační zóny. Pod kapotou vozidla nejčastěji bývá motorový prostor či zavazadlový prostor, výjimkou jsou nákladní a speciální vozidla. [24] [25]

Z hlediska bezpečnosti chodců a cyklistů jsou vlastnosti kapoty velmi důležitým faktorem, který ovlivňuje míru poranění. Kapota a čelní sklo je nejčastějším místem dopadu hlavy sražené osoby. Proto je snahou vytvořit kapotu co nejbezpečnější. Nyní je velmi využíván princip tzv. vystřelovací kapoty. Pomocí této kapoty je z části omezen rizikový náraz hlavy na pevnou překážku při průhybu kapoty až např. na část motoru vozidla, tzn., že je vytvořen větší prostor pro její deformaci. Princip spočívá v přizvednutí zadě kapoty v době nehody přibližně o 10 cm – viz obrázek číslo 5. Tímto se změkčí a zároveň zvětší průhyb kapoty. Energie nárazu je lépe absorbována, tím i část těla je lépe zbrzděna. Dochází tak ke zmírnění nárazu těla na kapotu a tím je šance na přežití mnohem vyšší. [24] [25]

Obrázek 5: Aktivní kapota



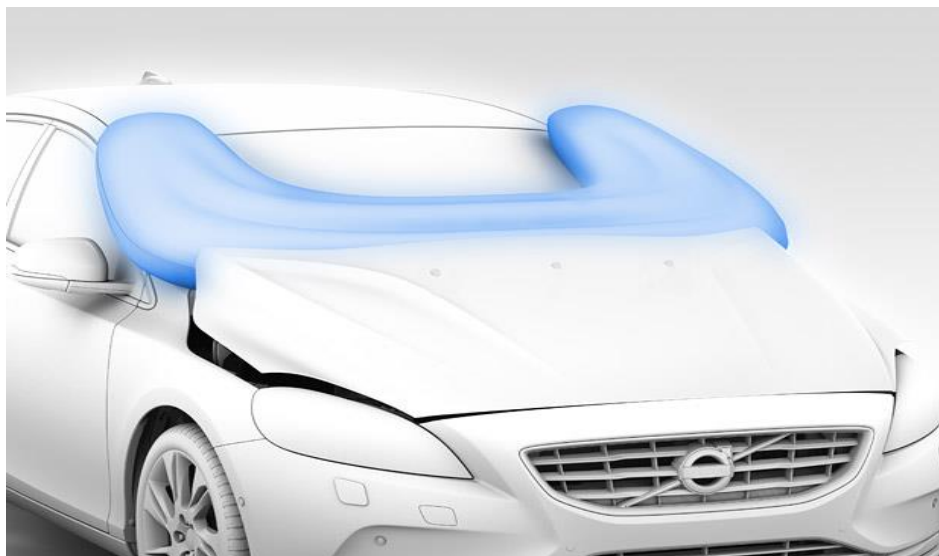
Zdroj: [26]

Dalším přínosem aktivní kapoty je zmenšení úhlu mezi chodcem a vozidlem před dopadem na kapotu. Rovněž se také sníží riziko dopadu hlavy na přechod kapoty mezi čelním sklem, kde hrozí riziko poranění o hranu kapoty a stěrače. [24] [25]

## Airbag pro chodce

Švédská automobilka Volvo přišla v roce 2012 s airbagem pro chodce. Nový airbag dostal jako první model V40. Má za úkol chránit chodce při čelní srážce, přičemž airbag zakrývá přechod mezi kapotou a čelním sklem, zhruba třetina čelního skla a část A sloupků viz obrázek číslo 6. Jeho tvar je tak do písmene U. [27]

**Obrázek 6: Airbag pro chodce**



*Zdroj: [28]*

V Evropě představují chodci 14 % ze všech osob usmrcených při dopravních nehodách. V Číně tento počet vzrostl až na 25 %. Mnohem více chodců je každoročně těžce zraněno. Mezi nejzávažnější poranění při srážce vozidla s chodcem patří úraz hlavy, který je způsobený dopadem na tvrdý materiál, což je úkolem toho systému zmírnit. Ke srážce vozidla s chodcem dochází ze 75 % v rychlostech do 40 km/h. Systém je v pohotovosti v rychlostech mezi 20 až 50 km/h. [27] [29]

Správnou funkci zajišťuje celkem sedm čidel v předním nárazníku, které posílají signály do řídicí jednotky – ŘJ. V situaci kontaktu vozidla s cizím objektem, ŘJ vyhodnotí signály přijaté od senzorů a pokud je vyhodnotí jako lidské nohy, aktivuje se airbag pro chodce. [27]

Součástí závěsů kapoty jsou pyrotechnické uvolňovací mechanismy, které při aktivaci systému vytáhnou čepy v pantech a tím uvolní zadní část kapoty. Zároveň dojde k aktivaci airbagu, který se začne plnit plynem. Během nafukování nadzdvihne kapotu



až o 10 cm, jako v případě aktivní kapoty. V nafouknuté pozici vyplní celý prostor v místě pro stěrače, přibližně třetinu čelního skla a část A sloupků. Od aktivace systému k plnému naplnění airbagu dojde během několika setin sekundy. [27] [29]

Airbag pro chodce doplňuje systém rozpoznávání chodců s funkcí automatického brzdění **Front Assist**. V případě že řidič na vzniklou situaci včas nezareaguje, dokáže systém zamezit srážce chodce až do rychlosti 35 km/h. Ve vyšších rychlostech je kladen důraz na co největší snížení nárazové rychlosti. [27]

Systém nouzového brzdění **Front Assist** patří do skupiny aktivní bezpečnosti. Lze zařadit mezi asistenty podporující řidiče, ale zároveň i vozidlo. Umožňuje upozornit řidiče na hrozící nebezpečí nehody pomocí varovných signálů v kabině vozidla, v krajních případech svévolně zpomalovat vozidlo, až do úplného zastavení. Tímto zásahem mnohdy zabrání střetu vozidel, případně střetu vozidla s chodcem či cyklistou. Je tomu tak zejména v městském provozu. Ve vyšších rychlostech zmírní následky dopravní nehody až o 85 %. [30] [31] [32]

Asistent pracuje na základě propojení tzv. “chytrého“ radaru a snímací kamery. Radar je umístěný v přední části vozidla, přesněji v krycí mřížce chladičů. Kamera je uvnitř vozidla v těsné blízkosti čelního skla, nejčastěji ve zpětném zrcátku. Kombinací těchto dvou prvků dokáže systém velmi rychle rozpoznat nebezpečné situace a rychle reagovat například spuštěním nouzového brzdění. [30] [31] [33]

Princip funkce je velmi jednoduchý, radar před vozidlo vysílá elektromagnetický signál a na základě přijatých signálů vyhodnotí vzdálenost případně i rychlost překážky před vozidlem. Za pomoci kamery lze ověřit přítomnost a tvar překážky. Rovněž lze určit přibližný stav vozovky, například zda-li je suchá či pokrytá sněhem. Funkce je v činnosti již od rychlosti 5 km/h. V případě, že systém vyhodnotí malý odstup od překážky, tak začne reagovat ve čtyřech fázích, podle závažnosti situace. [30] [31] [32]

- V první fázi je řidič upozorněn na nutnost brzdění za pomoci varovné kontrolky na palubní desce vozidla. V této fázi je ještě dost času na reakci řidiče. [30] [31] [32]
- Ve druhé fázi dochází k přípravě brzdové soustavy. Dojde k natlakování systému, zároveň se brzdové segmenty přiblíží k brzdovému kotouči. Řidič je neustále upozorňován výstražnou kontrolkou v doprovodu výstražného zvukového signálu.

Začne-li řidič v tento okamžik brzdit, dostaví se mu okamžitý brzdny účinek s větší účinností. [30] [31] [32]

- Ve třetí fázi v případě ignorace výstražného zvukového i optického signálu na přístrojové desce, dojde ke krátkodobému svévolnému přibrzdění. Za tohoto stavu dává systém řidiči znatelně najevo, že musí začít ihned intenzivně brzdit. Přesahuje-li rychlost 35 km/h, dochází k částečnému (přibližně 50 % brzdnému účinku, než je soustava ochotna vyvinout) neustálému brzdění. [30] [31] [32]
- V poslední čtvrté fázi začne systém samovolně plně automaticky brzdit. Zde je maximální brzdny účinek, až na pokraji skluzu mezi vozovkou a pneumatikami vozidla. Současně jsou aktivována brzdová světla včetně výstražných blinkrů k upozornění ostatních řidičů na hrozící nebezpečí. [30] [31] [32]

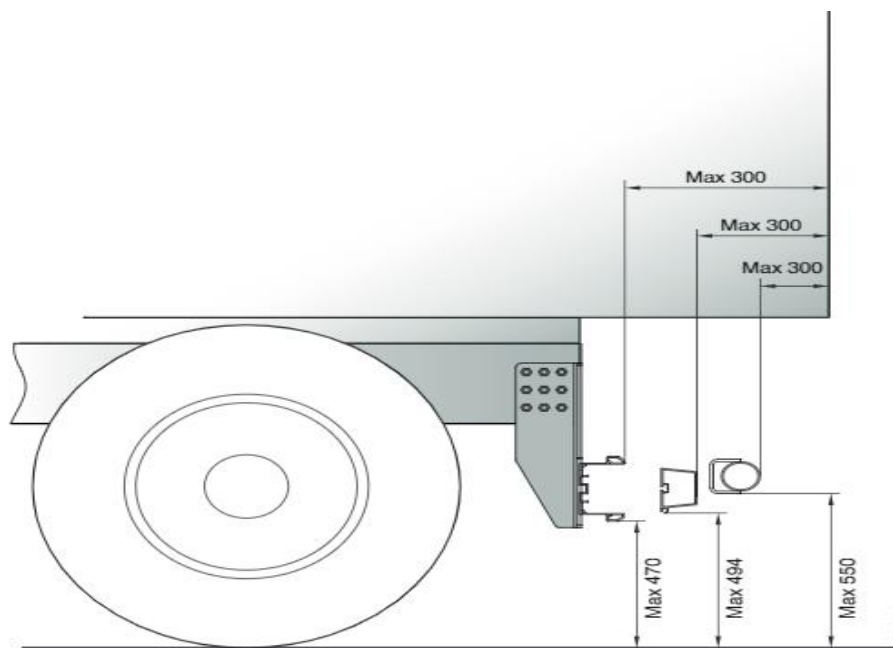
Systém nouzového brzdění pracuje mnohem rychleji než řidič. Dokáže tak vyhodnotit nutnost brzdění dříve, což může být rozhodující kupříkladu v situaci náhlého vkročení chodce před vozidlo. Může tak dojít k situaci, kdy ŘJ systému některé z fází pomijí a přejde například rovnou na čtvrtou fázi plně automatického brzdění. [30] [31] [32]

### **Zamezení podjetí osobního vozidla pod nákladní**

Aby nákladní automobily splňovaly předpis EHK R58, musí být vybaveny zadní ochranou proti podjetí. Jako první zavedla ochranu proti vniknutí objektu pod nákladní vozidlo automobilka Scania již v roce 1995 a instaluje ji na své kamiony již ve standardní výbavě. [34] [35]

Americké úřady zjistily při zkoumání dopravní nehod v letech 2001 až 2003, že v 80 % došlo k podjetí osobního vozidla pod nákladní. Proto veškerá vozidla zaregistrovaná od 10. srpna roku 2003 musejí být vybavena ochranou proti podjetí, která nesmí přesahovat 550 mm od vozovky za předpokladu, že vozidlo není plně zatíženo a 300 mm je povoleno maximální zapuštění zábrany viz obrázek číslo 7. V potaz je třeba brát veškeré součásti karoserie, pérování a pneumatiky, které mají vliv na změnu výšky a polohy podvozku. [35] [36]

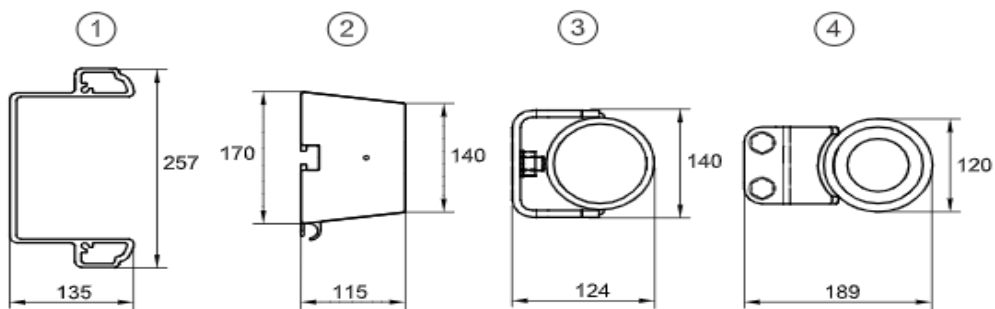
**Obrázek 7: Rozměry pro umístění zábran různých profilů proti podjetí**



Zdroj: [34]

Ochrana proti podjetí má čtyři možné profily v závislosti na oblasti užití. Jejich přesný tvar a rozměry jsou znázorněny na obrázku číslo 8.

**Obrázek 8: Typy a rozměry profilů**



*Vnější rozměry v milimetrech.*

Zdroj: [34]

1. Pevná ochrana proti podjetí s U profilem. Tento profil umožňuje montáž koncových světel a registrační značky. Součástí tohoto profilu musí být krytky hran ohraňující zábranu. [34]
2. Pevná ochrana proti podjetí se čtvercovým profilem. Poskytuje větší světlou výšku vozidla z podstaty jeho rozměrů. [34]

3. Pevná ochrana proti podjetí s kruhovým profilem – odnímatelná. Je možná kombinace se čtvercovým nosníkem. Vhodné například pro sklápěcí vozidla převážející sypké materiály. [34]
4. Pevná ochrana proti podjetí s kruhovým profilem – neodnímatelná. Velmi robustní a odolné. Vyžití zejména u stavebních vozidel. [34]

Největší problém představuje kompatibilita jednotlivých vozidel, jelikož osobní automobil má deformační zóny v jiném místě, než návěs svou pevnou konstrukci. Právě pevnou část by měla nahradit ochrana proti podjetí, která je v místech, kde mají vozidla své deformační zóny. Pokud ta nesplní svojí funkci, dojde k podjetí vozidla, které se zpravidla zastaví o A sloupky, při vyšších rychlostech mnohem dále – viz obrázek číslo 9. V tomto případě má nehoda fatální následky. [35] [36]

**Obrázek 9: Selhání zábran proti podjetí návěsu**



*Zdroj: [37]*

### **2.2.2 Vnitřní pasivní bezpečnost**

Oblast vnitřní pasivní bezpečnosti zahrnuje ochranu posádky vozidla v okamžiku vzniku dopravní nehody a bezprostředně po ní, za účasti bezpečnostních zádržných prvků, které jsou aktivovány automaticky. Cílem vnitřní bezpečnosti je zamezit, nebo alespoň

co nejvíce snížit poranění posádky ve vozidle. Musí splňovat několik podmínek, pro svou funkci. Jednou z nich je zachování zbylého prostoru po nárazu pro přežití. Čím se tento prostor zmenší, tím je větší pravděpodobnost poranění, či smrti. Rovněž v tomto prostoru nesmí být žádné části, zejména ostré hrany, které by mohly umocnit zranění posádky. Z tohoto důvodu je snahou užívat materiály uvnitř vozidla tlumící náraz. Sedadla musí být důkladně upevněna podle předpisu EHK – R 17. Smysl prostoru pro přežití se vytrácí v případě nepřipoutaných osob v době nehody, kdy veškeré prvky např. airbagy spíše zvýší poranění. Snahou je používat v prostoru kabiny nehořlavé materiály z důvodu snížení rizika vzplanutí. [38]

### **Deformační zóny**

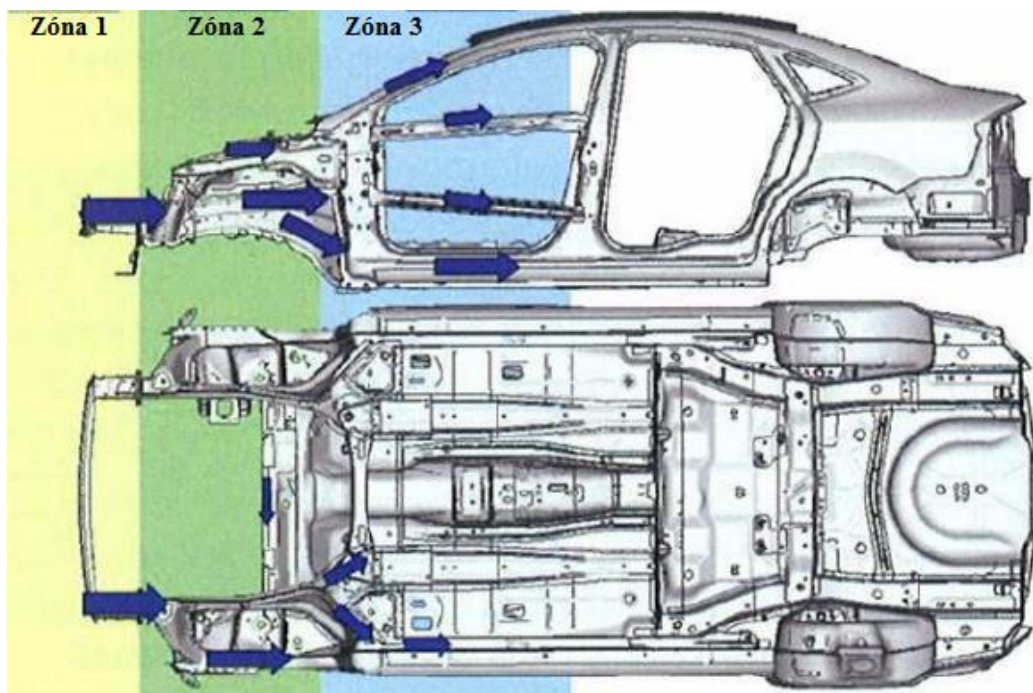
Deformační zóny jsou jednotlivé části karoserie nebo nosné struktury vozidla. U moderních automobilů je přední a zadní část vozu progresivně deformovatelná, čímž je zajištěn optimální průběh deformace k co největší eliminaci a pohlcení vzniklé energie nárazem. Správně zvolenou konstrukcí přední a zadní části vozidla tak lze dosáhnout podstatně lepší ochrany cestujících. Starší vozy měly špatné deformační zóny a docházelo tak k příliš rychlému zpomalení při nehodě. Na cestující se tak vyvíjely extrémní síly. Deformační charakteristika přední části automobilu by měla mít stupňovitý progresivní průběh složený z několika stupňů:

- ochrana při nízkých rychlostech – parkovací manévry,
- kompatibilita – ochrana spoluúčastníků nehody,
- vlastní ochrana – dodržení biomechanických kritérií,
- zachování prostoru pro přežití,
- vnější ochrana chodců. [39] [40] [41]

V případě skeletu kabiny je naopak snaha o co největší tuhost, pro zachování stálého prostoru pro přežití posádky. Proto se pro tyto části karoserie používají vysokopevnostní materiály. Z tohoto důvodu je vyžadována robustní konstrukce sloupků a prahů. Při nárazech v nízkých rychlostech do 15 km/h kinetickou energii absorbují tzv. defoelementy, které umožňují demontáž a náhradu novými. Ostatní části karoserie zůstávají nepoškozeny, což velmi snižuje servisní náklady. [23] [40]

Karoserie automobilu je základním a zároveň nejdůležitějším prvkem ochrany posádky. Skládá se z mnoha dílů podle typu automobilu. Funkčně se dělí do tří částí – viz obrázek číslo 10. [40] [42]

Obrázek 10: Deformační zóny

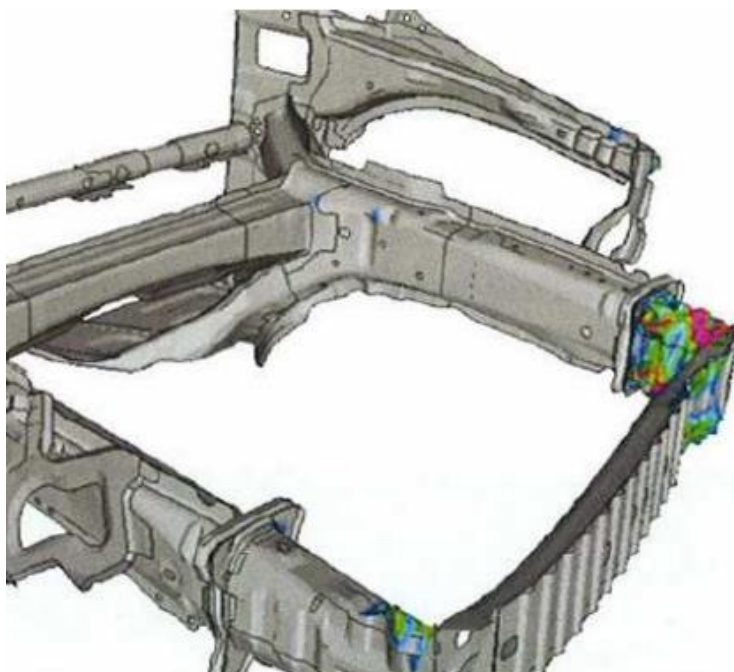


Zdroj: [42]

#### Deformační zóna 1 – Defoelementy

Zóna 1 zachycuje síly odpovídající nárazu do rychlosti 15 km/h do tuhé překážky. Jejím úkolem je se cíleně zdeformovat do sebe tak, aby nepřenesly na hlavní nosníky zóny 2 větší sílu, než jakou vydrží bez trvalých deformací – viz obrázek číslo 11. Jde o sílu v rozmezí 100 – 150 kN v závislosti na konstrukci vozidla. Zprostředkovává řídící jednotce první informace o vzniku negativního přetížení. Zamezuje nadbytečnému poškození pohonné jednotky a druhé deformační zóny. [40] [41] [42]

**Obrázek 11: Deformační zóna 1 – Defolementy**



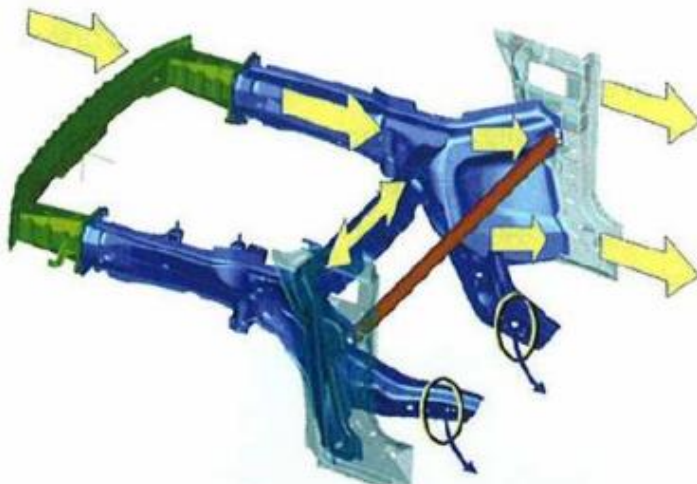
*Zdroj: [42]*

#### Deformační zóna 2

Zóna 2 zajišťuje nejpriznivější průběh negativního přetížení, které v průběhu nehody působí na pasažéry vozidla. Průběh sil při zkuševém přesazení nárazu v rychlosti 64 km/h dle Euro NCAPu je znázorněn na obrázku číslo 12 (zóna 2 = modrá barva). Probíhají zde tři nejdůležitější skutečnosti, které ovlivňují bezpečnost osob ve vozidle:

- Řízená deformace hlavních podélníků. Měla by být co nejplynulejší, bez velkých přechodových rázů, který by se přenášely na posádku vozidla. [40] [41] [42]
- Průběh negativního přetížení. Začátkem deformace hlavních podélníků dostává řídicí jednotka informace, při kterých aktivuje předepínače bezpečnostních pásů a airbagy. [40] [41] [42]
- Přenos sil do zóny 3 – viz obrázek číslo 12. Tato zóna splní spolehlivě svůj úkol za předpokladu správného zdeformování zóny 1 a 2. Pokud se tak nestane, zvyšuje se nebezpečí, že se na konstrukci zóny 3 přeneše větší síla, než na jakou je navržena. [40] [41] [42]

**Obrázek 12: Průběh rozložení síly v zóně 2**

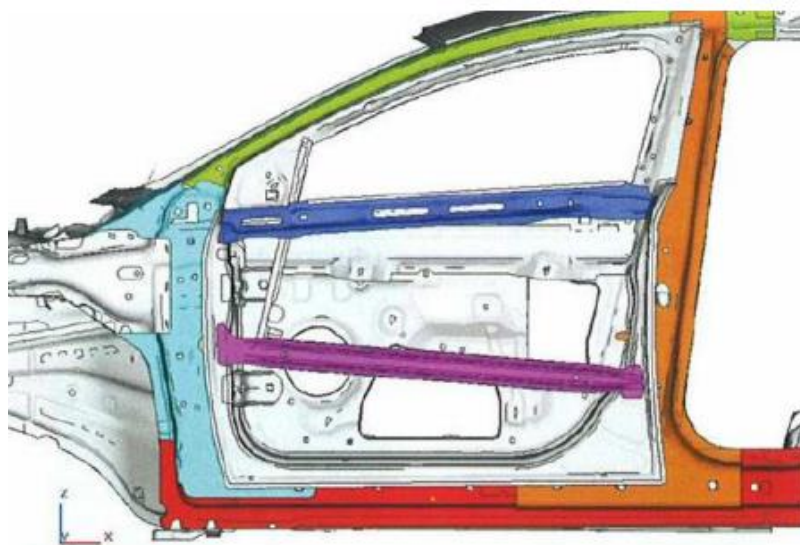


Zdroj: [42]

### Bezpečnostní zóna 3

Zóna 3 musí při nárazu odolat bez větších deformací, nejedná se tudíž o zónu deformační, nýbrž bezpečnostní. Tuhost této zóny a především B sloupku hraje velkou roli při bočním nárazu, kdy na posádku působí velké boční zrychlení. Při tomto nárazu by měla konstrukce absorbovat co největší množství energie, při co nejmenší deformaci. Z této podstaty je u sloupku A – světle modrý a B – oranžový (viz obrázek číslo 13) použito vysokopevnostních materiálů, které jsou vyrobeny tvářením za tepla. [40] [41] [42]

**Obrázek 13: Bezpečnostní zóna 3**



Zdroj: [42]



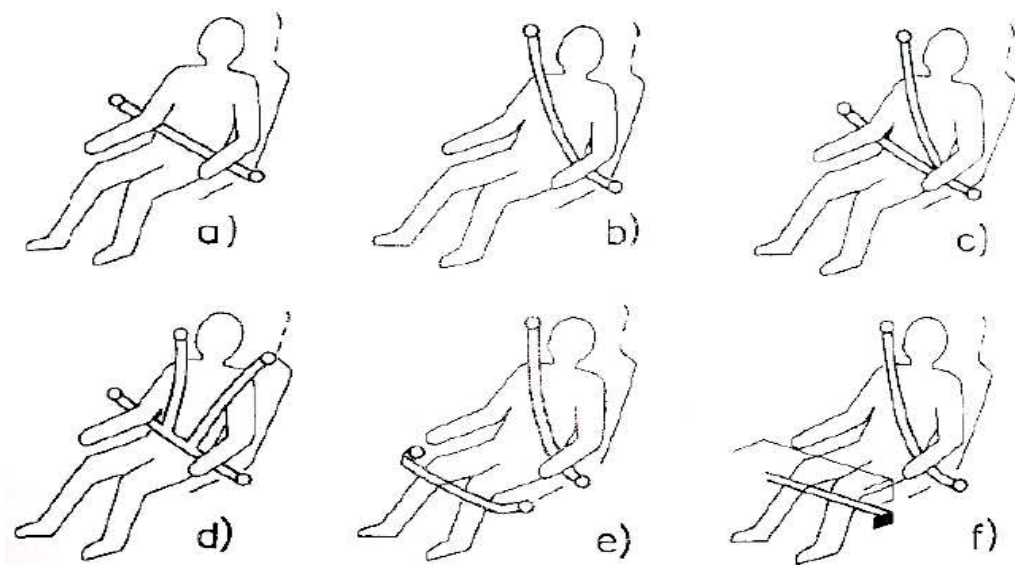
## Bezpečnostní pásy

Bezpečnostní pás je prvek používaný v dopravních prostředcích pro zvýšení bezpečnosti posádky a pro snížení následků nehody. Pomocí něho je cestující připoután k sedadlu. [43]

Jako nejspíše první přišel s myšlenkou bezpečnostního pásu v 19. století vědec a vynálezce George Cayley. Roku 1913 byl poprvé použit v letectví. Všeobecně došlo k rozšíření ve 30. letech. Jedná-li se o dnešní podobu bezpečnostního pásu, hlásí se k němu Švédové. V roce 1958 ho představili ve voze Saab GT 750 se standární výbavou na autosalonu v New Yorku. Moderní tříbodový pás s navíjením pro automobilku Volvo zdokonalil vynálezce Nils Bohlin, která ho představila roku 1959. Tento rok nechala automobilka zvýraznit na sponách pásů například u modelu XC90 nápisem „SINCE 1959“ (od roku 1959). [43] [44] [45]

Základní přehled druhů bezpečnostních pásů je na obrázku číslo 14. Nejvíce používaný je tříbodový pás, což je kombinace diagonálního a pánevního. Dvoubodový břišní pás je vzhledem k efektu tzv. „zavíracího nože“ používán zřídka například v autobusech či pracovních strojích. Čtyřbodový pás typu „šle“ je používán zejména u závodních a sportovních automobilů například rallye. Pro uzávěr pásu se používá ve většině případů tlačítkové ovládání z důvodu snadného jednoručního obsluhování upoutání a uvolnění. [15]

Obrázek 14: Druhy bezpečnostních pásů



Zdroj: [15] a) dvoubodový (břišní), b) dvoubodový (diagonální), c) tříbodový, d) čtyřbodový (šle), e) ramenní a kolenní, f) diagonální s kolenní opěrkou

Volný pohyb při jízdě a automatické přizpůsobení délky pásu tělesným rozměrům pasažéra umožňují samonavíjecí bezpečnostní pásy. Ramenní pás vede většinou přes průvlečný úchyt na boční stěně B sloupku do navíjecí cívky, která vtahuje pás zpět pod pružným napětím. [15] [46]

Blokovací schopnost samonavíjecího zařízení může být spuštěna dvěma dynamickými ději:

a) rychlým vytažením popruhu, přičemž blokovací zařízení je uvedeno do záběru např. setrvačnickovým kolem na ose cívky nebo

b) zrychlením při nárazu vozu v kterémkoliv směru, přičemž k blokaci dojde většinou vykývnutím kyvadla.

Většinou jsou obě blokovací funkce v samonavíjecím zařízení sloučeny. Podle předpisů EHK má být blokovací zařízení v činnosti již při zpoždění vozidla 0,4 g nebo při vytažení popruhu zrychlením 0,6 g a vyšší. [15] [46]

Z důvodu tzv. „volnosti pásu“, roztažnosti pásu a časově zpožděného účinku navíjecího zařízení tzv. „efekt filmové cívky“ mají tříbodové pásy při čelním nárazu rychlostí vyšší než 40 km/h do pevné překážky omezený ochranný účinek. Již nemohou bezpečně zabránit nárazu těla či hlavy na volant respektive přístrojovou desku. Proto je použit napínač, který při nárazu odstraní stádium „volnosti pásu“ a „efekt filmové cívky“ tím, že se pás navine a zároveň předepne silou 3 až 5 kN. Vůle v pásu je nulová. Jeho plnou účinnost dosáhne při nárazu v rychlosti 50 km/h do 20 ms po nárazu, čímž podpoří funkci airbagu, který se plně nafoukne v průměru do 30 ms (viz praktická část). Následně se tělo pasažéra pohybuje ještě určitou část dopředu a tlačí do vyprazdňujícího se airbagu. Ke zmenšení volné dráhy tzv. „dopředného přemístění“ pasažéra v průběhu nehody se používá napnutí vlastního pásu nebo zámku pásu. Napínací zařízení (předpínač) může být zřízeno mechanicky nebo pyrotechnicky. [15] [46]

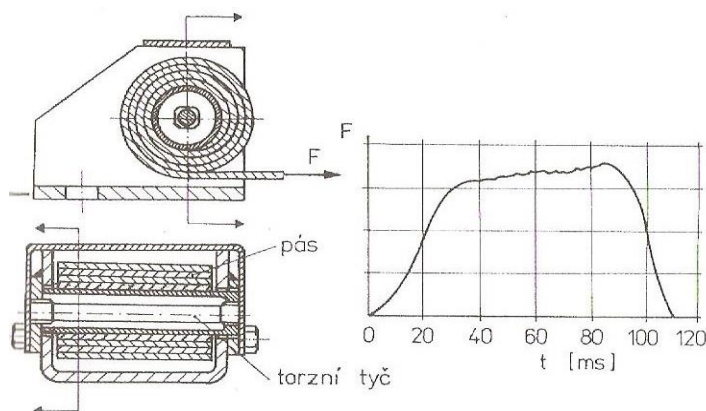
Z biomechanického pohledu je nežádoucí, aby síla v pásu překročila během srážky určitou mez. Za tímto účelem se používají omezovače síly v pásu. Tento omezovač musí být dimenzován v souladu s dráhou, která je k dispozici k dopřednému přemístění pasažéra.

Omezení zádržné síly je realizováno pomocí:

- plastické deformace – torzní element (tyčky),
- suchým třením – třecí obložení,
- destrukcí pásu – trhací šev. [15]

Průběh síly redukovaný prvním způsobem – torzním elementem je znázorněn na obrázku číslo 15. Element cíleně redukuje blokovací účinek navijecí pásu. Až do konstrukčně určené mezní síly v pásu zůstane navijecí cívka pevně zablokována. Při dosažení nebo překročení maximální síly se torzní element podle tažné síly na pás začne plasticky deformovat. Vlivem deformace může dojít k mírnému pohybu cívky zpět a již navinutý pás částečně opět povolit. [15]

**Obrázek 15: Omezovač síly v pásu torzním elementem**



Zdroj: [15]

## Airbagy

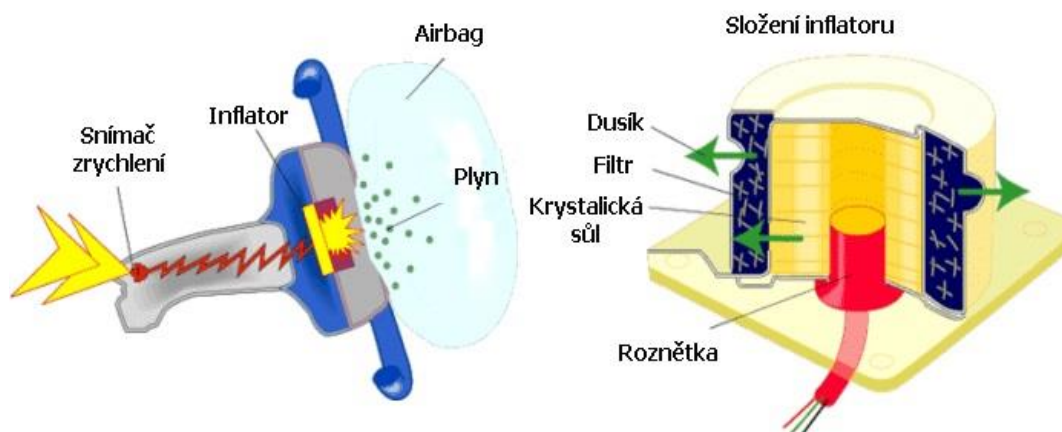
Airbag je nedílnou součástí pasivní bezpečnosti vozidel, který se v případě dopravní nehody nafoukne před pasažérem a zbrzdí, popřípadě znemožní náraz těla o vnitřní část vozidla. Pro správnou funkci je nutné společné užití bezpečnostního pásu, jelikož airbag není schopen pasažéra zadržet, ale pouze snížit kinematiku jeho těla. [15]

Airbag vynalezl John W. Hetrick v roce 1952, který si ho nechal o rok později patentovat. Americký vynálezce Allen Breed roku 1967 poskytl firmě Chrysler svůj senzor pro detekci nárazu, který tvoří důležitou součást systému airbagů. Jako první vozidla značky Chevrolet vybavená airbagem vyjela z linky v roce 1972. V této době byl airbag považován za možnou alternativu bezpečnostního pásu. V roce 1980 automobilka Mercedes – Benz

vybavila své sériově vyráběné vozidlo W126 čelním airbagem, ale již nebyl považován za možnou alternativu bezpečnostního pásu, nýbrž za doplněk zvyšující bezpečnost. Jako první se sériově montovaným airbagem řidiče i spolujezdce se stal v roce 1987 automobil Porsche 944. V roce 1995 již nabízela automobilka Volvo ve svém modelu 850 boční airbasy a o tři roky později automobilka BMW hlavové airbasy. [47]

Veškeré airbasy jsou složeny z vaku, inflátoru – plynového generátoru (viz obrázek číslo 16) a řídicí jednotky se senzory zrychlení. Řídicí jednotka aktivuje jednotlivé airbasy na základě přijatých signálů od senzorů zrychlení, respektive zpomalení jednotlivě pro každý směr. Nemělo by tak dojít k aktivaci např. obou čelních airbagů při jasně bočním nárazu. V době nárazu kdy snímač zrychlení vyhodnotí kritické hodnoty, vyše řídicí jednotka signál do určených airbagů, respektive inflátorů. Částice pro tvorbu plynu v inflátoru jsou zažehuty elektrickým můstkovým zapalovačem s roznětkou v tělese inflátoru. Dojde k chemické reakci produkující plyn, který vak naplní.

Obrázek 16: Řez airbagem

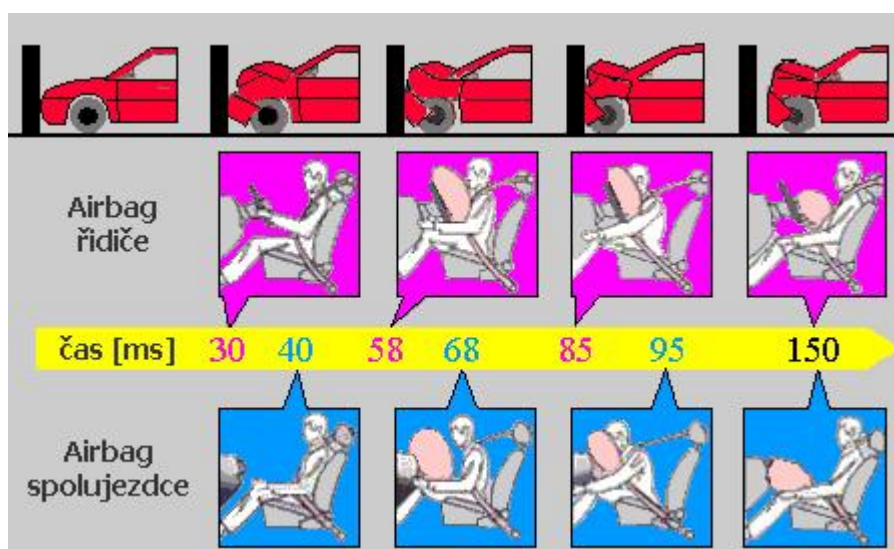


Zdroj: [47] – upraveno

Průběh činnosti airbagů (viz obrázek číslo 17) začíná nárazem automobilu na překážku v čase označeným jako  $t = 0$  ms, v čase  $t = 25$  ms senzor nárazu udává pokyn řídicí jednotce pro aktivaci roznětky v čelním airbagu řidiče a spolujezdce, následně dochází k chemické reakci a tvorbě plynu pro naplnění vaků. V čase  $t = 60$  ms je vak řidiče plně naplněn a připraven pohltit kinematickou energii řidiče. U spolujezdce k tomuto jevu dochází pouze o pár ms později. Přibližně v čase  $t = 100$  ms jsou cestující plně ponořeny do vaku. Následně dochází ke zpětnému pohybu posádky. V čase  $t = 150$  ms jsou cestující již opřeny o opěradla. Veškerý pohyb osob v čase během nárazu vozidla je znázorněn pouze

orientačně. Mění se v závislosti na rychlosti nárazu, vzdálenosti cestujícího od airbagu, hmotnosti cestujícího atd. Z tohoto důvodu jsou moderní airbagy tzv. adaptabilní, který jsou schopny přizpůsobit nafouknutí např. podle intenzity nárazu. [47] [48]

Obrázek 17: Průběh aktivace airbagů



Zdroj: [47]

Existuje mnoho typů airbagů. Mezi nejběžnější a zároveň s největší historií jsou **čelní**, kterým je věnována i praktická část této diplomové práce. Další typy jsou například boční, hlavové, kolenní, integrované do bezpečnostních pásů, zadní – vyplňující prostor za hlavovými opěrkami. [49]

**Čelní airbagy** mají za úkol chránit pasažéry na předních sedadlech před poraněním hlavy, hrudníku a krční páteře při nárazu vozidla do pevné překážky rychlostí do 60 km/h. Při čelním nárazu dvou vozidel chrání čelní airbagy pasažéry do rychlosti 100 km/h. Samotný bezpečnostní pás není schopen při tak velkém nárazu zabránit kontaktu hlavy s volantem či palubní deskou. Airbagy mají pro splnění tohoto úkolu různé plnicí množství a průběhy nárůstu tlaku ve vacích. Na straně řidiče je bezpečnostní nafukovací vak standardně umístěn přímo v hlavici volantu. Na straně spolujezdce je zabudován do palubní desky či nad čelní okno. Aby byl zajištěn maximální ochranný účinek při dopravní nehodě, musí být airbag zcela naplněn již před kontaktem s pasažérem. Náběhem těla do vzduchového polštáře se začne postupně vyprazdňovat z důvodu absorbování energie, kterou chráněná osoba do něj naráží. Následné poranění hlavy, hrudníku či krční páteře se v tomto důsledku výrazně zmírní nebo zcela zabrání. [15]

Nejlepší ochranný efekt pro pasažéry při čelním, přesazeném nebo šikmém nárazu se docílí odladěnou souhrou pyrotechnických, elektricky odpalovaných čelních airbagů a předpínačů bezpečnostních pásů. K maximalizaci účinku obou ochranných zařízení z důvodu časové optimalizace dochází k aktivaci ze společné řídicí jednotky. Při tomto procesu měří řídicí jednotka jedním až dvěma snímači zrychlení – zpomalení vzniklé při nehodě a z toho vypočítává změnu rychlosti (přetížení). Důležitým úkolem řídicí jednotky je posouzení nárazu například úder kladivem při servisu vozidla, lehké nárazy, jízda přes výmoly, atd., při kterých nesmí dojít k aktivaci airbagů. Signály od snímačů se proto zpracovávají v digitálních vyhodnocovacích algoritmech, kde se parametry citlivosti optimalizovali pomocí sběru dat ze simulací crash – testů. Podle výrobního konceptu (výbava, deformační chování karoserie) vozidla výrobce nastaví spouštěcí parametry airbagů do řídicí jednotky na konci montážní linky, je-li to nutné. [15] [50]

### **Hlavové opěrky**

Úkolem hlavové opěrky je snížit riziko poranění krční páteře (hyperflexe krku) pokud dojde k nárazu do vozidla zezadu jiným vozidlem. Pro správnou funkci hlavových opěrek je nutné jejich individuální nastavení před jízdou. Pohyb hlavy, který nastává v situaci zadního nárazu se nazývá whiplash injury – prásknutí bičem. Nebezpečí tohoto poranění spočívá v jeho inkubační době, která může trvat několik týdnů až měsíců. Za správné nastavení se považuje, že horní část opěrky převyšuje 2 cm nad temenem hlavy pasažéra. Toto nastavení je důležité i při čelním střetu, kdy se tělo pohybuje vpřed a po zachycení airbagem s bezpečnostními pásy se začne pohybovat zpět do sedadla, ale po vyšší trajektorii než byl pohyb dopředný. Vzdálenost mezi hlavou pasažéra a opěrkou by neměla převýšit 5 cm. V případě větší vzdálenosti se pravděpodobnost poranění (následků) výrazně zvyšuje. Vybraná vozidla jsou již vybavena tzv. aktivním opěrkovým systémem viz obrázek číslo 18. Úkolem aktivní hlavové opěrky je eliminovat prostor mezi hlavou a opěrkou. Tím dojde k vystužení krční páteře pasažéra, čím následně pomůže zachytit setrvačné síly zatěžující v okamžiku nárazu krční páteř. Při správném použití aktivní hlavové opěrky dojde ke snížení ohybového momentu krční páteře až o 45 %. Způsobů konstrukčního provedení je mnoho, na obrázku číslo 18 je znázorněn čistě mechanický (využívá se síla působící do opěradla sedadla pro vysunutí opěrky hlavy) či pomocí servomotorů. [51] [52]

Obrázek 18: Aktivní opěrky hlavy



Zdroj: [51] [52] A = Mechanický systém, B = Servomotorový systém

### Zkoušky pasivní bezpečnosti

Hlavním kritériem pro přežití pasažérů ve vozidle je velikost prostoru pro přežití společně s velikostí přetížení na lidský organismus (biomechanická kritéria). Míra funkce pasivní bezpečnosti se posuzuje pomocí statické a dynamické zkoušky celého vozidla, nebo jednotlivých prioritních částí. **Statické** zkoušky jsou zaměřeny na pevnost sedadel, úchyty bezpečnostních pásů, závěsy bočních dveří, atd. **Dynamické** zkoušky tzv. bariérové zkoušky se soustředí na odolnost karoserie či jednotlivých dílů při dynamickém zatížení, funkčnost bezpečnostních systémů, atd. [53] [54] [55]

Bariérové zkoušky se provádí u vybraných vozidel, které jsou podle statistik nejčastějším druhem kolize. Hlavními představiteli nárazových zkoušek jsou organizace NHTSA a NCAP. Každá má rozdílnou metodiku testů z pohledu úhlu nárazu, rychlosti nárazu, druhu bariéry, atd. **NHTSA** (The National Highway Traffic Safety Administration) je nedílnou součástí amerického ministerstva dopravy, jímž úkolem je chránit životy, prevence proti zranění a snižovat náklady spojené s užíváním motorových vozidel. K dosažení těchto cílů shromažďuje a analyzuje údaje z dopravních nehod, které následně využívá k patřičným opatřením např. vyvíjí nové bezpečnostní normy pro vozidla či realizuje vzdělávací programy řidičům. Program **NCAP** (New Car Assessment Program) byl vytvořen v roce 1979 s cílem zvýšit bezpečnost cestujících. Výrobci se snaží vyvíjet bezpečná vozidla z důvodu co nejvyššího hodnocení, jelikož výsledky nárazových zkoušek jsou veřejné. [53] [54] [55]

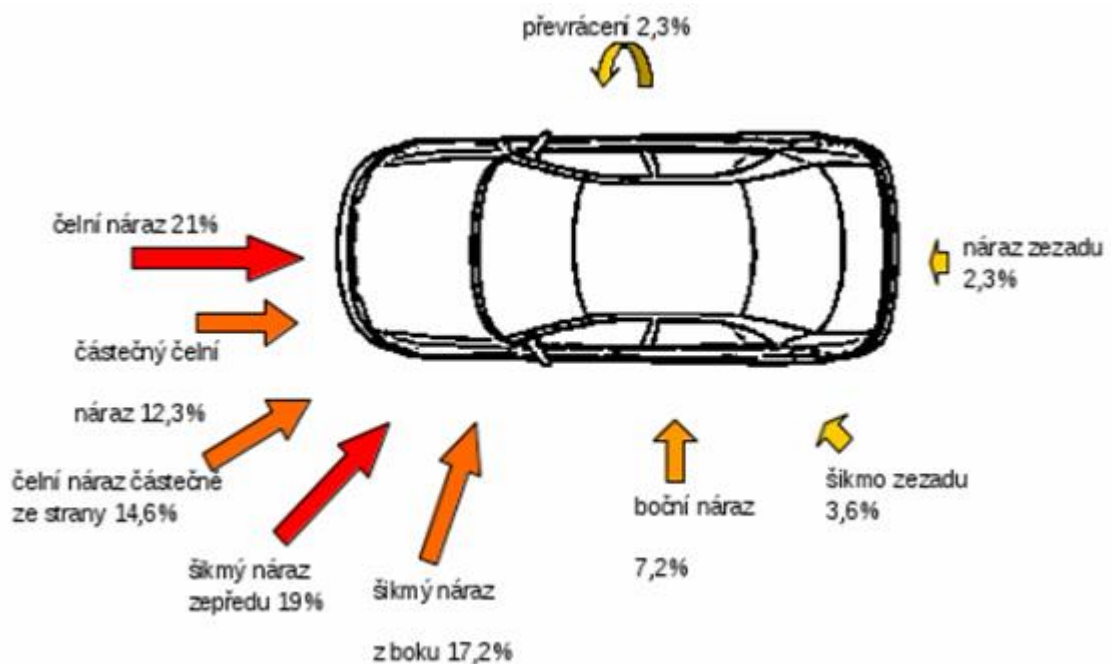
**Euro NCAP** je od roku 1998 oficiálně nezávislou mezinárodní organizací. Sdružuje představitele ministerstev dopravy zemí Evropské Unie, pojišťoven

a automobilových asociací. Realizuje nárazové zkoušky, při kterých hodnotí čtyři hlavní pilíře bezpečnosti:

- ochranu dospělých cestujících,
- ochranu dětí ve vozidle,
- ochranu chodců,
- aktivní bezpečnostní systémy. [53] [54] [55]

Při nárazových zkouškách podle Euro NCAP se zohledňují nehody ze statistik, při kterých dojde zejména k těžkému nebo smrtelnému zranění osob, proto se metodika zkoušek neustále přizpůsobuje skutečným nehodám. Procentuální podíl nárazu do vozidla je znázorněn na obrázku číslo 19. Aby automobilky nemohli ovlivnit výsledky nezávislých testů, je vozidlo pro měření vždy zakoupeno anonymně, tudíž v sériovém provedení a v základní výbavě s ohledem na pasivní prvky bezpečnosti. [53] [54] [55]

**Obrázek 19: Procentuální podíl nárazů do vozidla podle směru působení vnější síly**



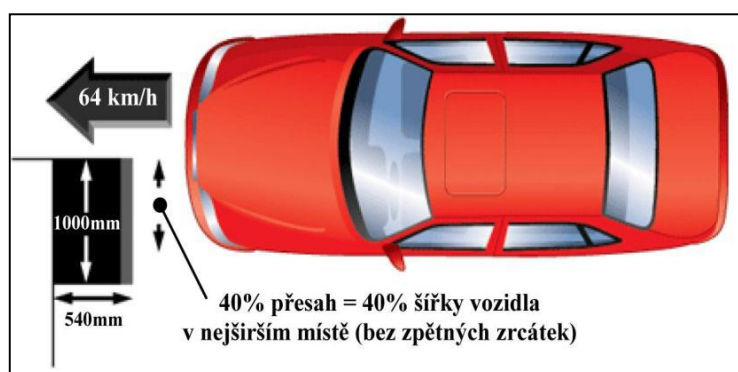
Zdroj: [53]

Zkoušky ochrany **dospělých** cestujících mají podobu: čelního vyoseného nárazu do deformovatelné bariéry, čelního nárazu do pevné bariéry, bočního nárazu, nárazu na sloup, Whiplash testu a AEB testu (autonomního nouzového brzdění). [53] [54] [55]



Čelní vyosený náraz do deformovatelné bariéry patří mezi nejčastější druh kolize (viz obrázek číslo 20). Zkouška se realizuje v rychlosti 64km/h (40 mph) při hodnotě přesazení vozidla vůči bariéře 40 % bez zpětných zrcátek. Rozměr bariéry je normalizován na šíři 1000 mm s hloubkou 540 mm. Figuríny ve vozidle jsou umístěny na pozici řidič (muž), dospělý spolujezdec, dítě ve věku 1,5 roku vzadu uprostřed či za spolujezdcem a dítě ve věku 3 roky vzadu uprostřed nebo za řidičem. [53] [54] [55]

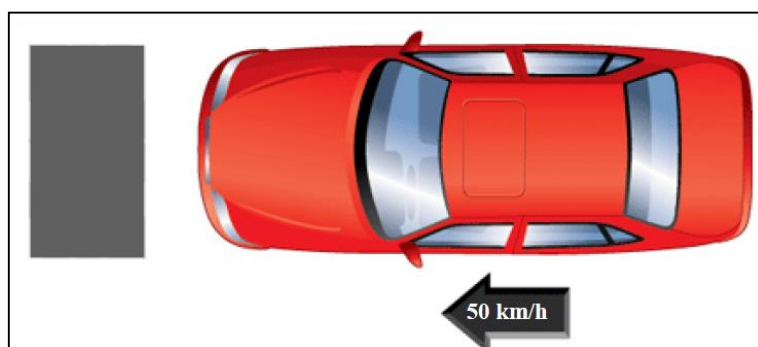
**Obrázek 20: Čelní vyosený náraz do deformovatelné bariéry**



*Zdroj: [53]*

Čelní náraz do pevné bariéry (viz obrázek číslo 21) byl zařazen do testů Euro NCAP v roce 2015. Realizuje se v rychlosti 50 km/h (30 mph) při plném překrytí. Bariéra je pevný železobetonový kvádr. Figuríny ve vozidle jsou umístěny na pozici řidič (žena) a spolujezdec (žena) na zadním sedadle za sedadlem předního spolujezdce. [53] [54] [55]

**Obrázek 21: Čelní náraz do pevné bariéry**

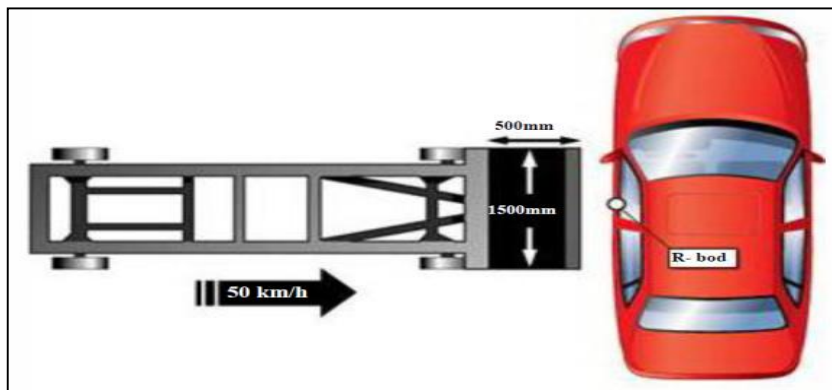


*Zdroj: [53]*

Boční náraz do deformovatelné bariéry se realizuje v rychlosti 50 km/h (30 mph) do tzv. R bodu viz obrázek číslo 22. Bariéra je ve tvaru kvádru o rozměrech šíře 1500 mm a hloubce 500 mm, její hmotnost je stanovena na  $950 \pm 20$  kg. Figuríny ve vozidle jsou

umístěny na pozici řidič (muž), dítě ve věku 1,5 roku vzadu uprostřed nebo za řidičem a dítě ve věku 3 roky vzadu uprostřed či za spolujezdcem. [53] [54] [55]

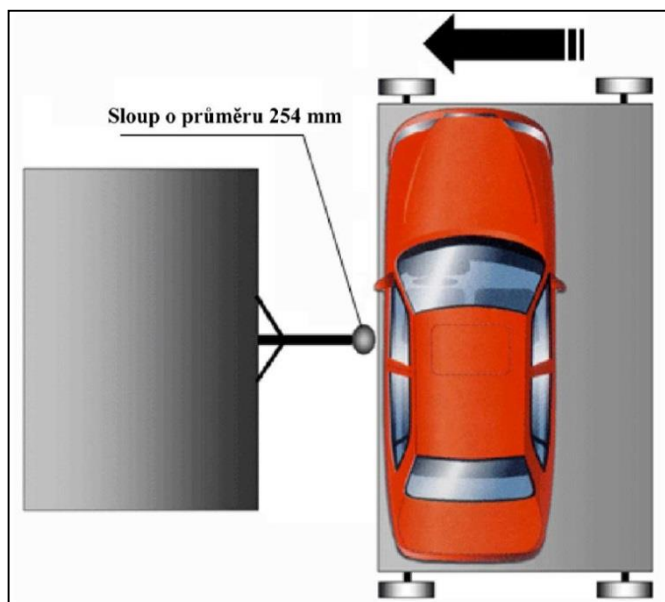
**Obrázek 22: Boční náraz do deformovatelné bariéry**



*Zdroj: [53]*

Boční náraz na sloup je realizován v rychlosti vozidla 32 km/h (20 mph) na pozici hlavy řidiče přičemž je vůz umístěn v pravém úhlu ve směru pohybu viz obrázek číslo 23. Průměr sloupu představuje 254 mm. Figurína ve vozidle je umístěna pouze na pozici řidiče (muž). [53] [54] [55]

**Obrázek 23: Náraz na sloup**



*Zdroj: [53]*

Whiplash test neboli testování sedadel včetně jejich opěrek hlavy pro ochranu krční páteře byl zařazen do programu Euro NCAP v roce 2009. Jedná se o simulaci nárazu zezadu

do vozidla ve třech intenzitách – v rychlostech 16 – 24 km/h. Ve vozidle je umístěna speciální figurína umožňující měření zatížení krční páteře. [53] [54] [55]

AEB test neboli zkouška automatického nouzového brzdění byla zařazen do programu Euro NCAP v roce 2014. Testování se provádí ve více fázích v rychlostech 10 – 50 km/h. Fiktivní překážku před vozidlem simuluje tzv. target, jedná se o nafukovací bariéru. [53] [54] [55]

V průběhu zkoušek pro ochranu **děti** ve věku 1,5 a 3 let se hodnotí, jak celý zádržný systém zareaguje na síly a zatížení působící v oblasti krku a hrudníku při čelním nárazu. Při bočním nárazu se posuzuje ochrana hlavy dítěte. Dalšími posuzovanými činiteli jsou přítomnost isofixu (pevné ukotvení dětské autosedačky), štítky s označením přítomnosti airbagu pro sedadlo spolujezdce, informovanost řidiče o stavu aktivity spolujezdcova airbagu. [53] [54] [55]

Zkoušky pro ochranu dětských a dospělých **chodců** se realizují v rychlosti 40 km/h. Není použita celá figurína, nýbrž makety částí těla (spodní část nohy, horní část nohy, hlava). Rovněž dochází ke zkouškám autonomního brzdění při vstupu chodce před vozidlo. [53] [54] [55]

Hodnocení **aktivních bezpečnostních systémů** vozidel se provádí na základě přítomnosti elektronických asistentů:

- ESP (elektronická stabilizace podvozku),
- AEB (autonomní krizové brzdění),
- Lane Assist (udržování vozu v jízdním pruhu),
- výstražné upozornění nepřipoutaných osob. [53] [54] [55]

### 3 Cíl práce

Obecným cílem práce je přispět k problematice bezpečnosti silniční dopravy prostřednictvím analýzy pasivní bezpečnosti vozidel s důkladným zaměřením na čelní airbagy. Zvoleného cíle bude dosaženo prostřednictvím několika dílčích cílů:

- volba vhodných airbagů a jejich popis,
- měření reakční doby a průběhu nafukování airbagů,
- vyhodnocení naměřených dat a vzájemné porovnání.

Základní hypotézou práce je, že airbag, který překročil lhůtu své expirace, má pomalejší reakci na počáteční impulz s čímž je spojena delší doba naplnění plynem. Rovněž se vlivem stáří zvyšuje riziko oddělení některé části airbagu během aktivace, čímž by mohlo být ohrožené bezpečí cestujících ve vozidle. V závěru práce bude stěžejním rozhodnutím, zda je nutné airbagy v pravidelných intervalech měnit či nikoliv.

## **4 Metodika práce**

V kapitole (2) rozboru současného stavu je zvolena metodika prostudování odborných publikací (viz citovaná literatura) na jejichž základě je provedena analýza s následnou faktografickou rešerší. Na počátku byl proveden rozbor současného stavu bezpečnosti dopravy s ohledem na množství nehod a jejich následků. Dále je uveden nástin systémů aktivní bezpečnosti, ucelený přehled nejběžnějších prvků pasivní bezpečnosti a v poslední části jsou popsány zkoušky pasivní bezpečnosti – zejména hodnocení vozidel dle Euro NCAPu.

### **Volba vhodných airbagů a jejich popis**

Pro měření bylo vybráno šest čelních airbagů z vozů výrobce Škoda. Všechny byly z důvodu přílišného stáří vyřazeny z provozu. Věk jednotlivých airbagů se pohyboval v rozmezí 15 až 20 let. Určení roku výroby bylo možné pomocí data výroby vozidla, které daným airbagem bylo vybavené, nebo pomocí výrobního štítku vylepeného na zadní straně kovového těla airbagu.

### **Měření reakční doby a průběhu nafukování airbagů**

V kapitole praktické části experimentu byl za pomoci rychlokamery včetně jejího příslušenství zaznamenáván průběh aktivace každého měřeného airbagu zvlášť. K samotné aktivaci byla zapotřebí automobilová baterie, vodiče, spínací prvek, LED dioda, kotvící zařízení, airbag, deska s vyznačenou dráhou. Veškeré naměřené veličiny byly zaznamenány do programu MS Excel 2013.

### **Vyhodnocení naměřených dat a vzájemné porovnání**

Veškeré naměřené veličiny zaznamenané do programu MS Excel 2013 byly vyhodnoceny pomocí tabulek a následně do grafů. Závěrem vzejde rozhodnutí, zda airbagy podléhají stáří, jak udávají výrobci, či nikoliv.

Prvním zásadním faktorem byla bezchybná aktivace rozbušky uvnitř airbagu pomocí elektrického impulzu. V případě chybné aktivace, respektive nedošlo by k aktivaci, lze považovat airbag za nevyhovující, tudíž podléhající stáří.

Druhým sledovaným faktorem byl čas plného nafouknutí, ze kterého lze dopočítat i jeho rychlost pomocí známé dráhy, která je zjevná na snímcích z rychlokamery.

Z dopočtené rychlosti je možné určit průběh a velikost zrychlení v závislosti na čase. Výsledný čas každého airbagu byl srovnán s maximálně povoleným. Na základě těchto výsledků bylo možné určit, zda je rychlost nafouknutí vaku před pasažérem v toleranci, v opačném případě lze airbag hodnotit jako podléhající stáří.

Třetím důležitým faktorem je pozorování předmětů, které se v průběhu zkoušky oddělí od airbagu, čímž mohou způsobit poranění cestujícím, v okrajových situacích až smrtelné. V případě oddělení nebezpečných předmětů by bylo možné airbag rovněž hodnotit jako podléhající stáří.

Posledním sledovaným faktorem je zjištění doby reakce roznětky od přivedení impulzu k airbagu, respektive porovnání reakční doby jednotlivých airbagů. V případě, že by rychlost reakce byla příliš pomalá, což by zapříčinilo pozdní nafouknutí vaku během dopravní nehody, lze airbag bez pochyb hodnotit jako podléhající stáří nebo-li jako velmi nebezpečný. Není přípustné, aby došlo k aktivaci ve chvíli, kdy hlava pasažéra je v nežádoucí blízkosti airbagu, neboť airbag musí být plně nafouknutý ještě před kontaktem s částí těla cestujícího.

## 5 Experiment

Praktická část této diplomové práce je zaměřena na potvrzení či vyvrácení tvrzení výrobců automobilů, kteří uvádějí v manuálech (servisních knihách) jednotlivých vozidel nutnou výměnu airbagů v závislosti na čase. Tzn., že vozidlo vybavené airbogy má předem určený interval výměny jednotlivých airbagů výrobcem. Zpravidla se lhůta pro výměnu udává v rozmezí 8 – 15 let, proto jsou k testování vybrány airbogy starší 15ti let. Konkrétně se jedná o airbogy z koncernových vozů Škoda Felicia (20 let stáří), Octavia I generace (17 let stáří), Fabia I generace (15 let stáří). Tato lhůta bývá často opomíjená z důvodu vysokých nákladů. Ceny jednotlivých airbagů se pohybují v řádech tisíců až desetitisíců v závislosti na konkrétním typu, což mnoho majitelů odradí od této investice do 15 let starého vozidla. Demontáž s následnou montáží například spolujezdcových airbagů není nic snadného, s čímž souvisí i vysoké náklady na samotnou výměnu v autorizovaném servise.

Mnoho automobilek např. BMW, Toyota naopak tvrdí, že jejich airbogy nepodléhají stáří v závislosti na čase, proto by experiment měl ujasnit veškeré pochybnosti o tomto tématu. Popisují jednotlivé části airbagů jako věčné – rozbuška je hermeticky uzavřena, což je zkoušeno héliem. Kovový obal je pozinkovaný proti korozi a samotný plastový kryt společně s látkou vaku je nedegradující v průběhu stáří.

Tvrzení že airbogy mohou být i velmi nebezpečný prvek již potvrdila velmi známá kauza airbagů firmy Takata, které montovala do svých vozů automobilka Honda. Z důvodu vadných inflátorů došlo při aktivaci k vymrštění střepů do interiéru vozidla, které měly na svědomí poranění posádky. Ve čtrnácti evidovaných případech byly následky fatální. Dodnes dochází ke svolávacím akcím pro výměnu těchto nebezpečných airbagů po celém světě, včetně České republiky. Jedná se přibližně o 70 miliónů vozidel, ve kterých byly nainstalovány. Nejtragičtější případ nastal v červnu roku 2014, kdy těhotná řidička v rychlosti 30 km/h způsobila nehodu, při které podlehl zranění vadných airbagů včetně nenarozeného dítěte, které zemřelo tři dny po nehodě. Ovšem tento případ nemá na svědomí degradace airbagů vlivem stáří, nýbrž podcenění již během vývoje.

Samotná zkouška byla provedena na podobném principu, jako testuje airbogy známá společnost např. TÜV SÜD. Velké společnosti jsou vybaveny nejmodernějšími prvky a mají větší možnosti. Mezi nejzásadnější patří kvalita a rychlost snímání rychlokamery, nebo jejich komory kde je možné simulovat teplotu od -70 °C do +150 °C včetně vlhkosti

vzduchu, slané prostředí, UV záření, atd. Bez pochyb nejdůležitějším článkem je rychlokamera, která snímá ukotvený airbag ve svěráku. Kotvení proběhlo pomocí prvku simulující volantovou tyč, který byl pevně sevřena mezi čelisti svěráku. U spolujezdce airbagu došlo k ukotvení za samotné tělo (obal). Z konektoru každého měřeného airbagu vedl vodič o známé délce 1,5 metru k LED diodě, která znázorňovala okamžik přivedení impulzu k airbagu. Z této diody vedl vodič s délkou 5 metrů k autobaterii, na jejichž dráze byl umístěn spínač pro umožnění řízené aktivace. V pozadí měřených airbagů byla umístěna deska se známým rozčleněním po 5 cm pro snadné určení polohy v příslušném momentu. V okamžiku spuštění spínače byl vyslán signál přes LED diodu do airbagu, který se aktivoval. Během tohoto průběhu rychlokamera snímala každé 2 ms okamžik rozsvícení diody s následnou aktivací airbagu, až po jeho vyfouknutí. Kompletní schéma prvků použitých pro experiment je znázorněné na obrázku číslo 24.

**Obrázek 24: Schéma stanoviště**



*Zdroj: [vlastní], 1 = osvětlení, 2 = odměrná deska, 3 = LED dioda, 4 = svěrák, 5 = airbag,  
6 = vodič, 7 = autobaterie, 8 = Spínač, 9 = rychlokamera, 10 = Počítač*



Měření probíhalo v prostorách dílen katedry vozidel 4. 12. 2018 přičemž byly testovány airbagy z vozů:

- 3x Škoda Felicia – čelní volantový,
- 1x Škoda Felicia – čelní spolujezdce,
- 1x Škoda Fabia I – čelní volantový,
- 1x Škoda Octavia I – čelní volantový.

Stáří airbagů z vozidla Škoda Felicia nebylo možné odečíst z jejich obalu, tudíž bylo stanoveno přibližně na 20 let podle data výroby vozidel. Z vozidla Škoda Fabia bylo možné odečíst přesný rok výroby – 2001 (stáří 17 let v okamžiku měření). U airbagu ze Škody Octavie I. generace byl rok výroby rovněž patrný – 2003 (Stáří 15 let v okamžiku měření), přičemž podle servisního plánu je lhůta pro výměnu striktně stanovena na 12 let.

### **Osvětlení**

Dobré osvětlení je důležitým činitelem pro snímání rychlokameru. Je přímá úměra mezi kvalitou osvětlení a nastavením počtu snímků, které lze zaznamenat. Z důvodu nepřízně počasí bylo nutné experiment provést uvnitř budovy s přídatným osvětlením (viz obrázek číslo 24) s nastavením rychlokamery na 500 snímků za sekundu pro dostatečnou kvalitu záznamu.

### **Odměrná deska**

V pozadí každého testovaného airbagu byla umístěna deska, se známým členěním po 5 cm. Sloužila pro odečet uražené vzdálenosti airbagu v daný moment z důvodu dopočtu rychlosti a snazšího určení ustálení plně nafouknutého vaku. Jednalo se o papírovou podobu s předtištěnými čtverci uchycenou do hliníkového rámu, viz obrázek číslo 25.

**Obrázek 25: Odměrná deska**



*Zdroj: [vlastní]*

### **LED dioda**

Za účelem snadného určení doby reakce jednotlivých airbagů byla do elektrického obvodu zakomponována svítící dioda (viz obrázek 26), která se nacházela v zorném poli snímací kamery. Na obrázku 26 je znázorněn soubor čtyř diod, ale pro samostatný test stačilo zapojení pouze jedné, aby nedošlo k rozostření obrazu. Během experimentu byla zachována totožná délka vodiče od diody ke konektoru airbagu, pro stejný časový průběh impulsu k aktivaci airbagu. Ve výsledcích bude odečtena a následně porovnána doba od rozsvícení diody po první moment činnosti každého airbagu.

**Obrázek 26: LED dioda**



*Zdroj: [vlastní]*

### **Svěrák**

Pro ukotvení všech testovaných airbagů včetně držáku diody posloužil obyčejný svěrák. Ovšem toto řešení nebylo v jednom případě zcela dostačující, viz výsledky experimentu.

### **Airbag**

Čelní volantové airbasy byly usazeny do původních volantů. Skrze úchyt na volantovou tyč byl prostrčen kotvicí přípravek pro snadné uchycení do svěráku. U airbagů z vozidla Škoda Felicia došlo při třetím měření k odstranění části věnce volantu z důvodů přesnějšího určení doby reakce airbagu. Spolujezdčův airbag bylo možné uchytit za hliníkový obal mezi svěrné čelisti svěráku.

### **Vodiče**

K propojení autobaterie, spínacího prvku, diody a airbagu byl použit dvoulinkový měděný vodič o délce 5 m mezi baterií a diodou, dále s délkou 1,5 m mezi diodou a airbagem. Spínací prvek stačilo umístit do vedení kladného pólu v blízkosti baterie z důvodu bezpečnosti.

## Autobaterie

Jako zdroj energie pro vyvinutí impulzu k aktivaci airbagu byla použita autobaterie Varta se stejným napětím jako je palubní běžného osobního vozu, tudíž 12V. Na obrázku 27 je rovněž znázorněn otočný spínací prvek pro řízené vyslání elektrického impulzu.

Obrázek 27: Autobaterie se spínačem

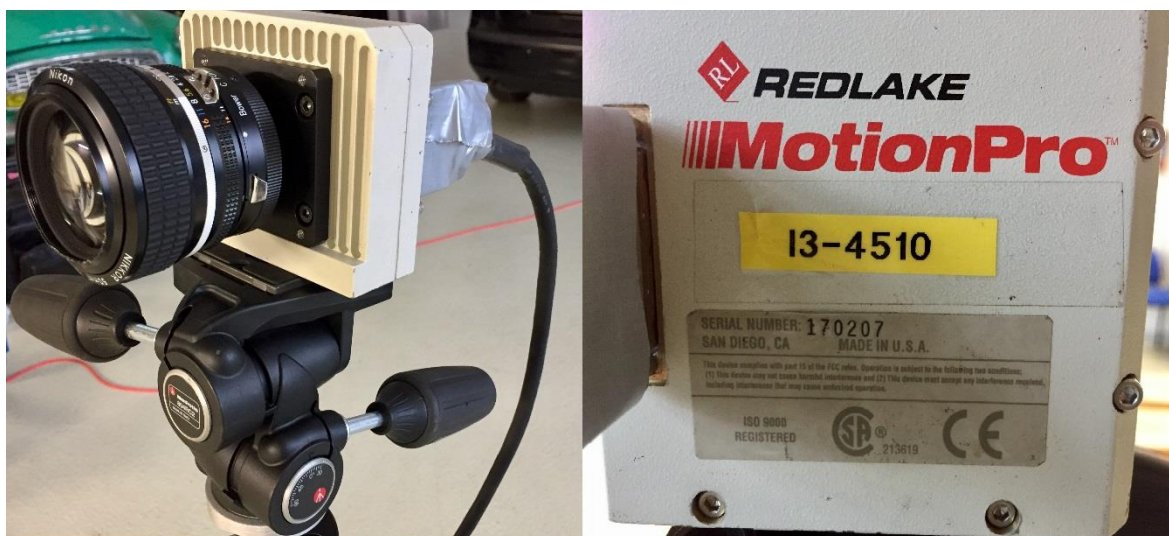


Zdroj: [vlastní]

## Rychlokamera

Pro záznam celého experimentu bylo použito záznamové zařízení od americké firmy MotionPro viz obrázek číslo 28. Tyto kamery dokáží v ideálních podmínkách zaznamenat až 10000 snímků za sekundu v rozlišení 1280 x 1024 pixelů. Rychlost záznamu v budově dílen byla možná nastavit na maximální rychlost 500 snímků za sekundu při rozlišení 512 x 512 pixelů v černobílé barvě.

Obrázek 28: Rychlokamera



Zdroj: [vlastní]

### Počítač

Pro spuštění záznamu bylo zapotřebí stolního počítače, který byl propojovacím vodičem spojený s rychlokamerou. Rovněž sloužil jako uložení jednotlivých záznamů aktivovaných airbagů s možností rychlého zhodnocení kvality obrazu.

### Vlastní test

Před vlastním testováním airbagů bylo zapotřebí připravit kompletní stanoviště, což spočívalo v umístění rychlokamery do správné vzdálenosti, ve které byl záznam zcela čitelný. Dále stačilo upevnit měřený airbag, umístit světlomety, nainstalovat vodiče společně se zakomponováním diody včetně spínače, připojit k baterii a propojit kameru s počítačem.

První tři měřené čelní volantové airbagy ze Škody Felicie proběhly bez jakýchkoliv komplikací. Další airbag byl spolujezdcův z téhož vozu. Při tomto testu došlo k vytržení ze svěráků z důvodu nedostatečného sevření obalu airbagu, což bezchybně simulovalo špatnou montáž ve vozidle a tak lze dopočítat rychlost a sílu jakou by byl airbag vržen proti pasažérovi na straně spolujezdce v případě dopravní nehody. Pro výpočet síly bylo nutné celý airbag po skončení měření zvážit. Vůz Felicie nebyl hodnocen podle společnosti Euro NCAP, pouze podstoupil test odolnosti, co se týče průjezdu nerovným terénem. Následovalo měření čelního volantového airbagu, nyní z vozu Škoda Fabia I, při kterém došlo k opětovnému vymrštění celého airbagu z důvodů špatné montáže do věnce volantu, ale ani toto nebylo na škodu, jelikož to opět umožnilo dopočet rychlosti a síly pro případ

reálné situace v průběhu dopravní nehody. Případy špatné montáže řidičova a spolujezdceva airbagu budou popsány v části výsledků. Fabia v roce 2000 již byla zařazena do hodnocení vozů společností Euro NCAP do kterého automobilka vybavila vůz párem čelních airbagů, které měly velmi pozitivní vliv na výsledky testu. Jako nedostatek uvedli nejednoznačné označení spolujezdceva airbagu s možností jeho deaktivace v případě přepravy malého dítěte v autosedačce na straně spolujezdce. Dalším nedostatkem je uvedeno osazení zadního prostředního sedadla pouze dvoubodovým (břišním) pásem. Airbag na straně řidiče byl již ve standardní výbavě, ostatní na přání zákazníka. Pásky byly vybaveny předpínači včetně omezovačů zádržné síly. Poslední testovaný airbag byl ze Škody Octavie I na straně řidiče. Tento test proběhl bez komplikací s bezchybným upevněním. Společností Euro NCAP Octavia I v roce 2001 rovněž prošla s pásky vybavenými předpínači, ale bez omezovačů zádržné síly. Zadní prostřední sedadlo bylo opětovně vybaveno pouze dvoubodovým pásem jako ve voze Fabia. O airbagách byla zmínka pouze okrajová a to o jejich přítomnosti na straně řidiče již ve standardní výbavě, ostatní na přání.

## 6 Výsledky

Výsledky experimentu jsou rozděleny podle počtu měřených airbagů do šesti kapitol. U každého je zvlášť posouzení odlétajících předmětů včetně dopočítání doby naplnění, rychlosti, zrychlení a ve dvou případech vytržení airbagů z držáků, navíc dopočítání síly. Doba (čas) reakce každého airbagu bude porovnána v samostatné kapitole. Z důvodu přehlednosti práce jsou airbasy označeny čísly 1 až 6 podle pořadí měření:

- airbag číslo 1 – volantový Felicia,
- airbag číslo 2 – volantový Felicia,
- airbag číslo 3 – volantový Felicia,
- airbag číslo 4 – spolujezdcův Felicia,
- airbag číslo 5 – volantový Fabia I,
- airbag číslo 6 – volantový Octavia I.

Doba reakce společně s dobou (časem) nafouknutí airbagů bylo možné odečíst z jednotlivých snímků rychlokamery, jelikož čas záznamu byl nastaven na frekvenci 2 ms. K dopočítání rychlosti slouží fyzikální vzorec:

$$\mathbf{V} = \frac{\mathbf{s}}{\mathbf{t}} \quad \mathbf{V} = \text{rychlost [m/s]}, \mathbf{s} = \text{dráha [m]}, \mathbf{t} = \text{čas [s]}$$

Vzorec výpočtu zrychlení:

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{V}}{\mathbf{t}} \quad \mathbf{a} = \text{zrychlení [m/s}^2\text{]}, \mathbf{V} = \text{rychlost [m/s]}, \mathbf{t} = \text{čas [s]}$$

Pro výpočet síly byl použit vzorec druhého Newtonova zákona:

$$\mathbf{F} = \mathbf{m} * \mathbf{a} \quad \mathbf{F} = \text{síla [N]}, \mathbf{m} = \text{hmotnost [kg]}, \mathbf{a} = \text{zrychlení [m/s}^2\text{]}$$

Výpočet síly byl proveden jen v případě airbagu čísla 4 a 5, jelikož pouze u těchto dvou lze přesně zvážit hmotnost, která se pohybuje proti pasažérovi. Síly by šly velmi orientačně dopočítat i v případě zvážení jednotlivých vaků, ale z důvodu velmi nepřesného určení hmotnosti, která se pohybuje proti pasažérovi v podobě samotného vaku airbagu, je tento údaj raději vynechán.

Časy, vzdálenosti, rychlosti, zrychlení a popřípadě síly budou uvedeny v tabulkách, kde bude možné jednoduché vzájemné porovnání.

Pro výsledek této diplomové práce je nejdůležitějším činitelem čas nafouknutí vaků v době simulace dopravní nehody. Tento údaj bude porovnán s limity, které udávají výrobci jako hraniční pro jejich plné naplnění. Z obrázku číslo 17 je patrný čas okolo 60 ms od prvopočátku vzniku dopravní nehody až po kontakt s pasažérem. U airbagu řidiče by se měl celkový čas pro aktivaci airbagu pohybovat do 50 ms. Jedná-li se o spolujezdcův airbag, je čas naplnění o 10 ms delší pro svůj větší objemu, neboť vyplňuje větší prostor mezi cestujícím a přístrojovou deskou. Musí být zohledněna prodleva impulzu aktivace od řídicí jednotky při vzniku nehody, která je v případě experimentu zanedbávána. Tato prodleva je stanovena na čas přibližně 15 ms u moderních vozů značky Škoda, tudíž pro námi testované airbagy platí hraniční hodnota u řidiče 35 ms a u spolujezdce 45 ms od prvního záznamu reakce samotného airbagu do plného nafouknutí vaku. Doba prodlevy v průběhu experimentu je změřena od první chvíle přivedení signálu k roznětce, což nezahrnuje prodlevu snímačů nárazu, řídicí jednotky, atd. Jedná se tak o prodlevu samotného airbagu, než vykoná pohyb. V případě překročení hodnot stanovených výrobcem by pravděpodobně došlo k dřívějšímu kontaktu pasažéra s airbagem než by byl připravený plnit svou funkci. Tento jev je zcela nežádoucí a tak by bylo možné vyhodnotit airbagy jako podléhající stáří, tudíž stanovit opravdovou nutnost jejich výměny.

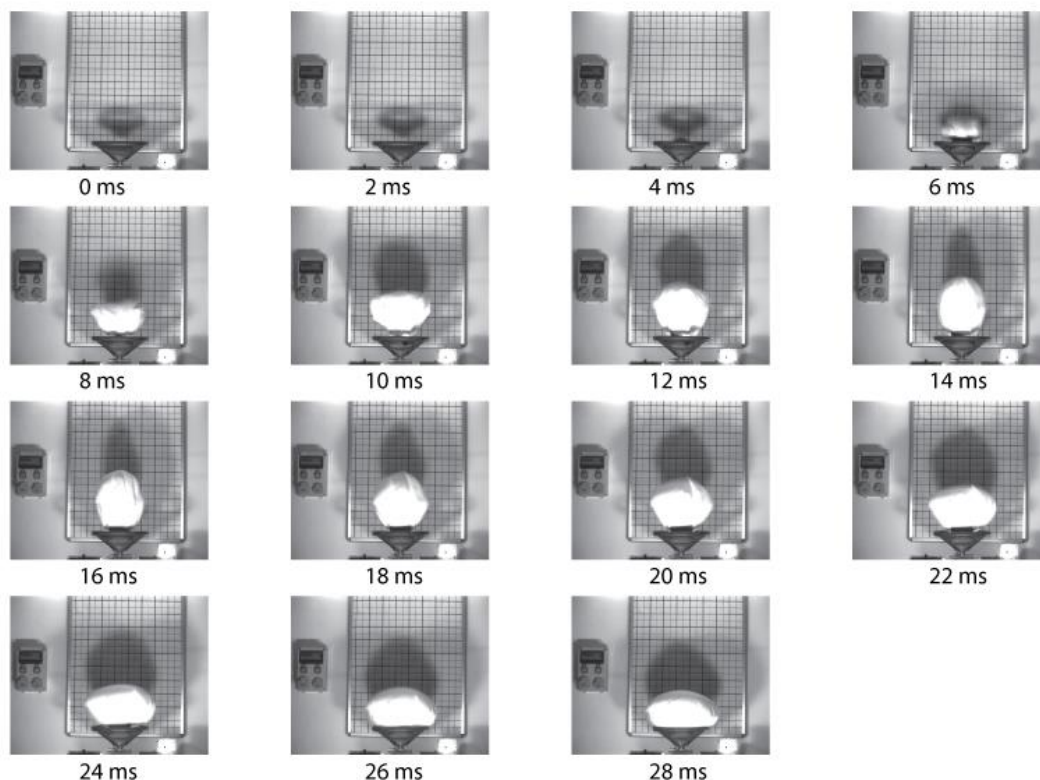
Pro srovnání je možné data porovnat s měřením modernějších airbagů vozu Škoda Yeti u kterého došlo k plnému naplnění vaku řidičova airbagu za 30 ms a u spolujezdcova za 40 ms s prodlevou od vzniku kolize do prvotního pohybu 15 ms (samostatná prodleva roznětky byla stanovena na 5 ms).

## **6.1 Airbag číslo 1 – volantový Felicia**

Výsledek první zkoušky zaznamenaný na obrázku číslo 29 byl nad veškeré obavy z přílišného stáří velmi dobrý. Již v průběhu prvních 2 ms je vidět nepatrná deformace obalu ve spodní mezeře airbagu. Ve 4 ms dochází k napnutí plastového krytu, který v 6 ms nevydrží napětí vyvolané silou airbagu a povoluje v předem určeném místě s následnou průchodností vaku. V čase 8 až 16 ms je vak vymršťen kolmo vzhůru do výšky 500 mm, tudíž musí být v průběhu nehody řidič v tento okamžik ve větší než zmíněné vzdálenosti od volantu, aby nedošlo ke kontaktu s obličejem či hrudníkem dříve, než je zcela naplněn. Následně dochází k postupnému roztahování vaku, až do úplného ustálení s výškou 300 mm, které je vidět v čase 28 ms.



**Obrázek 29: Průběh aktivace airbagu číslo 1 - volantový Felicia**



*Zdroj: [vlastní]*

Jak je ze sekvence snímků parné airbag byl zcela naplněn a připraven v čase 28 ms, což jednoznačně znamená splnění podmínky pro bezchybnou funkci v závislosti na čase naplnění. Dalším důležitým faktorem je rychlost reakce, která bude vyhodnocena zvlášť na konci kapitoly výsledků. Rovněž nedošlo k uvolnění žádného předmětu během testu, čímž je splněna další podmínka pro bezchybnou funkci. Dopočet rychlosti, zrychlení včetně dráhy v závislosti na čase je zaznamenán do tabulky číslo 3 s následným vynesemím v grafu číslo 1.

**Tabulka 3: Záznam hodnot z 1. měření včetně dopočtu rychlostí a zrychlení**

čas [s]	vzdálenost [m]	rychlost [m/s]	rychlost [km/h]	zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]
0	0	0	0	0
0,002	0,01	5	18	2 500
0,004	0,05	20	72	7 500
0,006	0,2	75	270	27 500
0,008	0,35	75	270	0
0,01	0,38	15	54	-30 000
0,012	0,45	35	126	10 000
0,014	0,47	10	36	-12 500
0,016	0,5	15	54	2 500
0,018	0,47	-15	-54	-15 000
0,02	0,45	-10	-36	2 500
0,022	0,4	-25	-90	-7 500
0,024	0,36	-20	-72	2 500
0,026	0,33	-15	-54	2 500
0,028	0,3	-15	-54	0
0,03	0,3	0	0	7 500

*Zdroj: [vlastní]*

Maximální rychlosti 270 km/h dosáhl vak airbagu v čase 6 ms ve vzdálenosti 20 cm od volantu kolmo vzhůru. Zrychlení dosahovalo nejvyšších hodnot rovněž v 6 ms. Z tohoto důvodu je nepřipustný kontakt posádky s čelním airbagem dříve než zcela proběhne fáze plnění, protože by to pro pasažéra znamenalo náraz na předmět, který se proti němu vrhá zmíněnou rychlostí, což by mohlo způsobit velmi vážná zranění či dokonce neslučitelná se životem. Od uplynutí 16 ms dochází ke stahování vaku zpět k volantu vlivem jeho rozpínání do finální podoby, proto by se rychlost dala považovat za zápornou.

**Graf 1: Rychlost a zrychlení airbagu číslo 1 v závislosti na čase**



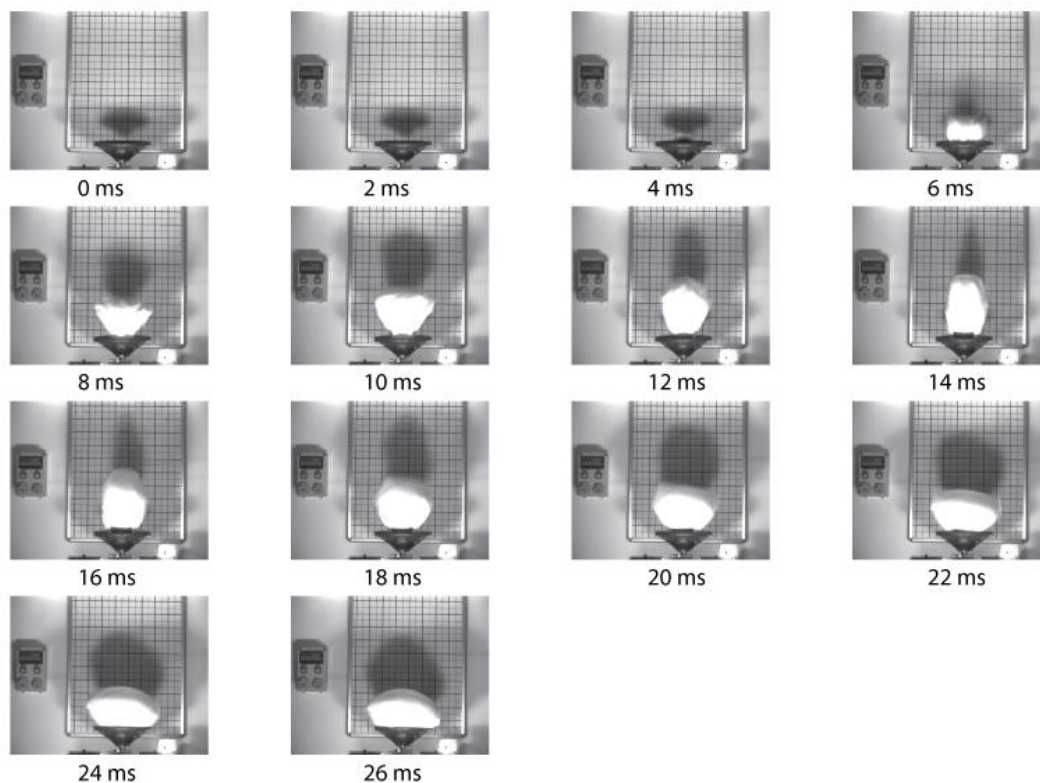
*Zdroj: [vlastní]*

Z grafu číslo 1 je znatelný prudký nárůst rychlosti během krátké doby. Okolo 17 ms je patrný převrat směru pohybu na vratný, který se mírně zrychlí, ale následně ustálí. Zrychlení v průběhu měření značně kmitá.

## **6.2 Airbag číslo 2 – volantový Felicia**

Výsledek druhé zaznamenávané aktivace airbagu rovněž ze Škody Felicia byl velice dobrý. Průběh je velmi podobný prvnímu měření, jenž ve finále dosáhl ještě lepšího výsledku. V prvních 2 ms došlo k prvotní deformaci ve spodní mezeře mezi volantem a krytem. Následně ve 4 ms již vak protrhl kryt a míří vzhůru. V rozmezí 6 až 16 ms proudí plyn do vaku kolmo nahoru. Od 16 ms je vak stahován zpět vlivem rozpínání plynu do stran, až do 26 ms kdy se airbag dostane do finální podoby.

**Obrázek 30: Průběh aktivace airbagu číslo 2 - volantový Felicia**



*Zdroj: [vlastní]*

Naplnění trvalo 26 ms (viz obrázek číslo 30). Výsledek je ještě o 2 ms lepší než u první zkoušky. Podmínka pro včasné naplnění je tímto rovněž splněna. Ze záznamu není patrný jakýkoliv odlétající předmět, čímž je splněna další podmínka pro bezchybnou funkci. Doba reakce (prodleva) bude také vyhodnocena a porovnána v samostatné kapitole. Dopočet rychlosti, zrychlení včetně dráhy v závislosti na čase je zaznamenán do tabulky číslo 4 s následným vynesemím v grafu číslo 2.

**Tabulka 4: Záznam hodnot z 2. měření včetně dopočtu rychlostí a zrychlení**

čas [s]	vzdálenost [m]	rychlost [m/s]	rychlost [km/h]	zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]
0	0	0	0	0
0,002	0,01	5	18	2 500
0,004	0,08	35	126	15 000
0,006	0,2	60	216	12 500
0,008	0,3	50	180	-5 000
0,01	0,4	50	180	0
0,012	0,47	35	126	-7 500
0,014	0,48	5	18	-15 000
0,016	0,49	5	18	0
0,018	0,44	-25	-90	-15 000
0,02	0,39	-25	-90	0
0,022	0,33	-30	-108	-2 500
0,024	0,32	-5	-18	12 500
0,026	0,3	-10	-36	-2 500
0,028	0,3	0	0	5 000

*Zdroj: [vlastní]*

Maximální rychlosti 216 km/h dosáhl airbag v čase 6 ms ve vzdálenosti od volantu 20 cm stejně jako u prvního měření. Jeho maximální délka 49 cm byla zaznamenána v čase 16 ms. Od uplynutí 16 ms docházelo ke zpětnému pohybu, proto rychlost v čase 18 ms je brána již jako záporná. Ve 22 ms ještě vak airbagu zrychlil, ale následně začal zpomalovat až do úplného ustálení při 26 ms. K nejvyššímu nárůstu zrychlení došlo po uplynutí 4 ms od počátku měření.

**Graf 2: Rychlost a zrychlení airbagu číslo 2 v závislosti na čase**



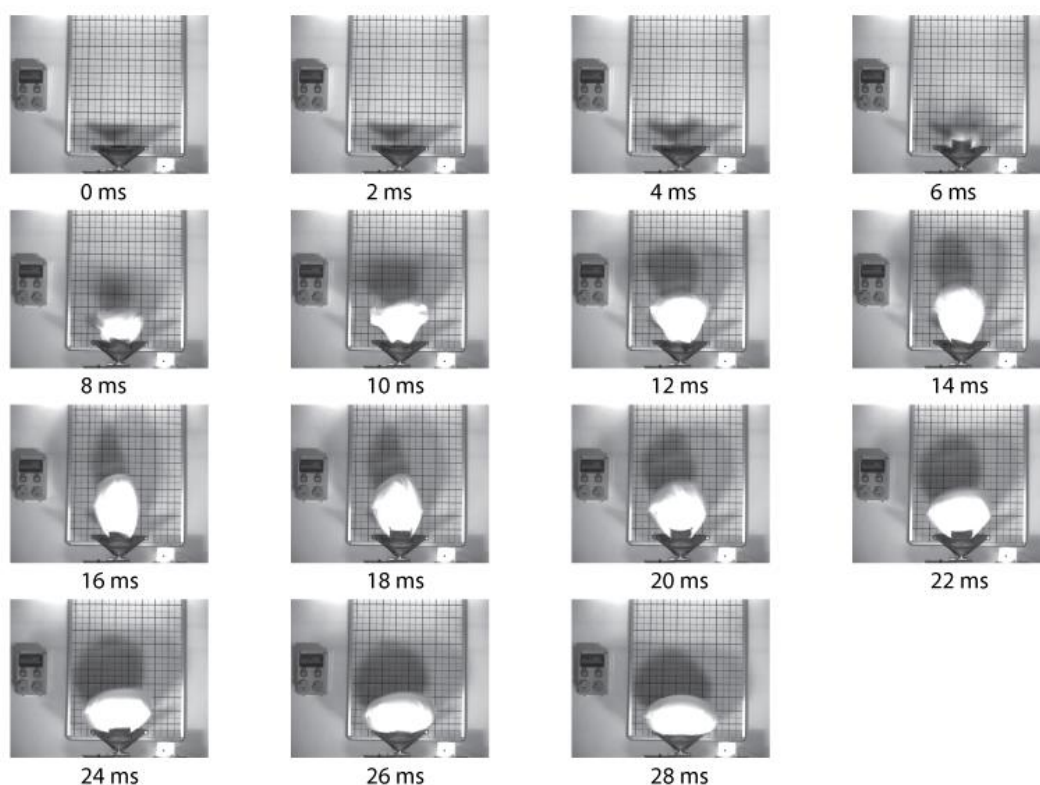
*Zdroj: [vlastní]*

Z grafu číslo 2 je patrný pozvolnější pokles rychlosti než u prvního měřeného airbagu. V rozmezí 13 – 18 ms je vidět výraznější pokles rychlosti, po kterém přichází nárůst s následným ustálením. Zrychlení kolísalo ve výrazně větším spektru v porovnání s prvním testem.

### 6.3 Airbag číslo 3 – volantový Felicia

Před třetí aktivací airbagu z téhož vozu, byla odstraněna část věnce volantu pro přesnější záběr prvopočátku pohybu. Průběh celého třetího měření byl bez komplikací a s výborným výsledkem podobným prvním dvěma měřeními. Na obrázku 31 je záznam z celého průběhu, kde je patrný první pohyb airbagu ve 2 ms, následovalo vyboulení krytu vaku při 4 ms. Mezi 6 až 18 ms se vak neustále prodlužoval vlivem proudění plynu. Od 18 ms docházelo k postupnému roztahování, až do konečné podoby. Ustálená pozice je zaznamenána při uplynutí 28 ms.

Obrázek 31: Průběh aktivace airbagu číslo 3 - volantový Felicia



Zdroj: [vlastní]

Konečná doba naplnění činí 28 ms, což je stejný výsledek jako u prvního měření. Maximální doba naplnění byla stanovena na 35 ms, tudíž třetí měřený airbag s časem 28 ms je z tohoto hlediska zcela vyhovující. Opět během měření nebyl zaznamenán žádný odlétající předmět, čímž je splněna další z podmínky pro bezchybnou funkci. Prodlěvu reakce bude možné zjistit rovněž v samostatné kapitole. Dupočet rychlosti, zrychlení včetně dráhy v závislosti na čase je zaznamenán do tabulky číslo 5 s následným vynesemím v grafu číslo 3.

**Tabulka 5: Záznam hodnot z 3. měření včetně dupočtu rychlostí a zrychlení**

čas [s]	vzdálenost [m]	rychlost [m/s]	rychlost [km/h]	zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]
0	0	0	0	0
0,002	0,01	5	18	2 500
0,004	0,07	30	108	12 500
0,006	0,15	40	144	5 000
0,008	0,25	50	180	5 000
0,01	0,34	45	162	-2 500
0,012	0,4	30	108	-7 500
0,014	0,45	25	90	-2 500
0,016	0,47	10	36	-7 500
0,018	0,48	5	54	-2 500
0,02	0,44	-20	-36	-12 500
0,022	0,38	-30	-90	-5 000
0,024	0,33	-25	-72	2 500
0,026	0,31	-10	-54	7 500
0,028	0,28	-15	-54	-2 500
0,03	0,28	0	0	7 500

*Zdroj: [vlastní]*

Maximální rychlosti 180 km/h dosáhl vak airbagu v čase 8 ms ve vzdálenosti 25 cm kolmo od volantu. Finální délku 28 cm přesáhl během plnění mezi 8 až 10 ms. Maximální délky 48 cm dosáhl v čase 18 ms. Od 20 do 28 ms je pohyb vratný, tudíž i rychlost je záporná. Největší extrém zrychlení byl dosažen ve 4 ms stejně jakou při druhém testu.

Graf 3: Rychlost a zrychlení airbagu číslo 3 v závislosti na čase



Zdroj: [vlastní]

V grafu číslo 3 je patrné mírné “sedlo“, které nastalo v 16 ms. Nárůst i pokles rychlosti není tak strmý, protože i maximální rychlost byla nejnižší z doposud provedených měření. Zrychlení, které dosahovalo svého maxima ve 4 ms, bylo stejně jako rychlost doposud nejnižší.

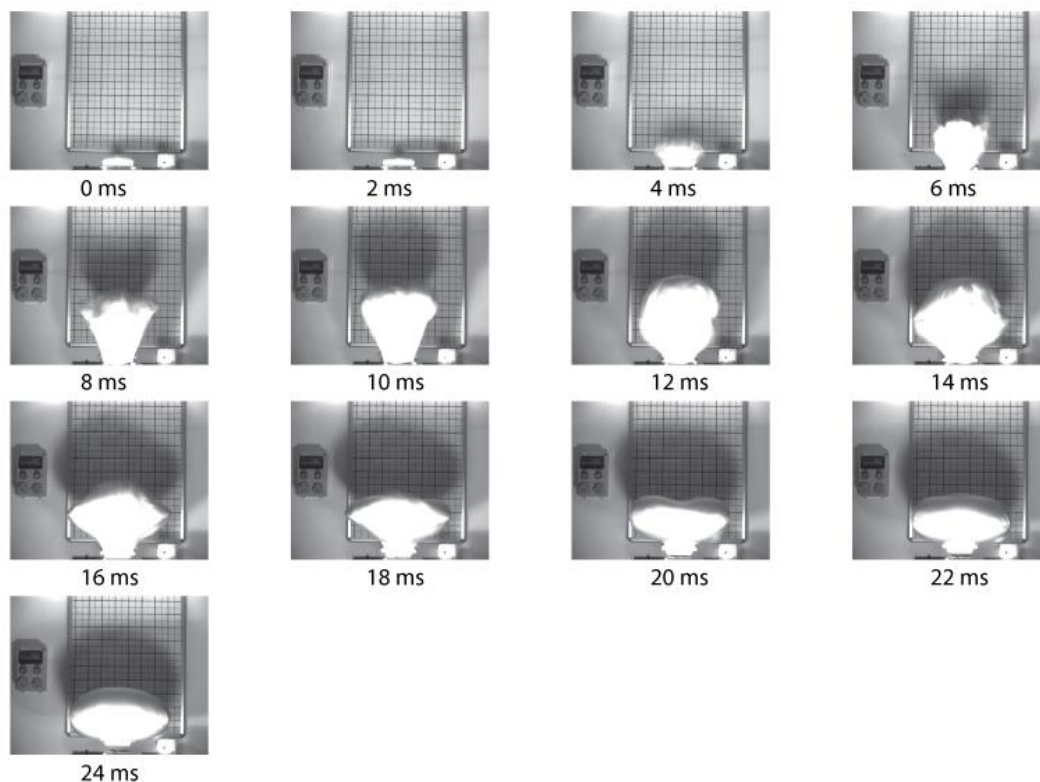
#### 6.4 Airbag číslo 4 – spolujezdcův Felicia

Při čtvrtém měření airbagu spolujezdce ze Škody Felicie (viz obrázek číslo 32) došlo k již zmíněnému problému, kterým bylo vytržení celého objektu ze svěráku. Přesto byl průběh aktivace zaznamenán a je možné určit přesný čas naplnění včetně mírně zkrácené dráhy pohybu. Přidanou hodnotou je možnost dopočítání rychlosti včetně síly, kterou by tělo airbagu během dopravní nehody narazilo na pasažéra v případě chybného ukotvení do vozidla.

Celý průběh byl velmi rychlý, dokonce znatelně rychlejší než v případě prvních třech měření. Po uplynutí 2 ms od začátku experimentu došlo již k natržení papírového obalu vaku, který následně putoval rovnoměrně vzhůru. První pohyb kovového těla airbagu byl zaznamenán v čase 10 ms, kdy vak dosahoval svojí maximální délky. Mezi 12 až 24 ms docházelo k rozpinání vaku do šíře, kde se následně ustálil ve své konečné podobě.



**Obrázek 32: Průběh aktivace airbagu číslo 4 - spolujezdcův Felicia**



*Zdroj: [vlastní]*

Konečná doba plnění byla zaznamenána v čase 24 ms, tj. velmi pozitivní výsledek v porovnání se stanoveným limitem 45 ms. Rovněž nebyly zaznamenány žádné předměty, které by během aktivace odlétly, čímž splnil airbag dvě podmínky pro svou bezchybnou funkci. Dopočet rychlosti, zrychlení uražené dráhy v závislosti na čase je zaznamenán do tabulky číslo 6 s následným vynesemím v grafu číslo 4.

**Tabulka 6: Záznam hodnot ze 4. měření včetně dopočtu rychlostí a zrychlení**

čas [s]	vzdálenost [m]	rychlost [m/s]	rychlost [km/h]	zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]
0	0	0	0	0
0,002	0,05	25	90	12 500
0,004	0,2	75	270	25 000
0,006	0,33	65	234	-5 000
0,008	0,51	90	324	12 500
0,01	0,58	35	126	-27 500
0,012	0,61	15	54	-10 000
0,014	0,6	-5	-18	-10 000
0,016	0,55	-25	-90	-10 000
0,018	0,46	-45	-162	-10 000
0,02	0,43	-15	-54	15 000
0,022	0,45	10	36	12 500
0,024	0,45	0	0	-5 000

*Zdroj: [vlastní]*

Pro svůj větší objem spolujezdceva airbagu, musí být rychlost plnění vyšší, než na straně řidiče. Rychlost 324 km/h v čase 8 ms s délkou vaku 51 cm to patřičně představuje. Vzdálenosti, tudíž i rychlosti včetně zrychlení od 10 ms mohou být zkresleny, jelikož začalo docházet k postupnému vysouvání kovového těla z čelistí svěráku. K úplnému vymknutí došlo ve 20 ms. Svou finální délku airbag překonal mezi 6 až 8 ms. Od 12 ms s délkou 61 cm je pohyb vaku vratný až do úplného ustálení v čase 24 ms. Zrychlení 25000 m/s<sup>2</sup> je abnormálně vysoké, ale potřebné pro svou pohotovost. Zvukový efekt již během experimentu naznačoval velmi vysoké hodnoty zmíněného zrychlení.

**Graf 4: Rychlost a zrychlení airbagu číslo 4 v závislosti na čase**



*Zdroj: [vlastní]*

V grafu číslo 4 je patrný mnohem vyšší nárůst rychlosti zejména v prvních 4 ms než v průběhu prvních třech měření. Svého vrcholu dosáhla rychlost v 8 ms a následně začala prudce zpomalovat až do zastavení. Od 14 ms došlo k převratu pohybu na vratný. V 18 ms dosahovala záporná rychlost až 162 km/h. Při 24 ms lze pohyb považovat za ustálený. Maximální rychlost byla téměř dvojnásobná, než u volantového airbagu číslo 3, přičemž zrychlení bylo přesně dvojnásobné.

V průběhu čtvrtého měření nastal problém s vytržením airbagu z kotvícího zařízení a ten se tak volně pohyboval směrem vzhůru. V případě montáže ve vozidle by tento pohyb byl směřován na obličej pasažéra. Hodnoty ze snímků z rychlokamery volně pohybujícího se airbagu jsou vyneseny do tabulky číslo 7. Vytržení způsobila síla vyvinutá velmi vysokou rychlostí výstřelu vaku airbagu. Po skončení měření bylo nutné zjistit hmotnost totožného airbagu pomocí kuchyňské váhy pro umožnění dopočtu síly, kterou v průběhu volného letu vyvinul.

**Tabulka 7: Průběh volně letícího airbagu číslo 4 – spolujezdcův Felicia**

čas [s]	vzdálenost [m]	rychlost [m/s]	rychlost [km/h]	síla [N]
0	0	0	0	0
0,01	0,07	7	25,2	1120
0,02	0,09	2	7,2	-800
0,03	0,14	5	18	480
0,04	0,19	5	18	0
0,05	0,25	6	21,6	160
0,06	0,31	6	21,6	0
0,07	0,36	5	18	-160
0,08	0,4	4	14,4	-160
0,09	0,44	4	14,4	0
0,1	0,48	4	14,4	0

*Zdroj: [vlastní]*

V tabulce číslo 7 jsou zaznamenány hodnoty již od okamžiku vymknutí airbagu z čelistí svěráku, ke kterému došlo v čase 20 ms od počátku měření, tudíž se již v čase 0,01 sekundy celý airbag volně pohyboval. Předpokládaný dopad těla pasažéra na straně spolujezdce je v čase 60 ms (viz obrázek číslo 17). Po odečtení prodlevy reakce 10 ms a 20 ms když byl airbag ještě uchycen ve svěráku, tak dopad vychází na 30 ms od úplného vymknutí. V tento okamžik se tělo airbagu pohybovalo rychlostí 18 km/h se silou 480 N.

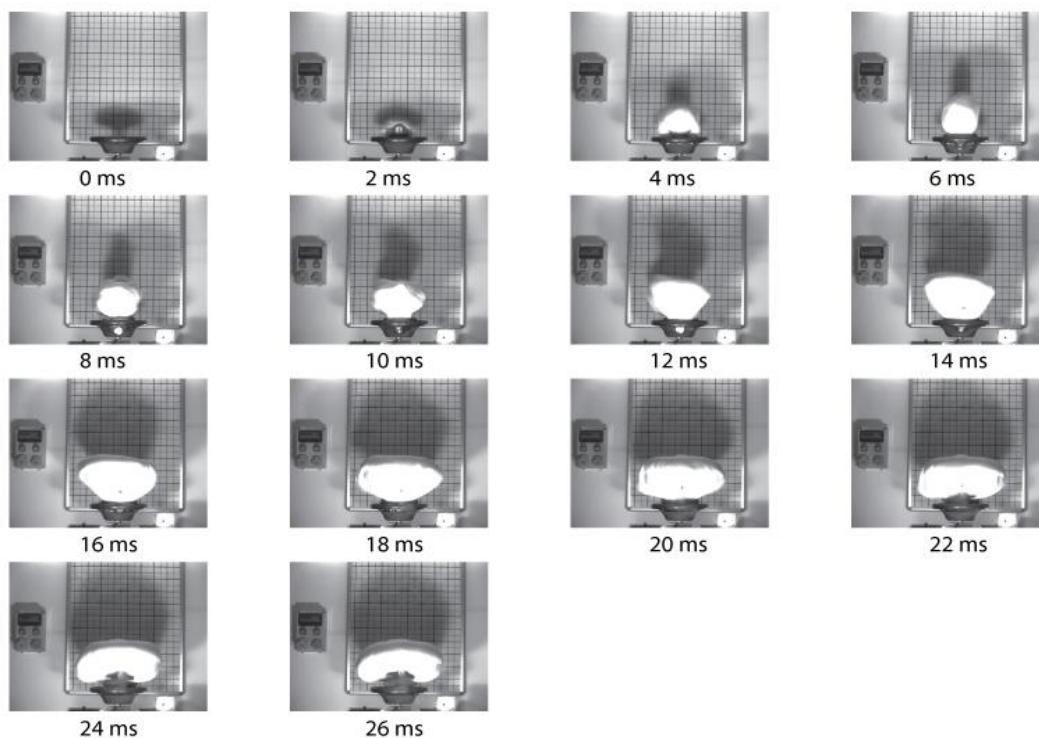
Rychlost se během experimentu postupně absorbovala do vaku airbagu z opačné strany, než by mělo působit tělo pasažéra v průběhu dopravní nehody. V takovýto okamžik by airbag zcela přestal plnit svou funkci a naopak by mohl ublížit na zdraví.

## 6.5 Airbag číslo 5 – volantový Fabia I

V průběhu pátého měření došlo k vymrštění těla airbagu z držáků volantu vlivem nesprávného upevnění. Tělo je u vozidla Fabia uchyceno pouze ve dvou bodech. Navíc jsou tyto body uloženy na pružinách pro funkci houkačky a tak je velmi snadné udělat chybu při montáži. Proto je důležité dbát zvýšené opatrnosti při práci s airbagy, jelikož v běžném provozu je zmíněná chyba nepřijatelná.

Na záznamu z rychlokamery (viz obrázek číslo 33) je vidět během prvních 2 ms odklopení krytu airbagu s následným rozbalováním vaku. Ve 4 ms dosahuje vak výšky 22 cm. Po uplynutí 6 ms se dostává téměř na svoji maximální délku. Od 14 ms se začíná celé tělo volně pohybovat vzhůru, čímž bude mírně zkreslena dráha plného nafouknutí. Airbag se vytvaroval do konečné podoby v čase 26 ms.

Obrázek 33: Průběh aktivace airbagu číslo 5 – volantový Fabia I



Zdroj: [vlastní]

Konec plnění nastal po 26 ms, což jednoznačně splňuje jednu z podmínek pro bezchybnou funkci. Další podmínka byla splněna, jelikož nebyla zaznamenána žádná tělesa, která by odlétla během aktivace z airbagu. Třetí podmínka rychlosti reakce bude zmíněna ve zvláštní kapitole. Dopočet rychlosti, zrychlení včetně dráhy v závislosti na čase je zaznamenán do tabulky číslo 8 s následným vynesemím v grafu číslo 5.

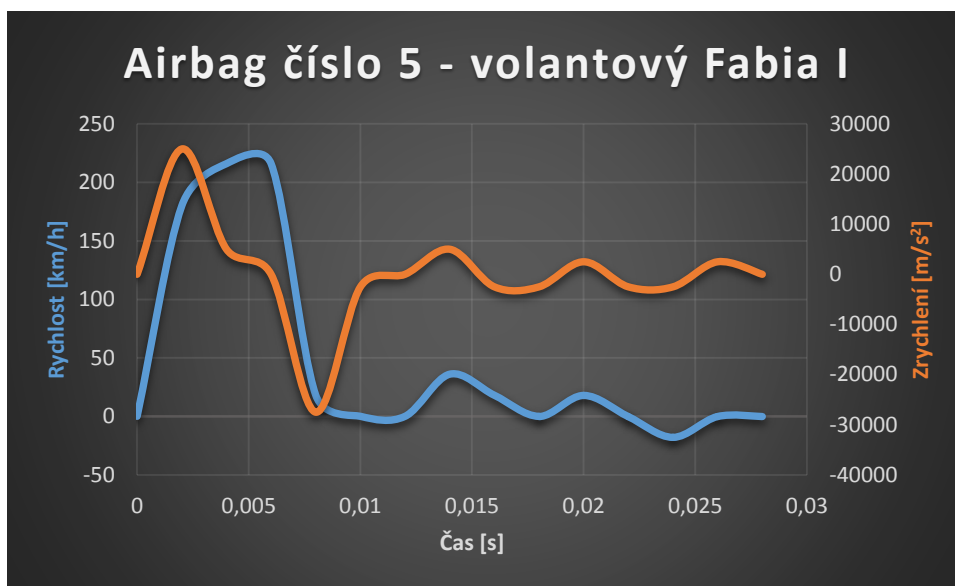
**Tabulka 8: Záznam hodnot z 5. měření včetně dopočtu rychlostí a zrychlení**

čas [s]	vzdálenost [m]	rychlost [m/s]	rychlost [km/h]	zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]
0	0	0	0	0
0,002	0,1	50	180	25 000
0,004	0,22	60	216	5 000
0,006	0,34	60	216	0
0,008	0,35	5	18	-27 500
0,01	0,35	0	0	-2 500
0,012	0,35	0	0	0
0,014	0,37	10	36	5 000
0,016	0,38	5	18	-2 500
0,018	0,38	0	0	-2 500
0,02	0,39	5	18	2 500
0,022	0,39	0	0	-2 500
0,024	0,38	-5	-18	-2 500
0,026	0,38	0	0	2 500
0,028	0,38	0	0	0

*Zdroj: [vlastní]*

Maximální zrychlení zaznamenané na začátku měření bylo stejně vysoké jako u airbagu spolujezdce ze Škody Felicie. Ovšem následně v průběhu testu zrychlení kolísalo kolem nulové hodnoty. Naopak maximální rychlost dosažená ve 4 až 6 ms byla blíže volantovým airbagům. Svou finální délku, která činila 38 cm, vak téměř dosáhl po uplynutí 6 ms, dále už se měnila jen velmi pozvolna.

**Graf 5: Rychlost a zrychlení airbagu číslo 5 v závislosti na čase**



*Zdroj: [vlastní]*

Zrychlení včetně rychlosti bylo nejrazantnější na počátku měření ze všech doposud testovaných airbagů. Protože se finální délka od maximální výrazně nelišila, tak vratný pohyb (záporná rychlost) nastal až v čase 24 ms, ale téměř nezatelně. Ihned po vratném pohybu při 28 ms následovalo ustálení vaku do konečné podoby.

V tabulce číslo 9 jsou vyneseny hodnoty volně letícího airbagu, který se vymknul ze svého uchycení, což způsobila nesprávná montáž do věnce volantu. Stejným způsobem vážení jako v předešlém testu byla zjištěna hmotnost 1,45 kg kompletního airbagu.

**Tabulka 9: Průběh volně letícího airbagu číslo 5 - volantový Fabia**

čas [s]	vzdálenost [m]	rychlost [m/s]	rychlost [km/h]	síla [N]
0	0	0	0	0
0,01	0,06	6	21,6	870
0,02	0,11	5	18	-145
0,03	0,13	2	7,2	-435
0,04	0,17	4	14,4	290
0,05	0,2	3	10,8	-145
0,06	0,23	3	10,8	0
0,07	0,27	4	14,4	145
0,08	0,31	4	14,4	0
0,09	0,34	3	10,8	-145
0,1	0,37	3	10,8	0

*Zdroj: [vlastní]*

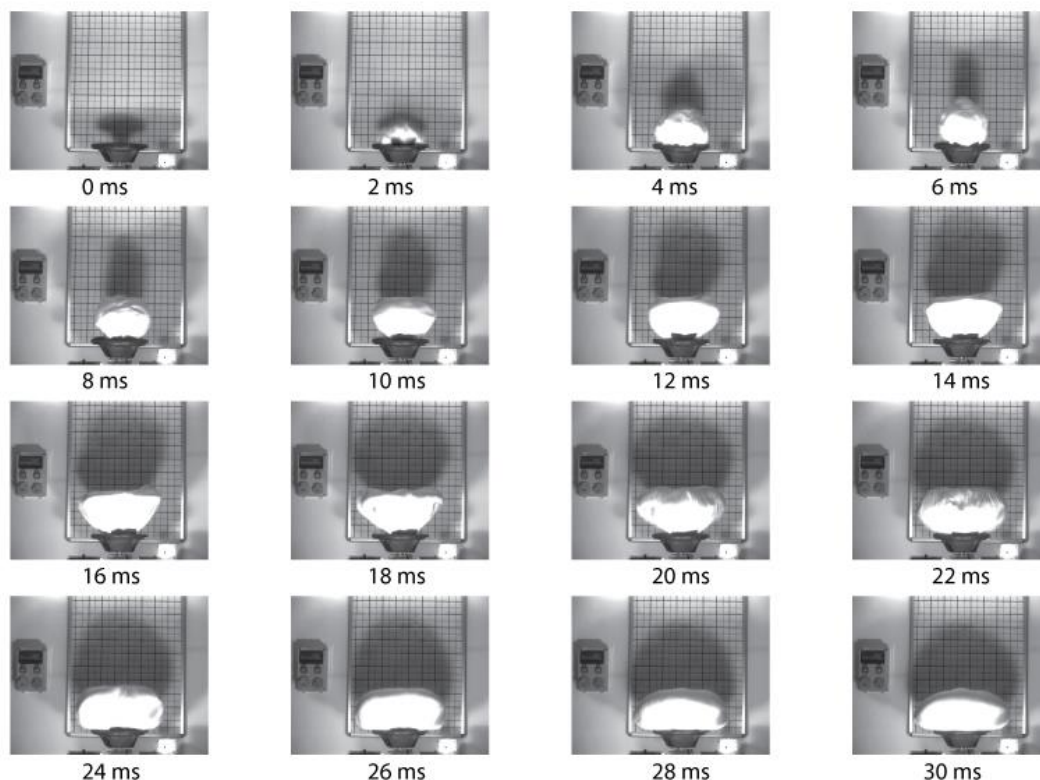
Tělo airbagu opustilo věnec volantu po uplynutí 14 ms od začátku měření, od této chvíle jsou zaznamenávány údaje do tabulky číslo 9. Nejvyšší rychlosti téměř 22 km/h i nejvyššího zrychlení 870 N bylo dosaženo po 10 ms ve vzdálenosti 6 cm od volantu. Následně se rychlost společně se silou opět absorbovala do vaku z opačné strany, než by mělo působit tělo pasažéra.

## **6.6 Airbag číslo 6 – volantový Octavia I**

Průběh posledního testovaného airbagu ze Škody Octavia I byl bez komplikací. Šíře plně nafouknutého vaku byla překvapující, je o poznání širší v porovnání s ostatními volantovými airbagy. Téměř totožná s šíří vaku spolujezdcova airbagu. Tento počín má zřejmě plnit funkci lepšího rozložení váhy těla pasažéra do vaku v případě dopravní nehody. Větší objem vaku měl za následek i mírně delší dobu plnění – viz obrázek číslo 34.

Během prvních 2 ms došlo k roztržení krytu a vak airbagu putoval do výšky 15 cm. Ve 4 ms se jeho výška zdvojnásobila, čímž přesáhl svou finální délku. V čase 6 ms se ještě o 5 cm prodloužil. Následně se začal roztahovat a lehce se délka zkrátila. V čase 14 ms došlo opět k mírnému nárůstu délky, ale od 18 ms se délka vaku jen zkracovala až na finální podobu. Konečný tvar byl zaznamenán po uplynutí 30 ms.

**Obrázek 34: Průběh aktivace airbagu číslo 6 – volantový Octavia I**



*Zdroj: [vlastní]*

Aktivace proběhla na výbornou. Od počátku do konce plnění uplynulo 30 ms, proto i airbag číslo 6 bezproblémově splnil svou podmínku pro správnou funkci. Nebyla zaznamenána rovněž žádná cizí tělesa, která by odlétla během měření. Prodleva reakce bude vyhodnocena v následující kapitole. Dopočet rychlosti, zrychlení včetně dráhy v závislosti na čase je zaznamenán do tabulky číslo 10 s následným vynesemím v grafu číslo 6.



**Tabulka 10: Záznam hodnot z 6. měření včetně dopočtu rychlostí a zrychlení**

čas [s]	vzdálenost [m]	rychlost [m/s]	rychlost [km/h]	zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]
0	0	0	0	0
0,002	0,15	75	270	37 500
0,004	0,3	75	270	0
0,006	0,35	25	90	-25 000
0,008	0,33	-10	-36	-17 500
0,01	0,31	-10	-36	0
0,012	0,33	10	36	10 000
0,014	0,35	10	36	0
0,016	0,36	5	18	-2 500
0,018	0,35	-5	-18	-5 000
0,02	0,35	0	0	2 500
0,022	0,34	-5	-18	-2 500
0,024	0,32	-10	-36	-2 500
0,026	0,3	-10	-36	0
0,028	0,29	-5	-18	2 500
0,03	0,29	0	0	2 500

*Zdroj: [vlastní]*

Maximální rychlost 270 km/h zaznamenaná na počátku měření ve 2 a 4 ms s sebou přinesla i největší zrychlení 37500 m/s<sup>2</sup> ze všech měřených airbagů. Rychlost pohybu ale rychle klesla a ve zbytku měření se držela velmi nízko. Finální délka vaku byla přesažena již při 4 ms, délka v průběhu kolísala. Maximální délka 36 cm byla dosažena v 16 ms. Následně docházelo k postupnému tvarování vaku, které se ustálilo na 29 cm při 30 ms.

**Graf 6: Rychlost a zrychlení airbagu číslo 6 v závislosti na čase**



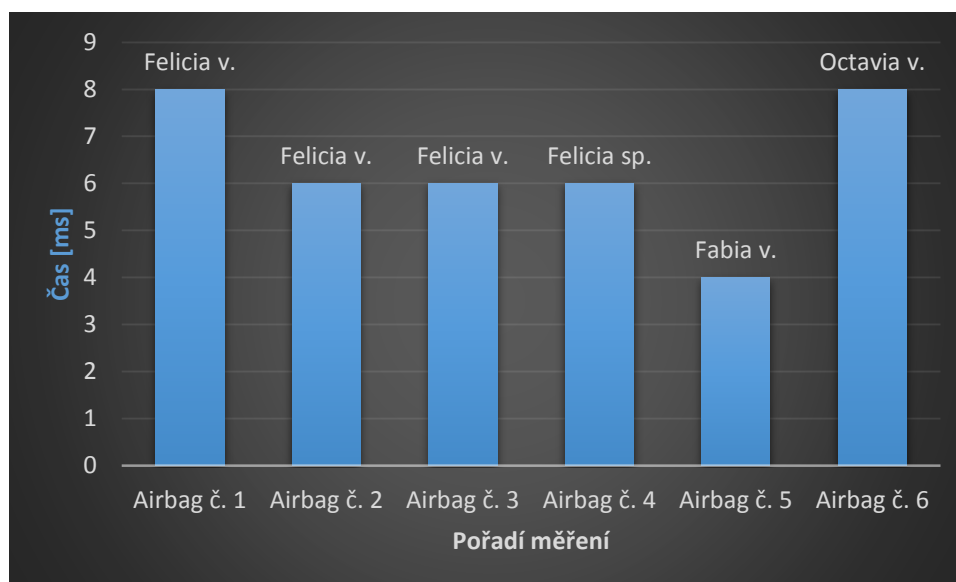
*Zdroj: [vlastní]*

Velmi strmý nárůst rychlosti včetně zrychlení je patrný z grafu číslo 6. Rovněž brzké ustálení je zde očividné. K mírnému zpětnému pohybu došlo mezi 8 až 10 ms, následoval ještě pohyb vpřed, ale od 18 ms se změnil na vratný. Nulový pohyb byl zaznamenán při 20 ms. Konečný pohyb ve finální podobě nastal po uplynutí 30 ms.

## 6.7 Prodlevy reakcí jednotlivých airbagů

Jak bylo nastíněno, pro správnou funkci airbagu v případě dopravní nehody je nutné, aby jeho naplnění do konečné podoby proběhlo ještě před kontaktem s tělem pasažéra. Všech 6 testovaných airbagů splnilo stanovené podmínky z hlediska reakce po přivedení signálu k inflátoru, rozmezí doby naplnění a absence cizích těles, která by odlétla během experimentu z testovaných airbagů. Poslední podmínkou je délka prodlevy reakce, která by podle předpokladů neměla přesáhnout 15 ms. Jelikož do uvedeného rozsahu je zahrnuta i prodleva zmíněných snímačů nárazu, řídicí jednotky, atd. je stanoven limit na 10 ms. Prodleva je stanovena jako rozdíl mezi dobou rozsvícení diody a prvním pohybem airbagu. Dioda byla zakomponována do záběru rychlokamery a tak tento údaj lze snadno odečíst.

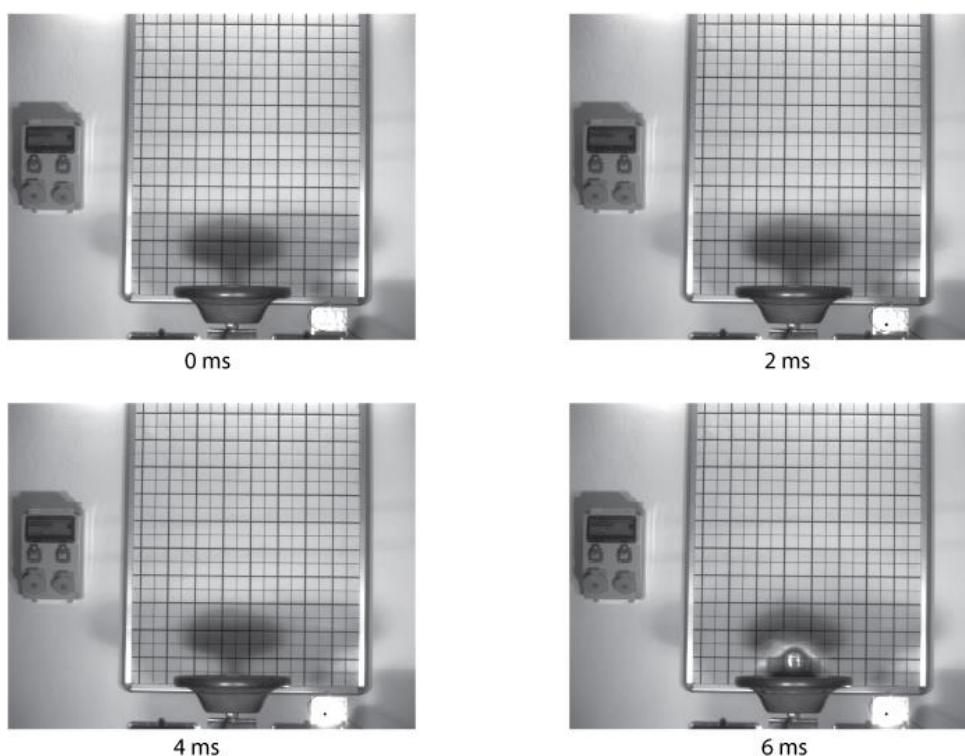
Graf 7: Prodlevy jednotlivých airbagů



Zdroj: [vlastní]

Z grafu číslo 7 je patrné, že se všechny testované airbagy vešly do stanoveného limitu, čímž splnily poslední podmínku pro bezchybnou funkci. Nejlépe z hlediska prodlevy je vyhodnocen volantový airbag ze Škody Fabia s časem 4 ms – viz obrázek číslo 35.

**Obrázek 35: Způsob měření prodlevy na airbagu číslo 5 – volantový Fabia I**



*Zdroj: [vlastní]*

Na obrázku číslo 35 je vidět záznam z pátého měření prodlevy. V čase 2 ms je patrné přivedení signálu, které znázorňuje černá tečka v místě rozsvícení diody. Při 4 ms došlo již k minimálnímu pohybu, který je zjevný pouze při bližším zkoumání záznamu v elektronické podobě. Po uplynutí 6 ms je bezproblémově viditelný pohyb.

## 7 Závěr

Bezpečnost vozidel je při dnešní hustotě provozu nejdůležitějším faktorem v dopravě. Zákazníci ve většině případů při výběru nového vozidla dbají, aby jejich automobil byl co možná nejbezpečnější. Proto jsou kladeny vysoké nároky na konstruktéry z hlediska bezpečnosti.

Veškeré prvky aktivní a pasivní bezpečnosti tvoří celek, který se snaží zabránit, nebo alespoň co nejvíce zmírnit následky dopravní nehody s ohledem na zranění cestujících a ostatních účastníků. Z tohoto důvodu je nutné věnovat velkou pozornost neustálému vývoji. Snahou konstruktérů je vytvořit co nejbezpečnější vozidlo. Pokud ovšem pojede posádka nepřipoutána, může být vozidlo vybaveno deseti airbagy, přesto jsou tyto prvky pasivní bezpečnosti zbytečné, naopak mohou způsobit zranění v okamžiku nehody. Nejzásadnějším článkem je vždy člověk, který může ovlivnit funkci bezpečnostních prvků např. nerespektováním zákonných povinností.

Zásadní roli v rozvoji bezpečnosti vozidel hraje elektronika, která v posledních letech zejména na přelomu 21. století prodělala patřičný vývoj. S ohledem na aktivní bezpečnost je elektronika využita ve smyslu řízení a stability podvozku u systémů ABS, ESP, ASR, atd. Systémy nouzového brzdění či udržování jízdního pruhu se rovněž řadí do kategorie aktivní bezpečnosti. V pasivní bezpečnosti se elektronika uplatnila ve smyslu vývoje senzorů nárazů s následným vyhodnocování nebezpečných situací pomocí řídicích jednotek, atd. Samostatnou kapitolou je vývoj elektroniky v odvětví autonomního řízení, kdy by vozidlo mělo být provozováno tzv. "bez řidiče". Snahou je odstranit chyby vzniklé lidským faktorem. Nevýhodou všech zmíněných prvků bývá pořizovací cena.

K lepší situaci v pasivní bezpečnosti velmi pozitivně přispívá např. nezávislá organizace Euro NCAP, které anonymně zakoupené vozidlo otestuje ve svých laboratořích s ohledem na bezpečnostní vlastnosti. Výsledky následně volně šíří do médií v podobě časopisů či internetu, kde si potenciální zákazník může porovnat bezpečnost vybraných vozidel.

Úkolem experimentu této diplomové práce bylo ověření mýtu o nutnosti pravidelné výměny airbagu z důvodu jejich stárnutí. Test funkce byl proveden na celkem šesti airbagách, které podle výrobce měly být již zlikvidovány pro překročení doby expirace.

Všechny airbagy splnily stanovený časový limit pro naplnění, přičemž nebyla zaznamenána žádná cizí tělesa, která by z airbagů odlétla a mohla být tak případným nebezpečím pro pasažéra. Limit pro maximální dobu prodlevy rovněž splnily a tak je možné konstatovat, že na funkci airbagů stáří vliv nemá. Čímž je potvrzen výrok automobilek BMW či Toyota. Důvod proč někteří výrobci udávají striktní lhůtu pro výměnu, není zcela jasný. Některé důvody lze předpokládat. Např. pro svojí ochranu výrobci nechtějí nést zodpovědnost za funkci po celou dobu životnosti. V roce 1994 kdy byl airbag již instalován do vozidla Škoda Felicia, nemohli výrobci přesně určit životnost, kvůli nedostatečným zkušenostem jak se zachová tento prvek v průběhu času, proto určili limit.

Z výsledků jednotlivých měření je patrná vyšší rychlost u airbagu spolujezdce, než u čelních volantových. Právě pro svůj větší objem musí být rychlost plnění výrazně vyšší. Při porovnání třetího volantového airbagu ze Škody Felicie se čtvrtým měřením spolujezdcova airbagu, byla maximální rychlost téměř dvojnásobná v případě spolujezdce. Po sečtení prodlevy s celkovou dobou plnění nejlépe vyšel airbag z vozu Škoda Felicia na straně spolujezdce s časem 30 ms a se stejným časem volantový z vozu Škoda Fabia I. Naopak nejdelší čas 38 ms byl naměřen v případě šestého měření airbagu z vozu Škoda Octavia I.

Ve dvou případech nastala chyba, kdy došlo k vymknutí celého těla airbagu ze svého uložení. Jednalo se o spolujezdcův airbag z Felicie a volantový airbag z Fabie I. U airbagu spolujezdce byla maximální rychlost volného pohybu v prostoru mírně vyšší než u volantového z Fabie. Nejdůležitějším poznatkem je nutnost správného upevnění ve vozidle, jelikož takto uvolněný airbag by nebyl schopen plnit správně svou funkci, naopak by mohl ublížit svou setrvačností.

Za pozornost stál silný akustický projev, který následoval vždy ihned po aktivaci. Znatelně nejsilnější byl u spolujezdcova airbagu, který také dosáhl nejvyšší maximální rychlosti společně se zrychlením. Dalším zajímavým postřehem byla teplota, která vznikla na spodní části obalu airbagu. Dosahovala tak vysokých teplot, že konektor vyrobený z umělé hmoty, kterým byl přiveden impulz k roznětce, změnil své skupenství na kapalné.

Airbagy v dopravě budou stále přibývat. Nejedná se pouze o automobily, ale velký vývoj zaznamenávají i výrobci motocyklů a motocyklového oblečení nebo samotní chodci. Jejich princip funkce zůstává ale stále stejný. V budoucnu bude kombinace technologie

airbagu zasahovat až do aktivní bezpečnosti. Nyní už je navržený koncept automobilkou Mercedes – Benz pro vystřelení vaku airbagu pod před' vozidla, což má za následek nejen zvýšení adheze mezi pneumatikami a vozovkou, ale především zabraňuje tzv. "ponoření" před' vozidla při prudkém brzdění, čímž zajistí správnou kompatibilitu deformačních zón v případě dopravní nehody.

## Bibliografie

- [1] *Radiožurnál*. [Online] [Citace: 31. 10 2018.] Dostupné z: [https://www.rozhlas.cz/zelenavlna/motozurnal/\\_zprava/prvni-obet-dopravni-nehody-si-to-tehdy-svistela-tricitkou--1314948](https://www.rozhlas.cz/zelenavlna/motozurnal/_zprava/prvni-obet-dopravni-nehody-si-to-tehdy-svistela-tricitkou--1314948).
- [2] *Policie ČR*. [Online] [Citace: 31. 10 2018.] Dostupné z: [file:///C:/Users/Jan/Downloads/Informace\\_o\\_nehodovosti\\_-\\_prosinec\\_2017.pdf](file:///C:/Users/Jan/Downloads/Informace_o_nehodovosti_-_prosinec_2017.pdf).
- [3] *BESIP*. [Online] [Citace: 31. 10 2018.] Dostupné z: <https://www.ibesip.cz/Statistiky/Statistiky-nehodovosti-v-Ceske-republice>.
- [4] *OBSERVATOŘ bezpečnosti silničního provozu: Pasivní bezpečnost*. [Online] [Citace: 07. 02 2017.] Dostupné z: <http://www.czrso.cz/clanky/aktivni-a-pasivni-prvky-bezpecnosti-motorovych-vozidel/>.
- [5] *BESIP: Prvky aktivní bezpečnosti*. [Online] [Citace: 07. 02 2017.] Dostupné z: <http://www.ibesip.cz/cz/ridic/bezpecne-vozidlo/moderni-technologie-vozidel/aktivni-bezpecnost-prvky-aktivni-bezpecnosti>.
- [6] *Seatbelt wearing rate in a Chinese city: Results from multi-round cross-sectional studies*. Qingfeng, Li, a další, a další. místo neznámé : M. Abdel-Aty, 2018. ISSN: 0001-4575.
- [7] *BEZPEČNÉ CESTY: Statistiky - ČR*. [Online] [Citace: 31. 12 2018.] Dostupné z: <http://www.bezpecnecesty.cz/cz/informace/dopravni-nehody/statistiky/statistiky-cr>.
- [8] *ČESKÉ NOVINY*. [Online] [Citace: 31. 12 2018.] Dostupné z: <https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/v-cesku-je-registrovano-pres-5-7-milionu-osobnich-aut/1650740>.
- [9] Pilárik, Milan a Pabst, Jiří. *Automobily I*. Praha : Informatorium, spol. s.r.o., 2005. ISBN 80-7333-035-0.
- [10] Jan, Zdeněk, Ždánský, Bronislav a Čupera, Jiří. *Automobily 1, Podvozky*. Brno : Avid spol. s.r.o. Brno, 2007. ISBN 978-80-87143-03-2.
- [11] Jan, Zdeněk a Ždánský, Bronislav. *Automobily 4, Příslušenství*. Brno : Avid, spol. s.r.o., Brno, 2010. ISBN 978-80-87143-16-2.

- [12] VLK, František. *Automobilová elektronika*. Brno : František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6462-3.
- [13] *Automobilová elektronika*. Brno : František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6462-3.
- [14] *Bezpečnost vozidel*. [Online] [Citace: 19. 11 2018.] Dostupné z: <http://www.auto.cz/bezpecnost-vozidel-prvni-dil-703>.
- [15] VLK, František. *Stavba motorových vozidel: [osobní automobily, autobusy, nákladní automobily, jízdní soupravy, ergonomika, biomechanika, struktura, kolize, materiály]*. Brno : František Vlk, 2003. ISBN 80-238-8757-2.
- [16] *Lexikon moderní automobilové techniky*. Brno : František Vlk, 2005. ISBN 80-239-5416-4.
- [17] *Breakaway*. [Online] [Citace: 21. 11 2018.] Dostupné z: <https://www.breakawayhonda.com/blogs/35/uncategorized/the-difference-between-active-and-passive-safety/>.
- [18] *Automotive*. [Online] [Citace: 21. 11 2018.] <https://automotive.electronicsspecifier.com/safety/active-and-passive-automotive-safety-systems>.
- [19] Pošta, Josef a kolektiv. *Oprávenství a diagnostika*. Praha : Informatorium, spol. s.r.o., 2008. ISBN 978-80-7333-058.
- [20] *EU Bookshop*. [Online] [Citace: 21. 11 2018.] Dostupné z: <https://publications.europa.eu/cs/publication-detail/-/publication/5dbca601-6e7c-4e7c-a32e-abd2744a01cf/language-cs>.
- [21] *Technické podmínky provozu na pozemních komunikacích: registrace a vyřazování vozidel, technické prohlídky a měření emisí, technická způsobilost vozidel, provozování stanic STK ; Pohonné hmoty : zákon o pohonných hmotách a vyhlášky : redakční uzávěrka*. Ostrava : Sagit, 2004. ISBN 978-80-7208-690-0.
- [22] *Auto.cz*. [Online] [Citace: 26. 11 2018.] Dostupné z: <http://www.auto.cz/vw-golf-gti-slavi-40-let-velka-fotogalerie-vsech-generaci-94500>.
- [23] *Mj auto*. [Online] [Citace: 28. 11 2018.] Dostupné z: <http://www.mjauto.cz/pasivni-bezpecnost>.



- [24] *Pop-Up Bonnet*. [Online] [Citace: 28. 11 2018.] Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/pop-up-bonnet-aktivni-kapota/>.
- [25] *The Telegraph*. [Online] [Citace: 28. 11 2018.] Dostupné z: <https://www.telegraph.co.uk/technology/3292263/Fords-pop-up-bonnet-will-give-crash-victims-a-softer-landing.html>.
- [26] *The bmj*. [Online] [Citace: 28. 11 2018.] Dostupné z: <https://www.bmj.com/content/324/7346/1145.1>.
- [27] *Auto.idnes*. [Online] [Citace: 03. 12 2018.] Dostupné z: [https://auto.idnes.cz/volvo-v40-ma-airbag-pro-chodce-dgo-/automoto.aspx?c=A120601\\_111545\\_automoto\\_fdv](https://auto.idnes.cz/volvo-v40-ma-airbag-pro-chodce-dgo-/automoto.aspx?c=A120601_111545_automoto_fdv).
- [28] *Auto.cz*. [Online] [Citace: 03. 12 2018.] Dostupné z: <http://www.auto.cz/airbag-chodce-vyhlasen-technickou-inovaci-roku-2013-72417>.
- [29] *Elkem*. [Online] [Citace: 03. 12 2018.] Dostupné z: <http://automotive.silicones.elkem.com/trends-of-tomorrow/external-pedestrian-airbags>.
- [30] *Šmucler*. [Online] [Citace: 03. 12 2018.] Dostupné z: <https://www.smucler.cz/blog/front-assist-automaticke-nouzove-brzdeni/>.
- [31] OHLIN, M., J. STRANDROTH a C. TINGVALL. *SAFETY SCIENCE*. 2018. 2016(92). 338 - 344. ISSN 0925-7535.
- [32] *Springer Open*. [Online] [Citace: 03. 12 2018.] Dostupné z: <https://casmodeling.springeropen.com/articles/10.1186/s40294-016-0025-8>.
- [33] *MAN: Nouzový brzdový asistent*. [Online] [Citace: 03. 12 2018.] Dostupné z: <http://www.man-hestigroup.cz/man-brakematic%C2%AE-a-nouzovy-brzdovy-asistent>.
- [34] *DOCPLAYER*. [Online] [Citace: 07. 12 2018.] Dostupné z: <https://docplayer.cz/24452059-Zadni-ochrana-proti-podjeti-vseobecne.html>.
- [35] *Legal Beagle*. [Online] [Citace: 07. 12 2018.] <https://legalbeagle.com/7295888-federal-dot-regulations-semitrailer-bumper.html>.
- [36] *AutoRoad*. [Online] [Citace: 07. 12 2018.] <https://autoroad.cz/technika/34284-procjsou-na-kamionech-nezbytno-zabrany-proti-podjeti#photogalleryInArticle-1>.
- [37] *Deník.cz*. [Online] [Citace: 07. 12 2018.] <https://fm.denik.cz/galerie/120915-nehoda.html?photo=1&back=3166776143-6054-71>.

- [38] *Passive Safety*. [Online] [Citace: 07. 12 2018.] Dostupné z: <https://www-scopus-com.infozdroje.czu.cz/record/display.uri?eid=2-s2.0-85051703742&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=passive+vehicle+safety&st2=&sid=2ea1b26daef6cfd5ff820d85245bf610&ot=b&sdt=b&sl=37&s=TITLE-ABS-KEY%28passive+vehicle+saf>.
- [39] *Pasivní bezpečnost*. [Online] [Citace: 12. 12 2018.] Dostupné z: [https://www.rozhlas.cz/vedaarchiv/portal/\\_zprava/196452](https://www.rozhlas.cz/vedaarchiv/portal/_zprava/196452).
- [40] *Crumple Zone*. [Online] [Citace: 17. 12 2018.] Dostupné z: <https://sites.google.com/site/impactabsorbtion/crumple-zones>.
- [41] *AutoRoad*. [Online] [Citace: 17. 12 2018.] Dostupné z: <https://autoroad.cz/zajimavosti/8674-deformacni-zona>.
- [42] *AutoExpert: časopis profesionálů v autoopravárenství : technika - autodílna - obchod*. Praha : Vogel Publishing, 1995. ISSN 1211-2380.
- [43] *Wikipedie - Bezpečnostní pás*. [Online] [Citace: 5. 1 2019.] Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Bezpe%C4%8Dnostn%C3%AD\\_p%C3%A1s](https://cs.wikipedia.org/wiki/Bezpe%C4%8Dnostn%C3%AD_p%C3%A1s).
- [44] *Zprávy - Auto*. [Online] [Citace: 5. 1 2019.] Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/pripoutejte-se-prosim-bezpecnostni-pasy-v-cesku-slavi-50-let/r~d79f9c8ace6e11e6a8cb002590604f2e/>.
- [45] *Virtual drive*. [Online] [Citace: 5. 1 2019.] Dostupné z: <https://www.virtualdriveoftexas.com/seat-belt/>.
- [46] Kovanda, Jan. *Konstrukce automobilů: Pasivní bezpečnost*. Praha : ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01459-2.
- [47] *Autolexicon*. [Online] [Citace: 8. 2 2019.] Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/airbag/>.
- [48] *Impact Attenuation of the Soft Pads and the Wearable Airbag for the Hip Protection in the Elderly*. Youngjae, Jeong, a další, a další. místo neznámé : Korean Society for Precision Engineering, 2019.
- [49] *Autorevue*. [Online] [Citace: 8. 2 2019.] <https://www.autorevue.cz/airbag-zachranuje-zivoty-jiz-45-let-vite-jake-druhy-existuji>.

[50] Huang, Matthew. *Vehicle crash mechanics*. Boca Raton : CRC Press, 2002. ISBN 0849301041.

[51] AutoA-C. [Online] [Citace: 11. 2 2019.] Dostupné z: <http://www.autoa-c.cz/aho.htm>.

[52] Autolexicon. [Online] [Citace: 11. 2 2019.] Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/aktivni-operka-hlavy/>.

[53] Marčev, David. *Aktivní a pasivní bezpečnost*. [Přednáška] Praha : ČZU, 2018.

[54] VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. Brno : František Vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0.

[55] Šatochin, Vladimír a Kovanda, Jan. *Pasivní bezpečnost vozidel*. Praha : ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02235-8.

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Vývoj počtu dopravních nehod a jejich následků v ČR.....	1
Obrázek 2: Počet osobních automobilů registrovaných v ČR .....	5
Obrázek 3: Základní rozdělení pasivní bezpečnosti .....	8
Obrázek 4: Srovnání tvaru karoserie VW Golf první a sedmé generace.....	14
Obrázek 5: Aktivní kapota.....	15
Obrázek 6: Airbag pro chodce .....	16
Obrázek 7: Rozměry pro umístění zábran různých profilů proti podjetí.....	19
Obrázek 8: Typy a rozměry profilů .....	19
Obrázek 9: Selhání zábran proti podjetí návěsu .....	20
Obrázek 10: Deformační zóny .....	22
Obrázek 11: Deformační zóna 1 – Defoelementy .....	23
Obrázek 12: Průběh rozložení síly v zóně 2 .....	24
Obrázek 13: Bezpečnostní zóna 3.....	24
Obrázek 14: Druhy bezpečnostních pásů.....	25
Obrázek 15: Omezovač síly v pásu torzním elementem.....	27
Obrázek 16: Řez airbagem.....	28
Obrázek 17: Průběh aktivace airbagů .....	29
Obrázek 18: Aktivní opěrky hlavy.....	31
Obrázek 19: Procentuální podíl nárazů do vozidla podle směru působení vnější síly ...	32
Obrázek 20: Čelní vyosený náraz do deformovatelné bariéry.....	33
Obrázek 21: Čelní náraz do pevné bariéry.....	33
Obrázek 22: Boční náraz do deformovatelné bariéry .....	34
Obrázek 23: Náraz na sloup.....	34
Obrázek 24: Schéma stanoviště .....	40

Obrázek 25: Odměrná deska.....	42
Obrázek 26: LED dioda .....	43
Obrázek 27: Autobaterie se spínačem .....	44
Obrázek 28: Rychlokamera .....	45
Obrázek 29: Průběh aktivace airbagu číslo 1 - volantový Felicia .....	49
Obrázek 30: Průběh aktivace airbagu číslo 2 - volantový Felicia .....	52
Obrázek 31: Průběh aktivace airbagu číslo 3 - volantový Felicia .....	54
Obrázek 32: Průběh aktivace airbagu číslo 4 - spolujezdcův Felicia .....	57
Obrázek 33: Průběh aktivace airbagu číslo 5 – volantový Fabia I .....	60
Obrázek 34: Průběh aktivace airbagu číslo 6 – volantový Octavia I.....	64
Obrázek 35: Způsob měření prodlevy na airbagu číslo 5 – volantový Fabia I.....	67

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1: Počet nehod a jejich následků za období 2003 až 2017 .....	4
Tabulka 2: Předpisy EHK zajišťující pasivní bezpečnost.....	9
Tabulka 3: Záznam hodnot z 1. měření včetně dopočtu rychlostí a zrychlení .....	50
Tabulka 4: Záznam hodnot z 2. měření včetně dopočtu rychlostí a zrychlení .....	53
Tabulka 5: Záznam hodnot z 3. měření včetně dopočtu rychlostí a zrychlení .....	55
Tabulka 6: Záznam hodnot ze 4. měření včetně dopočtu rychlostí a zrychlení.....	58
Tabulka 7: Průběh volně letícího airbagu číslo 4 – spolujezdcův Felicia .....	59
Tabulka 8: Záznam hodnot z 5. měření včetně dopočtu rychlostí a zrychlení .....	61
Tabulka 9: Průběh volně letícího airbagu číslo 5 - volantový Fabia .....	62
Tabulka 10: Záznam hodnot z 6. měření včetně dopočtu rychlostí a zrychlení .....	65

## **Seznam grafů**

Graf 1: Rychlost a zrychlení airbagu číslo 1 v závislosti na čase.....	51
Graf 2: Rychlost a zrychlení airbagu číslo 2 v závislosti na čase.....	53
Graf 3: Rychlost a zrychlení airbagu číslo 3 v závislosti na čase.....	56
Graf 4: Rychlost a zrychlení airbagu číslo 4 v závislosti na čase.....	58
Graf 5: Rychlost a zrychlení airbagu číslo 5 v závislosti na čase.....	62
Graf 6: Rychlost a zrychlení airbagu číslo 6 v závislosti na čase.....	65
Graf 7: Prodlevy jednotlivých airbagů.....	66