

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Jana Stránská

Pasivní bezpečnost autonomních vozidel

Diplomová práce

2021

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K616.....Ústav dopravních prostředků

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Jana Stránská

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Pasivní bezpečnost autonomních vozidel**

Název tématu (anglicky): **Passive safety of autonomous vehicles**

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Seznamte se s problematikou vývoje autonomních vozidel a jednotlivými stupni autonomy.
- Charakterizujte jednotlivé stupně autonomy vozidel, popište vozidla také z hlediska jejich řešení pasivní bezpečnosti.
- Popište v současnosti používané testy pasivní bezpečnosti vozidel a jejich vhodnost použití pro autonomní vozidla.
- Uved'te přehled používaných biomechanických kritérií poranění při zkouškách pasivní bezpečnosti vozidel a odhadněte vhodnost jejich použití pro ověření stupně ochrany při nárazu autonomního vozidla.
- Navrhňte experiment ověření pasivní bezpečnosti autonomního vozidla s vyšším stupněm autonomy.
- Vhodným způsobem ověřte realizovatelnost experimentu.



TECHNICKÉ VĚDY



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucích

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: FIRST, Jiří a kol. Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry. Vyd. 1. Praha: S&T CZ, 2008. 348 s. ISBN 978-80-254-1805-5.;
Platné předpisy, směrnice a normy v oblasti pasivní bezpečnosti

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Josef Mík, Ph.D.
Ing. Martin Šotola, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce:

22. června 2020

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce:

17. května 2021

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravních prostředků



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Jana Stránská
jméno a podpis studenta

V Praze dne 22. června 2020

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této diplomové práce. Zejména pak děkuji Ing. Josefu Míkovi, Ph. D. za vedení mé práce a rady, které mi poskytoval po celou dobu studia. Dále také děkuji Ing. Jakubu Dvořákovi, Ph. D. za možnost provedení jízdních zkoušek a za odborné rady.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 9. 8. 2021

.....

Podpis

Anotace diplomové práce

Název práce: Pasivní bezpečnost autonomních vozidel
Autor: Bc. Jana Stránská
Rok obhajoby: 2021
Vedoucí práce: Ing. Josef Mík, Ph. D.
Ing. Martin Šotola, Ph. D.
Ústav dopravních prostředků K616
České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní

Abstrakt: Předmětem diplomové práce „Pasivní bezpečnost autonomních vozidel“ je návrh prvků pasivní bezpečnosti v autonomních vozidlech vyšších stupňů autonomizace. V práci jsou uvedeny stupně autonomních vozidel, prvky bezpečnosti ve vozidle a legislativa pasivní bezpečnosti. Součástí práce je také kapitola věnovaná biomechanickým kritériím poranění. V závěru práce je uvedena simulace vyhýbacího manévru a následného nouzového brždění.

Klíčová slova: autonomní vozidla, pasivní bezpečnost, biomechanická kritéria poranění, bezpečnostní prvky ve vozidle

Abstract diploma thesis

Title: Passive safety of autonomous vehicles
Author: Bc. Jana Stránská
Document type: Diploma thesis
Year of presentation: 2021
Supervisor: Ing. Josef Mík, Ph. D.
Ing. Martin Šotola, Ph. D.
Department of Vehicle Technology K616
Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences

Abstract: The purpose of the diploma thesis called “Passive safety of autonomous vehicles” is the design of features of passive safety in autonomous vehicles of higher degrees of autonomy. The thesis presents the degrees of autonomous vehicles, features of passive safety in the vehicles and passive safety legislation. Part of the work is also a chapter devoted to biomechanical injury criteria. The final work presents a simulation of an avoidance manoeuvre and subsequent emergency braking.

Keywords: autonomous vehicles, passive safety, biomechanical injury criteria, safety features in cars

Obsah

1	Úvod	9
2	Autonomní vozidla	10
2.1	<i>Stupně automatizace</i>	10
2.1.1	Úroveň 0	10
2.1.2	Úroveň 1	10
2.1.3	Úroveň 2	11
2.1.4	Úroveň 3	11
2.1.5	Úroveň 4	11
2.1.6	Úroveň 5	11
2.2	<i>Aktuální autonomizace</i>	11
2.3	<i>Výhled autonomních vozidel v provozu</i>	15
2.4	<i>Autonomní vozidla v ČR</i>	16
3	Bezpečnostní prvky	20
3.1	<i>Prvky aktivní bezpečnosti</i>	20
3.1.1	ABS (Anti-lock Brake System)	20
3.1.2	ASR (Anti-Slip Regulation)	21
3.1.3	ESP = ASC (Electronic Stability Program = Electronic Stability Control)	21
3.1.4	EBA = BAS (Emergency Brake Assist = Braking Assistance System)	21
3.1.5	AEB (Autonomous Emergency Braking)	22
3.1.6	ACC (Adaptive Cruises Control)	22
3.1.7	Lane Assist	22
3.1.8	TCS (Traction Control System)	23
3.1.9	Prvky aktivní bezpečnosti dle úrovně automatizace	23
3.2	<i>Prvky pasivní bezpečnosti</i>	24
3.2.1	Karoserie vozidel	24
3.2.2	Zádržné systémy	26
4	Pre-crash systémy	36
4.1	<i>Aktuálně pre-crash systémy</i>	36
4.1.1	Volkswagen	37
4.1.2	Mercedes	37
4.1.3	Volvo	37
4.1.4	Seat	38
5	Testování pasivní bezpečnosti	39

5.1	<i>Aktuální legislativa</i>	39
5.2	<i>Předpis EHK/OSN č. 16</i>	41
5.3	<i>Legislativa autonomních vozidel</i>	42
5.4	<i>Vhodnost testů pro autonomní vozidla</i>	42
6	Biomechanická kritéria poranění	45
6.1	<i>Poranění hlavy</i>	45
6.2	<i>Poranění páteře</i>	48
6.3	<i>Poranění hrudníku a břicha</i>	49
6.4	<i>Poranění končetin a pánve</i>	51
6.5	<i>Poranění kloubů, svalů a šlach</i>	53
6.6	<i>Biomechanická kritéria pro autonomní vozidla</i>	53
7	Praktická část	55
7.1	<i>Návrh experimentu</i>	55
7.2	<i>Realizovatelnost experimentu</i>	57
7.3	<i>Popis vybavení</i>	58
7.4	<i>Provedení testovacích jízd</i>	64
7.5	<i>Vyhodnocení pohybů hlavy při úhybném manévru</i>	65
7.6	<i>Vyhodnocení pohybů hlavy při nouzovém brždění</i>	70
7.7	<i>Návrh prvků pasivní bezpečnosti v autonomním vozidle vyššího stupně automatizace</i>	73
7.7.1	<i>Bezpečnostní pásy v autonomním vozidle</i>	73
7.7.2	<i>Airbagy v autonomním vozidle</i>	75
8	Závěr	77
9	Zdroje	78
10	Seznam obrázků	82
11	Seznam tabulek	84

Seznam použitých jednotek a zkratek

ADAS	Advanced driver–assistance systems – pokročilé asistenční systémy řidiče
ABS	Anti-lock Brake Systém – protiblokovací systém
km/h	Kilometr za hodinu
ASR	Anti-Slip Regulation – systém regulace prokluzu kol
ESP	Electronic Stability Program – elektronický stabilizační program
ASC	Electronic Stability Control – elektronický stabilizační program
EBA	Emergency Brake Asist – nouzový brzdový asistent
BAS	Braking Assistance System – nouzový brzdový asistent
AEB	Autonomous Emergency Braking – autonomní systém nouzového brždění
ACC	Adaptive Cruies Control – adaptivní tempomat
TCS	Traction Control System – systém protiskluzové regulace
cm	Centimetr = 0,01 m
Kg	Kilogram
WHIPS	Whiplash Protection System – systém ochrany proti hyperflexi páteře 2. gen.
EHK	Evropská hospodářská komise
OSN	Organizace spojených národů
ms	Milisekunda = 0,001 s
s	Sekunda
g	Tíhové zrychlení = 9,81 m/s ²
Nm	Newton metr
mm	Milimetr = 0,001 m
kN	Kilo Newton = 1000 N
kW	Kilowatt = 1000 W
min	Minuta = 60 s
Hz	Hertz
°	Stupeň
AIS	Abbreviated Injury Scale – mezinárodní stupnice poranění
HIC	Head Injury Criterion – kritérium poranění hlavy
WSU	Wayne State University
NIC	Neck Injury Criterion – kritérium poranění krku
3MS	Kritérium 3 milisekund

GAMBIT	The generalized model for brain injury threshold – všeobecný model pro hranici poranění mozku
TTI	Thoracic Trauma Index – index hrudního traumatu
RDC	Rib Deflection Criterion – kritérium stlačení žebér
V*C	Viscous Criterion – viskózní kritérium
ThPC	Thorax Performance Criterion – kritérium pro čelní náraz
CTI	Combined Thoracic Index – kritérium hrudníku pro čelní náraz
ThCC	Thoracic Compression Criterion – kritérium stlačení hrudníku mezi hrudní kostí a páteří
PSPF	Pelvis Performance Criterion – kritérium poranění pánve
FFC	Femur Force Criterion – kritérium poranění stehenní kosti
TI	Tibia Index – index holenní kosti
TCFC	Tibia Compression Force Criterion – kritérium stlačení holenní kosti
APF	Abdominal Peak Force – kritérium poranění břicha
SI	Severity Index – index zatížená
OOP	Out of position – mimo polohu

1 Úvod

Doba stále spěje dopředu a ve všech technických oblastech je snaha nahradit lidského činitele systémy, které budou ovládány pomocí nejrůznějších elektronických zařízení. To se děje i v automobilovém průmyslu. Do vozidel je montováno stále více a více elektronických zařízení, které mají za úkol zpříjemnit jízdu a nahradit tak úkony řidiče. Všechny tyto systémy, ale nesmí ubírat na pohodlí či bezpečnosti ve vozidle.

Stále se stává více realitou, že na silnicích začneme v běžném provozu potkávat vozidla, která nebudou potřebovat aktivní přístup řidiče a zcela tak budou ovládána elektronickými zařízeními. Lidé si tak budou moci cestu zpříjemnit a věnovat se jiným věcem, než je tomu v dnešní době, kdy se řidič musí aktivně věnovat řízení.

Avšak jaká budou tato vozidla z pohledu bezpečnosti v případě, kdy některý ze systému selže či vyhodnotí situaci reakcí, kterou nebude posádka vůbec očekávat? A hlavně budou se chovat tyto vozidla stejně jako manuálně ovládaná? Nebude problémem až se tyto vozidla budou potkávat na jedné komunikaci?

V této diplomové práci se nejprve budu zabývat aktuálním stavem vývoje autonomních vozidel a bezpečnostními prvky v osobních automobilech. Dále se zaměřím na legislativu, která se zabývá pasivní bezpečností vozidel. Nakonec se zaměřím na biomechanická kritéria poranění, která se využívají k určení mechanismu poranění a vyhodnocení poranění při homologačních či spotřebitelských testech.

Hlavním cílem bylo realizovat jízdní zkoušku ve vozidle, které se bude chovat jako autonomní vozidlo vyššího stupně automatizace a následně analyzovat pohyby pasažéra při nečekaném autonomním zakročení do řízení. Z této analýzy pak došlo ke zhodnocení stávajících prvků pasivní bezpečnosti a k návrhu těchto prvků pro vozidla s vyšším stupněm autonomizace.

2 Autonomní vozidla

Autonomní vozidla jsou vozidla, která mohou částečně nahradit řidiče (nižší stupně automatizace) či vůbec nepotřebují řidiče ke svému ovládní (vyšší stupně automatizace). Ke své orientaci v prostoru využívají počítačové systémy a senzory. Řidič se tak nemusí věnovat řízení a může se soustředit na jiné činnosti, které nejsou v dnešní době možné (například číst si noviny, ovládat svůj mobilní telefon či sledovat videa na palubním počítači).

2.1 Stupně automatizace

Rozlišuje se 6 stupňů automatizace. Jednotlivé stupně značí jak moc je vozidlo automatizované neboli jak moc se vozidlo dokáže ovládat samo bez zásahu řidiče. Jednotlivé stupně jsou označeny čísly 0–5, kdy stupeň automatizace 0 značí žádnou automatizaci, a naopak stupeň automatizace 5 značí plnou automatizaci vozidla.

2.1.1 Úroveň 0

Úroveň automatizace 0 značí žádnou automatizaci ovládní vozidla. Vozidlo je tak ovládáno zcela řidičem, který je zodpovědný za veškeré úkony jízdy – řízení, brždění, zpomalení, zrychlení. Vozidla úrovně automatizace 0 mohou mít bezpečnostní prvky jako je varování mrtvého úhlu či varování před kolizí. Tyto prvky nepůsobí po delší dobu, nesplňují prvky pro automatizaci. V současnosti je většina vozidel v provozu stupně automatizace 0. [1]

2.1.2 Úroveň 1

Úroveň automatizace 1 je nejnižší stupeň automatizace, asistence řidiče. Systémy na této úrovni začínají v konkrétních situacích přebírat kontrolu nad vozidlem, ale ne zcela. Jedná se například o adaptivní tempomat. Tempomat dokáže vozidlo udržet v bezpečné vzdálenosti za dalším vozidlem, dokáže ovládat zrychlení a brždění. Řidič tedy může sundat nohu z pedálu, avšak musí vozidlo stále ovládat a plně se věnovat řízení a v případě potřeby musí ihned zasáhnout a rychlost upravit (například zabrzdít). [1]

2.1.3 Úroveň 2

Úroveň automatizace 2 značí částečnou automatizaci vozidla. Jedná se především o vyspělé asistenční systémy řidiče nebo ADAS. Vozidlo může plnit složitější funkce, může samo ovládat řízení i zrychlování či zpomalování. Automatizace nedosahuje samostatného řízení, řidič musí kdykoliv být schopen převzít nad vozidlem kontrolu. [1]

2.1.4 Úroveň 3

Úroveň automatizace 3 značí podmíněnou automatizaci. Vozidla mají schopnost detekce prostředí. Avšak stále vyžadují lidské ovládání. Pokud nebude systém schopen úkol provést, musí být řidič v pohotovosti a být připraven převzít kontrolu nad vozidlem. V tomto stupni se jedná například o funkci pilota v dopravní zácpě, kdy vozidlo samo zrychluje či zpomaluje a řidič může dělat jiné úkony nežli řízení – například věnovat se svému mobilnímu telefonu či si číst noviny. [1]

2.1.5 Úroveň 4

Úroveň automatizace 4 značí vysokou automatizaci. Vozidlo je schopno plně monitorovat prostředí a ovládat všechny funkce trasy. Ve výjimečných případech může vozidlo vyžadovat zásah ze strany řidiče, například při špatném počasí. [1]

2.1.6 Úroveň 5

Úroveň automatizace 5 značí plnou automatizaci vozidla. Vozidla jsou plně autonomní, není zapotřebí žádný řidič. Je tedy dost možné že vozidla stupně automatizace 5 nebudou mít volant ani pedály. Vozidla budou moci jet kamkoli a dělat cokoli, co dokáže řidič. Vozidla budou vybaveny inteligentní kabinou, ve které budou moci své příkazy pro výběr cíle nebo podmínek ve vozidle ovládat hlasem. [1]

2.2 Aktuální autonomizace

V dnešní době se můžeme v běžné provozu setkat s vozidly stupně automatizace 0 (žádná automatizace) a stupně 1 (asistence řidiče). Stále více se můžeme setkávat s vozidly stupně

automatizace 2 (částečná automatizace), které mají systémy ADAS – pokročilé asistenční systémy pro řidiče, kde mnoho nových vozidel je nabízí jako standardní nebo dostupné vybavení.

Přechod na stupeň 3 je již značný, neboť ve stupni 3 již systém sám monitoruje prostředí kolem. Systémy úrovně 3 nejsou ještě na silnicích legálně využívány, ale jejich testování již probíhá v mnoha společnostech.

Automobily s vysokou automatizací úrovně 4 a plně autonomní vozidla úrovně 5 již jsou ve světě testovány také, ale k nim nejsou zatím k dispozici široké veřejnosti

Tesla

Americká společnost Tesla sídlící v Kalifornii byla založena v roce 2003. Je známa svými elektromobily. Konstruktoři chtěli přejít k využívání elektromobilů namísto, podle nich horších, spalovacích motorů. Jejich první model Roadster byl představen v roce 2008 – viz obrázek 1.

Tesla Roadster první generace je sportovní automobil. Jedná se o první elektromobil společnosti Tesla. První prototyp byl vyroben v roce 2006. Sériově byl tento model vyráběn v letech 2008–2012. Jeho vývoj byl značně ovlivněn problémy s vývojem baterií, které se často přehřívali. Jeho maximální dojezd je 393 km, po vylepšení baterií se dojezd zvýšil na 640 km. Jeho maximální rychlost je 201 km/h, se zrychlením z 0 na 100 km/h za méně než 4 s. [46]



Obrázek 1 - Tesla Roadster [46]

Společnost Tesla chystá automobil Tesla Roadster druhé generace. Začátek jeho výroby byl posunut až na rok 2022.

Od roku 2014 jsou všechny vozy vybaveny autopilotem, který zajišťuje poloautonomní asistenci řízení – úroveň autonomizace 3/4. Automobil tak umí rozeznat dopravní značení, jízdní pruhy, ostatní vozidla či překážky na vozovce. [12]

Od roku 2016 jsou všechny vyrobená vozidla společnosti Tesla vybaveny systémem, který zajišťuje plně autonomní řízení. Generální ředitel společnosti Elon Musk věří, že koncem roku 2021 si budou moci plně autonomní vozidla (úrovně automatizace 5) společnosti Tesla vyzkoušet již zákazníci. [13]

Waymo LLC

Waymo je americká společnost, která se zabývá vývojem technologií pro autonomní vozidla. Společnost provozuje komerční samořízenou taxislužbu, která funguje bez bezpečnostního záložního ovládání ve vozidle – obrázek 2. Společnost Waymo vyvíjí technologie pro využití v jiných vozidlech. Společnost má tak partnery ve výrobcích vozidel, kterých své technologie integruje do vozů. Jedná se například o společnosti Daimler AG, Nissan-Renault, Stellantis, Jaguar, Land Rover či Volvo. [15]

Waymo One jsou vozidla taxislužby. Jedná se o samořízené vozy, nepotřebují ke svému řízení řidiče. Odpadá tak cestujícím stres z řízení a mohou svůj čas během jízdy využít jinak (např. ke čtení knihy, přípravě do práce či odpočinku). Službu si může cestující snadno objednat pomocí aplikace. [47]



Obrázek 2 – Waymo One – taxislužba [47]

Cadillac

Společnost Cadillac využívá u svých vozů Cadillac Super Cruise. Jedná se o funkci asistence při řízení hands-free pro kompatibilní silnice. Využívá k tomu pokročilé technologie pro řízení bez využití rukou. Řidič ale musí mít stále situaci pod dohledem. Nesmí přestat sledovat jízdu. Dále jsou vozy vybaveny adaptivním tempomatem, či asistentem parkování. Od roku 2021 jsou vozidla vybavená technologií Super Cruise doplněna o funkci Lane Change of Demand, která umožňuje i podle přání řidiče změnit jízdní pruh. V současné době můžeme systém Super Cruise nalézt v nabízených modelech CT6, CT4, CT5, Escalade a od roku 2023 LYRIQ – obrázek 3.

Cadillac LYRIQ je elektromobil, který by se mohl začít vyrábět na konci roku 2022. Vozidlo je již plně testováno. Dostupné bude prozatím pouze na americkém trhu. Kapacita baterií by mohla být až 100 kWh a na jedno nabití by mohl ujet přes 480 km. Dále bude vozidlo vybaveno autopilotem Super Cruise. Tento systém tak umožní jízdu na speciálně zmapovaných trasách ve Spojených státech jezdit sám, bez zásahu řidiče. [48]



Obrázek 3 – Cadillac LYRIQ [48]

Volvo

Společnost Volvo ve svých vozidlech využívá systém Pilot Assist. První prvky autonomních řízení do svých vozů zařadily již v roce 2006. Jednalo se o technologie adaptivního tempomatu, systém varování před kolizí či varování před vybočením z jízdního pruhu. Řidič i přes využívání systému Pilot Assist poslední generace musí mít stále ruce na volantu, aby v případě potřeby provedli případný manévr. Společnost Volvo by chtěla se svými vozy v roce 2021 dosáhnou stupně automatizace 4 a to alespoň pro jízdu na dálnicích. [14]

Systém společnosti Volvo Pilot Assist můžeme nalézt ve vozidlech s označením XC90, S90, V90, XC60, S60, XC40, Cross Country či Twin Engine.

2.3 Výhled autonomních vozidel v provozu

Uvedení autonomních vozidel vyšších stupňů automatizace do běžného provozu brzdí hlavně chybějící legislativa, která by jejich použití na komunikacích umožňovala. Autonomní vozidla tak v dnešní době je možné využívat jen na neveřejných okruzích.

Avšak od roku 2022 by mělo být umožněno v Německu jezdit některým samořízeným vozidlům volně po komunikacích. To by značilo velký pokrok v evropských zemích v oblasti

samořízených vozidel. Jedná se totiž o první evropský standard, který má napomoci k autonomní mobilitě. Toto povolení by se mělo týkat autonomních vozidel úrovně automatizace 3, to znamená, že řidič se nemusí starat o směrové řízení a ovládání rychlosti, ale stále musí mít dohled nad vozidlem a v případě potřeby musí být schopen převzít řízení. [49]

Vyšší stupně autonomních vozidel úrovně 4 a 5 nejsou v Evropě povoleny provozovat na veřejných komunikacích, je možno je pouze testovat v laboratořích nebo na testovacích okruzích. Ovšem povolení využívání autonomních vozidel úrovně 3 v Německu je již značným předstupněm pro další rozvoj legislativy.

2.4 Autonomní vozidla v ČR

V současné době se můžeme v provozu na území České republiky setkat s vozidly stupně automatizace 0, 1 a 2. Tyto stupně jsou povoleny v České republice i testovat. Hlavní problémem pro uvedení do provozu, ale i pro testování, je nedostatečná legislativa.

Technologie autonomních vozidel u nás v České republice již testuje firma TÜV SÜD. Ta provozuje svá testování u Mnichova Hradiště na letišti v Hoškovicích.

V České republice se v současné době nenachází žádné okruhy pro testování autonomních vozidel. Avšak společnost BWM má již schválený plán okruhu u Sokolova - viz obrázek 4. Budou se zde testovat nejen vozy společnosti BMW, ale rovněž také vozy společnosti Mini a Rolls-Royce. Celý areál by měl vzniknout do roku 2022. [3]



Obrázek 4 – Vizualizace testovacího polygonu u Sokolova [3]

Další testovací polygon v České republice má vzniknout u města Stříbro na Tachovsku – viz. obrázek 5. Chce ho zde vystavět investiční skupina Accolade. Společnost plánuje výstavbu dokončit v roce 2022. Polygon by měl dosahovat 12 km a měly by se zde dát nasimulovat ulice města, silnice nižších tříd i tak dálnice. [4]

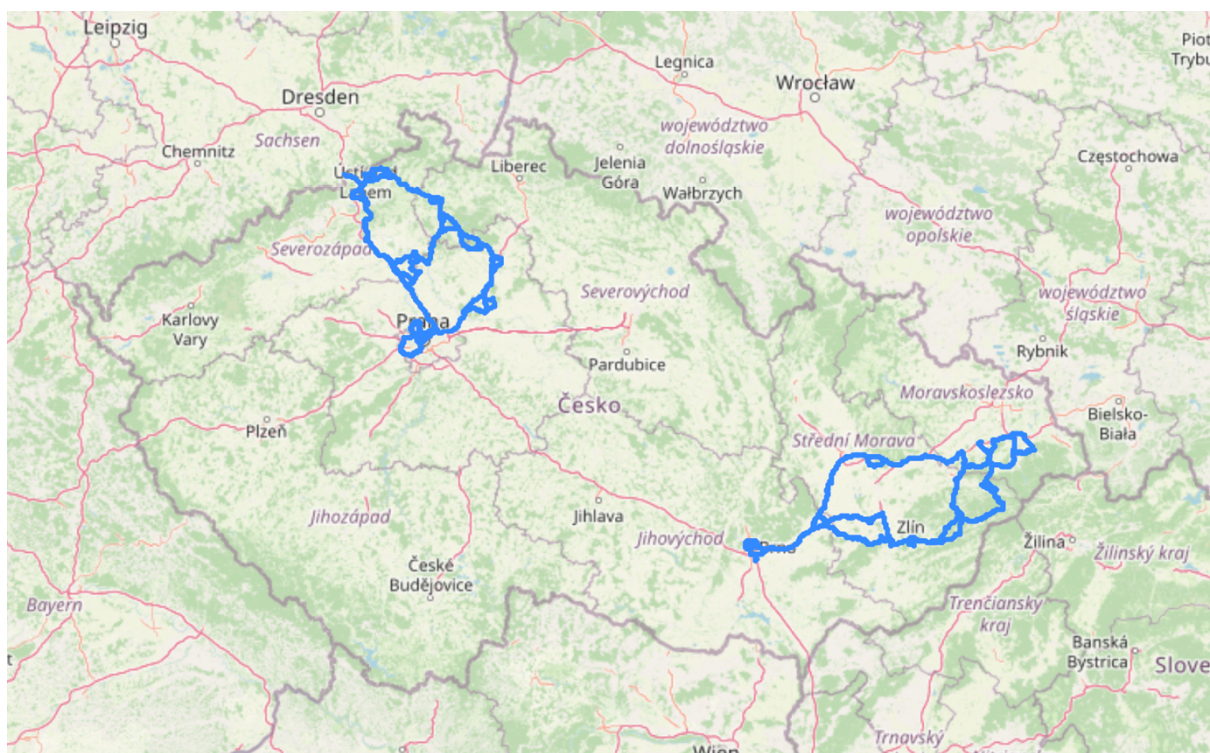


Obrázek 5 - Schéma areálu testovacího polygonu u Stříbra [4]

Navíc také společnost AUREL CZ plánuje nedaleko Mladé Boleslavi u města Doksy vybudovat polygon, kde plánuje testovat vozidla, dopravní infrastrukturu a autonomní vozidla. Projektová dokumentace by měla být dokončena do roku 2022 a hlavním partnerem projektu je koncern Volkswagen. [43]

Další testovací okruh pro autonomní vozidla má vzniknout také na letišti v Milovicích – Boží Dar. Má ho zde vybudovat firma Valeo. Již nyní firma zde vybuďovala plochu, na které testuje automobily v nízké rychlosti, například při autonomním parkování. [5]

V České republice je také vytvořen Katalog testovacích oblastí pro autonomní vozidla (dále jen Katalog). Katalog byl vytvořen Centrem dopravního výzkumu ve spolupráci s Ministerstvem dopravy a Státním fondem dopravní infrastruktury. Katalog má přispět k lepšímu testování autonomních vozidel v běžném silničním provozu a lepší přehlednosti informací o úsecích silniční sítě. V Katalogu jsou vytypovány dvě oblasti. První oblast se nachází v Čechách a spojuje města Mladá Boleslav – Praha – Ústí nad Labem. Druhá oblast na nachází na Moravě a ve Slezsku a spojuje města Brno – Olomouc – Frýdek Místek – Zlín – obrázek 6. [6]



Obrázek 6 – Mapa okruhů pro autonomní vozidla v běžném provozu v České republice [7]

3 Bezpečnostní prvky

Bezpečnost v automobilovém průmyslu je v dnešní době jedna z velmi důležitých věcí, na které se klade obrovský důraz. Se zlepšujícím technickým a vývojovým pokrokem, se stále vyvíjí a testují nová zařízení či systémy. Současně jsou také vyvíjeny prvky, které pomáhají nehodám předcházet a pokud již případně k nehodě dojde, pomáhají zmírňovat následky nehod. Tyto prvky, které zajišťují bezpečnost posádky ve vozidle rozdělujeme do dvou skupin:

- prvky aktivní bezpečnosti
- prvky pasivní bezpečnosti

3.1 Prvky aktivní bezpečnosti

Prvky aktivní bezpečnosti jsou systémy a schopnosti vozidla, které pomáhají odvrátit a zabránit tak případné dopravní nehodě. Tyto prvky mají za úkol například zpomalit či zcela zastavit vozidlo, udržet vozidlo na silnici či pomáhají zabránit smyku. Mezi prvky aktivní bezpečnosti se také řadí dobrý výhled řidiče z vozidla, kvalitní pneumatiky, tlumiče či dobré osvětlení vozidla za jakéhokoli počasí. Mimo to se mezi prvky aktivní bezpečnosti řadí celé řada moderních elektronických systémů jako jsou např.:

- ABS (Anti-lock Brake System) – protiblokovací systém
- ASR (Anti-Slip Regulation) – systém regulace prokluzu kol
- ESP = ASC (Electronic Stability Program = Electronic Stability Control) – elektronický stabilizační program
- EBA = BAS (Emergency Brake Assist = Braking Assistance System) – nouzový brzdový asistent
- ACC (Adaptive Cruise Control) – adaptivní tempomat
- Lane Assist – systém udržování vozidla v pruhu
- TCS (Traction Control System) – protiskluzová regulace

3.1.1 ABS (Anti-lock Brake System)

ABS je protiblokovací systém, který zabraňuje, aby kolo bylo během brždění zablokováno a ztratila se tím přilnavost s vozovkou. To vede ke zvýšení stability, ovladatelnosti a říditelnosti

vozidla. ABS má čtyři hlavní komponenty – snímač rychlosti, ventily uvolňující tlak brzd, čerpadlo vyvíjející tlak na brzdové bubny a řídicí jednotku. Pokud náhle dojde k blokování kol a ztrátě přilnavosti, systém bez ohledu na brzdový pedál reguluje tlak brzdy na pomalejším kole. Po jeho korekci na požadovanou rychlost se tlak opět napustí. Tento úkon systém v případě potřeby zopakuje několikrát během vteřiny. Systém je aktivní do rychlosti 4 km/h, kdy se potom sám odpojuje. [9]

3.1.2 ASR (Anti-Slip Regulation)

ASR je systém regulace prokluzu kol. ASR systém je rozšířením systému ABS. Jedná se o zařízení, které zabraňuje prokluzu hnacích kol, a to ve všech rychlostech – malých i velkých. Pokud dojde k prokluzování kol, systém sníží točivý moment. Moment je snížen na takovou hodnotu, při kterém již nedochází k prokluzu. Řídicí jednotka je společná se systémem ABS, která porovnává točivý moment na hnacích kolech s koly, které hrací nejsou a případně ho vyrovnává. Systém vede k větší stabilitě a ovladatelnosti vozu v případě zrychlení. [10]

3.1.3 ESP = ASC (Electronic Stability Program = Electronic Stability Control)

ESP/ASC neboli elektronický stabilizační program je rozšíření systémů ABS a ASR. Program má za úkol pomoci stabilizovat automobil přibrzdováním jednotlivých kol či omezením výkonu kroučícího momentu motoru. Tento program je využíván při rychlém průjezdu zatáčkou. [11]

3.1.4 EBA = BAS (Emergency Brake Assist = Braking Assistance System)

EBA/BAS je nouzový brzdový asistent, který při nouzovém brždění umožňuje vyvinout maximální brzdící účinek, a to bez ohledu na míře sešlápnutí brzdového pedálu řidičem vozidla. Systém po celou dobu monitoruje rychlost a míru sešlápnutí brzdového pedálu. Pokud vyhodnotí situaci jako kritickou, dojde ke zvýšení tlaku v brzdách. Systém tak dokáže zvýšit brzdící účinek, tím dojde ke zkrácení brzdné dráhy. V dnešní době je již povinnost, aby nově vyrobené modely vozidel v EU byla systémem pro nouzové brždění vybaveny. [17]

3.1.5 AEB (Autonomous Emergency Braking)

Autonomní systém nouzového brzdění je považován za nejbezpečnější systém brzdění na světě. Automaticky dochází k použití brzd, aby zabránil případné kolizi, či aby došlo ke zmírnění následků dopravní nehody. Systém upozorní řidiče na případnou kolizi a v případě, že nereaguje dostatečně rychle, automaticky začne brzdi sám. [19]

3.1.6 ACC (Adaptive Cruises Control)

ACC je adaptivní tempomat. Systém po celou dobu monitoruje vozidlo, které jede před ním. Sleduje vzdálenost od něj a dokáže regulovat rychlost tak, aby byla vzdálenost stále stejná. Zároveň může systém udržovat konstantní rychlost. Automaticky jsou tak ovládány brzdy i motor vozidla. V případě, že systém vyhodnotí, že vzdálenost se zmenšuje, sám přibrzdí. Pokud dojde opět ke zrychlení vozidla před ním, systém automaticky sám zrychlí. Vzdálenost je měřena snímači, které jsou umístěny vpředu vozidla. Řidič musí být po celou dobu využívání adaptivního tempomatu v pozoru a musí být schopen kdykoliv zasáhnout. Řidič musí také vozidlo ovládat směrově.

Stále se u adaptivních tempomatů vyskytují problémy. Stává se, že systém nedetekuje malý objekt, odstavené vozidlo či chodce, cyklisty. Problém také nastává u kruhových objezdů. Pokud vozidlo stojící před ním se rozjede, systém má tendenci se rozjet také, protože systém detekuje vozidla jen vpředu, což může vést ke kolizi s jiným vozidlem jedoucím po kruhovém objezdu. [18]

3.1.7 Lane Assist

Lane Assist je systém udržující vozidlo v jízdním pruhu. Pomocí kamery rozpoznává vodorovné dopravní značení na vozovce. Pokud se vozidlo začne mu na nějaké straně přibližovat, automaticky upozorní řidiče na to a cíleným protipohybem začne vozidlo v pruhu korigovat. Tento automatický zásah lze kdykoliv korigovat volantem. Systém jen pomáhá vozidlo udržovat v pruhu, nejedná se o autonomní řízení a řidič tak musí být po celou dobu ve střehu.

Systém byl navrhnout především pro využití na dálnicích a silnicích vyšších tříd, kde je kvalitní vodorovné dopravní značení. Překážkou pro systém není ani přerušovaná čára. Pokud je

vozidlo vybaveno asistentem udržující vozidlo v jízdním pruhu, systém se aktivuje automaticky. Pokud řidič dá znamení o změně směru, pruhu, systém automaticky nereaguje.

Problémy tohoto systému nastávají, pokud nejsou dobré povětrnostní podmínky – déšť, mlha sních. Systém tam nemusí vodorovné značení správně detekovat. [20]

3.1.8 TCS (Traction Control System)

TCS je protiprokluzová regulace pomocí zásahu brzd a motoru. Tento systém má za úkol zamezit ovlivňování stability ve vyšších rychlostech – nad 80 km/h. Systém v případě potřeby ubírá výkon motoru a tím snižuje rychlost. [21]

3.1.9 Prvky aktivní bezpečnosti dle úrovně automatizace

Prvky aktivní bezpečnosti se stále s příchodem autonomních vozidel zdokonalují. Ne všechny vždy tedy můžeme najít u všech stupňů autonomizace vozidla. S rostoucí úrovní přibývá množství systémů, které mají za úkol zpříjemnit uživateli cestu a zajistit vyšší bezpečnost.

U úrovně automatizace 0, nejnižší úroveň, můžeme najít prvky aktivní bezpečnosti jakými jsou systémy, které pouze varují, podávají informace. Mezi tyto systémy můžeme zařadit varování mrtvého úhlu, varování před kolizí či před zadním nárazem.

U úrovně automatizace 1 přibývají další systémy. Do této kategorie můžeme zahrnout systém adaptivního tempomatu – ACC (Adaptive Cruise Control), nouzový brzdový asistent EBA, či systém udržení vozidla v jízdním pruhu – Lane assist.

U úrovně automatizace 3 může systém nad vozidlem převzít kontrolu nad více věcmi, ale řidič musí stále být v schopen rychle převzít řízení. Do této úrovně můžeme zařadit autonomní vyhýbání překážkám či dálniční asistent.

Od úrovně autonomizace 3 se stále zvyšuje množství kontroly, které mají systémy nad vozidlem. Systémy těchto úrovní nejsou ještě v dnešní době komerčně využívány.

3.2 Prvky pasivní bezpečnosti

Prvky pasivní bezpečnosti mají za úkol zmírnit následky, pokud již ke kolizi dojde. Jejich hlavní funkcí, je ochrana řidiče a celé posádky vozidla v případě, že dojde k dopravní nehodě. Mezi prvky pasivní bezpečnosti patří:

- konstrukce vozidla a deformační zóny
- zádržné systémy pro ochranu posádky

3.2.1 Karoserie vozidel

Karoserie vozidla je nejdůležitějším prvkem v pasivní bezpečnosti. Karoserii můžeme rozdělit na dvě části. První část je prostor pro posádku a druhá část je deformační část vozidla.

Karoserie každého vozidla je složena z mnoha různých částí, které jsou vyrobeny z různých materiálů. Vše má za úkol co nejlépe ochránit posádku vozidla a zmírnit následky v případě nehody.

V případě kolize dochází k deformacím deformačních zón, prostor pro posádku musí zůstat bezpečný – obrázek 7. Na obrázku je znázorněno, že v případě čelního nárazu, dochází k deformaci předku, aktivaci zádržných systémů, airbagů, ale prostor pro přežití neboli prostor pro posádku zůstává bez větších deformací.



Obrázek 7 – Prostor pro přežití a prostor deformačních zón při čelní srážce [22]

3.2.1.1 Prostor pro posádku

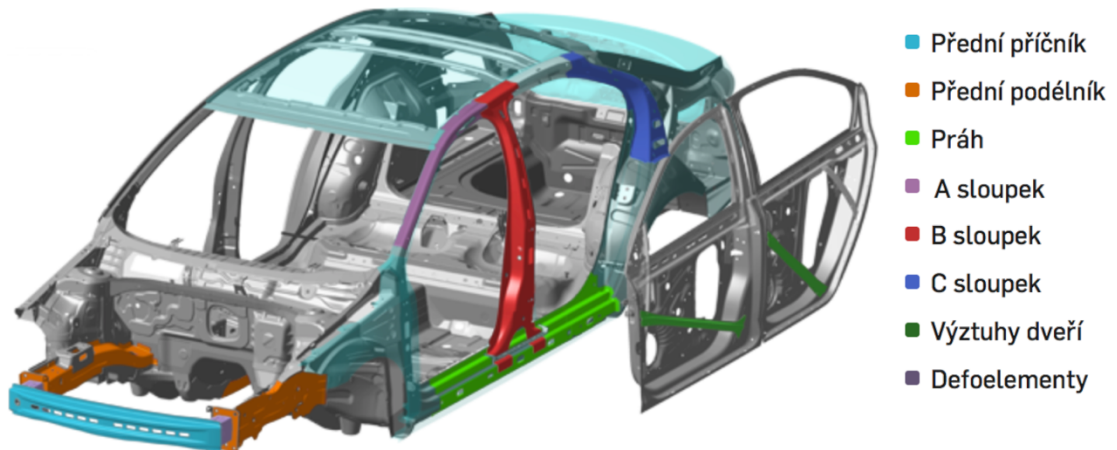
Prostor pro posádku je část vozidla, která by měla v případě nehody zůstat zachována nepoškozená. Do této části by tak neměli pronikat žádné další předměty, které by mohli ohrozit posádku vozu. Tento prostor je velmi důležitý, tudíž dochází k testování všech komponentů vozu, jestli se do daného prostoru nedostanou či nemůžou posádku zranit.

3.2.1.2 Deformační část

Deformační zóny, jsou části vozidla, která jsou v případě nehody deformovány. Mají za úkol pohltit energii nárazu a zmírnit tak následky poškození dalších částí, především prostoru kabiny – prostoru pro přežití posádky. Automobily, které obsahují deformační zóny jsou sériově vyráběny již od roku 1959. A od této doby je na deformační zóny a celkově na ochranu posádky kladen stále větší důraz.

Deformační zóny se nacházejí okolo celého vozu – obrázek 8. Největší deformační zóny se nacházejí zepředu vozidla, v případě čelního nárazu. Tyto zóny jsou tvořeny především předním příčnicem a podélníkem. V případě čelního nárazu malou rychlostí, ochranu zajišťují defoelementy.

Problémem jsou většinou boční deformační zóny. Ochranu před bočním nárazem zajišťuje B sloupek a výztuhy dveří. Tyto zóny jsou k hlediska konstrukce celého vozu velmi malé. Proto je na tyto zóny kladen velký důraz na kvalitu použitých materiálů, aby co nejvíce ochránil posádku v případě nárazu z boku.



Obrázek 8 – Části karoserie zajišťující ochranu cestujícím v případě nehody [22]

3.2.2 Zádržné systémy

Zádržné systémy mají na úkol v případě náhlé snížení rychlosti ochránit posádku vozidla. Slouží tedy k eliminaci pohybu posádky ve vozidle.

Mezi zádržné systémy se řadí:

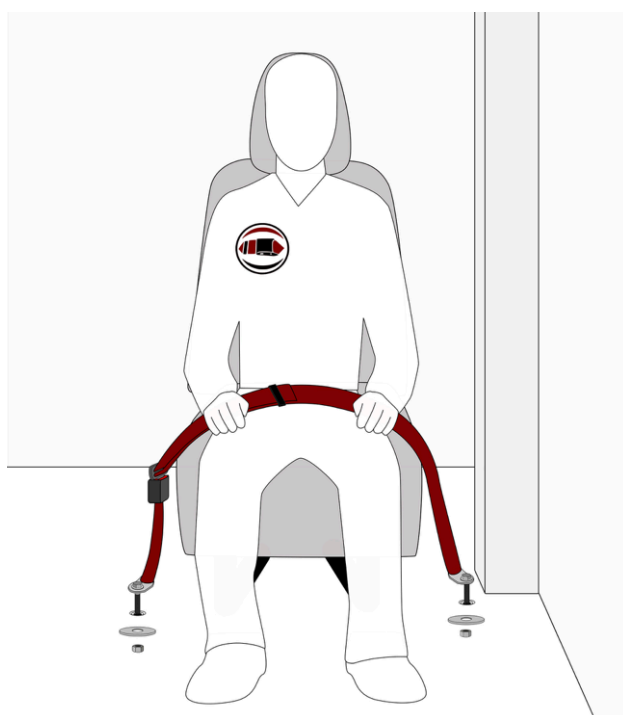
- bezpečnostní pásy
- airbagy
- hlavové opěrky
- dětské zádržné systémy

3.2.2.1 Bezpečnostní pásy

Bezpečnostní pásy mají za úkol v případě kolize zadržet posádku na místě v sedačce a zamezit tak pohybu dopředu. Jedná se o popruhový systém, který je ke karoserii pevně připevněn v několika bodech.

Bezpečnostní pásy může rozdělit podle toho v kolika bodech jsou pevně připevněny ke karoserii vozidla. Cestující může být tak připoután ve dvou až osmi bodech.

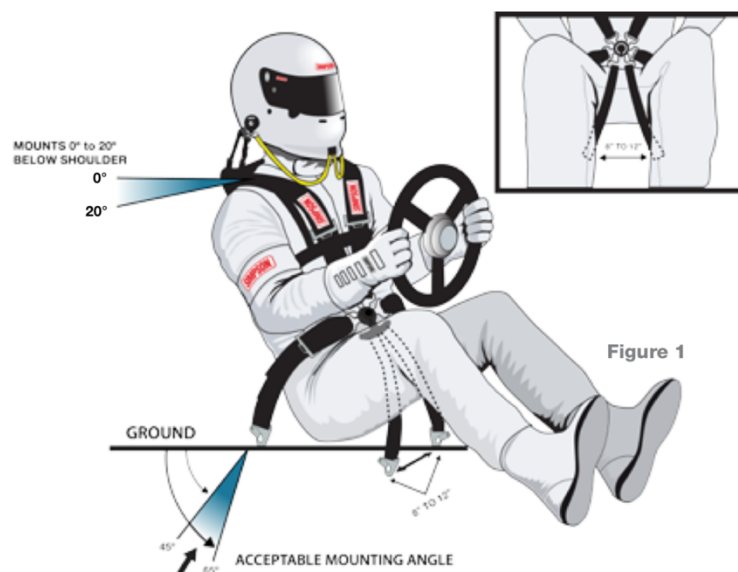
Dvoubodové bezpečnostní pásy se využívaly hodně v minulosti. Ke karoserii jsou připevněny ve dvou bodech – obrázek 9. V dnešní době se s nimi můžeme setkat ve starších vozech na zadním prostření sedadla. Cestující se tak připoutá pouze okolo břicha, což nevedlo k velké ochraně a v dnešní době se již od dvoubodových pásů ustupuje. A to především z důvodu, že v případě nehody, je pasažér zadržen pásem jen kolem břicha. Trup není nijak zadržen a docházelo tak často ještě k většímu zranění v oblasti břicha v důsledku velkého tlaku na břišní dutinu.



Obrázek 9 – Dvoubodový bezpečnostní pás [28]

Nejčastěji využívané bezpečnostní pásy v osobních vozech jsou tříbodové. Tento pás již v případě potřeby zadrží celé tělo.

Vícebodové – čtyřbodové, pětibodové a šestibodové bezpečnostní pásy (viz. obrázek 10) se využívají u závodních automobilů a sportovních automobilů. V těchto případech, vzhledem k rychlosti vozidla, je potřeba aby byla posádka pevně připoutána k sedadlu a nedošlo v případě nehody ke zranění. Sedmibodové bezpečnostní pásy se využívají u vozidel formule F1.

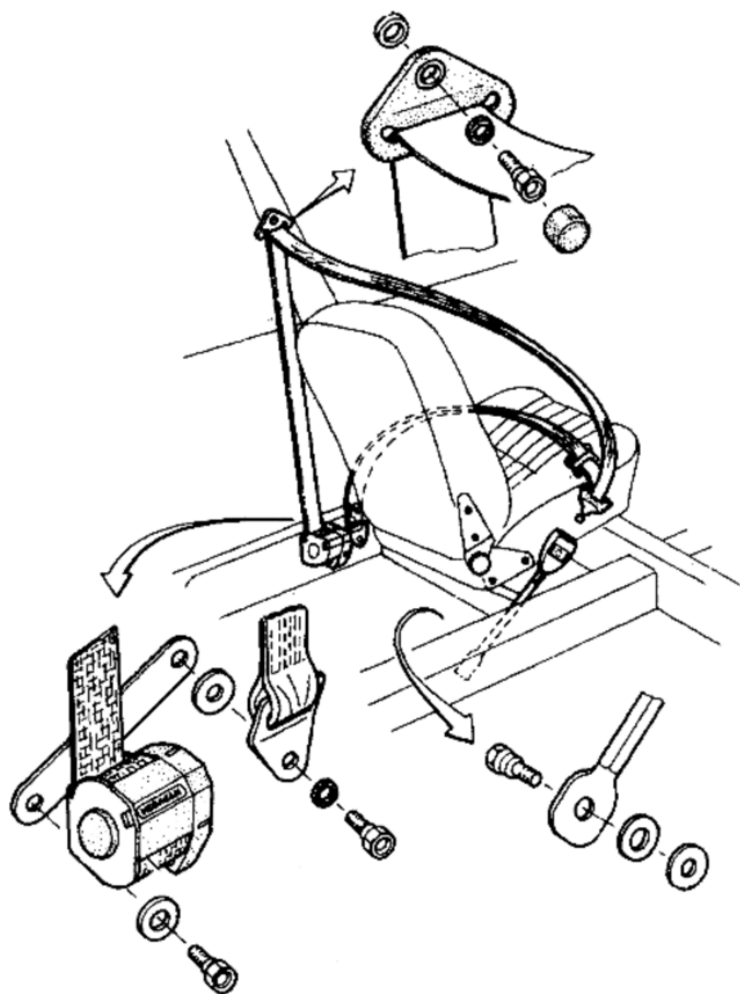


Obrázek 10 - Šestibodový bezpečnostní pás [29]

Pětibodové bezpečnostní pásy se využívají nejen u závodních automobilů. Můžeme se ale s nimi také setkat u dětských autosedaček.

Dříve se nejčastěji používali pevné bezpečnostní pásy. Tyto pásy museli být přesně upraveny dle potřeb řidiče, aby v případě potřeby správně ochránili posádku. Bohužel často u těchto pásů docházelo ke špatné úpravě dle proporcí posádky, kdy pásy byly často moc volné a neplnily tak svůj účel.

Proto se později začaly využívat bezpečnostní pásy automatické neboli samonavíjecí. Tyto pásy se využívají i v dnešní době – obrázek 11. Pás funguje na principu pružiny, která se při tahu uvolňuje a při uvolnění tahu se navíjí zpět. V případě prudkého trhnutí, je bezpečnostní pás zablokován. Účinnost samonavíjecího bezpečnostního pásu je nižší nežli účinnost pevného bezpečnostního pásu. Proto jsou samonavíjecí bezpečnostní pásy doplněny předepínači.

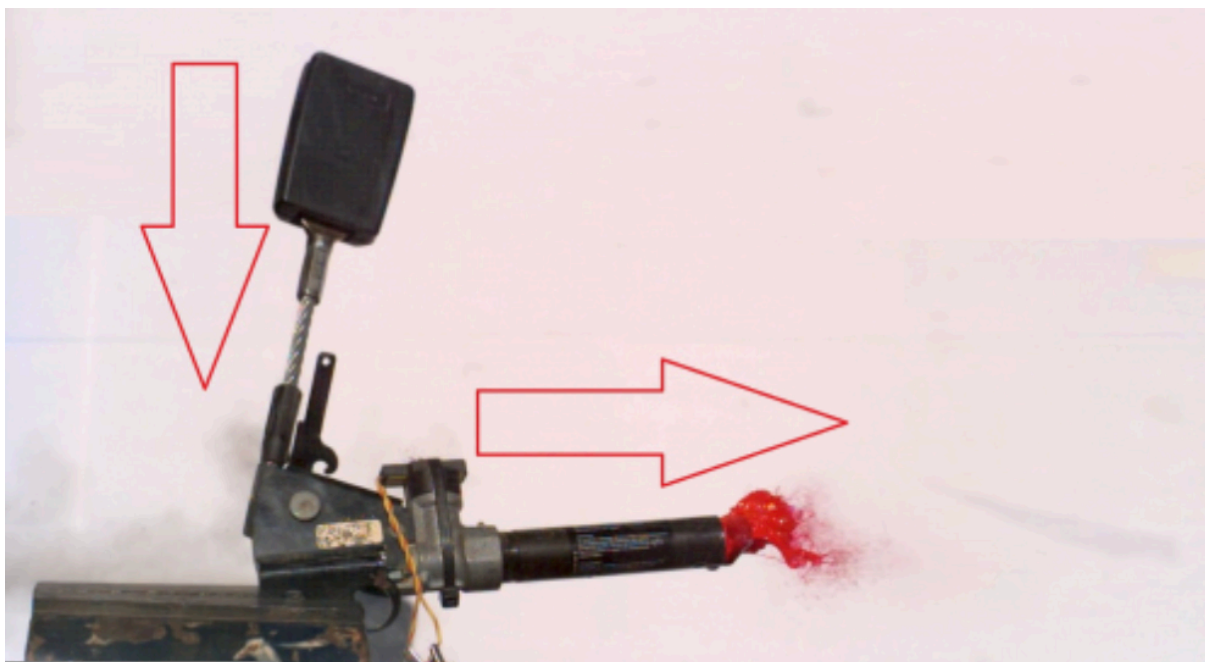


Obrázek 11 - Tříbodový samonavíjecí bezpečnostní pás [27]

Předepínač bezpečnostní pásu pracuje na podobném principu jako airbag. V činnosti je pouze v případě aktivace při dopravní nehodě. Jeho funkce je, že v případě potřeby přitáhne bezpečnostní pás a tím zabrání pohybu řidiče či jiného člena posádky vozidla. Tělo je tak zachyceno dříve, nežli by tomu bylo zaseknutím pásu – zaseknutí pásu má určitě zpoždění. Lidské tělo je tak pevně fixováno v sedadle a nedochází k prudkému záchytu a zpětnému vrácení do sedadla.

Podle mechanismu, na kterém pracují, můžeme předepínače bezpečnostních pásů rozdělit na pružinový a na pyrotechnický. V případě pyrotechnického předepínače, tak v případě nehody, pyrotechnická patrona posune samonavíjecí mechanismus bezpečnostního pásu proti pohybu pásu – obrázek 12. Tím dojde k odstranění zpoždění náběhu bezpečnostního pásu a pasažér je pevně zachycen v sedadle. Stejně tak jako u airbagů je použití předepínače bezpečnostního pásu pouze na jedno použití, poté musí dojít k výměně. [23]

Aby nedocházelo k přílišnému přitažení bezpečnostního pásu, které by mohlo v případě nehody zranit pasažéry vozidla, jsou každé samonavíjecí bezpečnostní pásy vybaveny omezovací síly. V případě že na pás bude působit síla o hodnotě větší nežli 5 kN, začne se hřídelka pásu ohýbat a následně dojde k povolení pásu.



Obrázek 12 - Schéma, jak funguje předepínač bezpečnostního pásu [23]

3.2.2.2 Airbagy

Airbag je textilní vak, který má v případě nehody pohltit energii a zabránit kontaktu posádky s pevnými povrchy ve vozidle. Slouží ke zpomalení nárazu, nikoli k zadržení posádky. Proto musí být používán společně s bezpečnostními pásy.

V dnešní době již existuje celá řada airbagů viz. obrázek 13. Podle jejich umístění rozlišujeme airbag řidiče, který je umístěn na volantu, airbag spolujezdce, boční airbagy a hlavové airbagy.



Obrázek 13 - Rozmístění airbagů ve vozidle [8]

Protože je kladen stále větší a větší důraz na bezpečnost v automobilovém průmyslu a k omezení dopravních nehod nedošlo, je tak stále rozvíjena a vylepšována i ochrana ve vozidle. U airbagů tomu není jinak. Stále více jsou do vozidel přidávány další airbasy.

Můžeme se tak stále častěji ve vozidlech setkat i s kolenními airbasy – obrázek 14. Tento airbag je naistalován v přístrojové desce a v případě nehody tak brání prudkému nárazu do přístrojové desky, aby nedošlo k poškození kolenních kloubů.



Obrázek 14 - Kolenní airbag [35]

Dále se ve vozidlech můžeme setkat s far-side airbagem, neboli s airbagem pro případ bočního nárazu ze vzdálené strany – obrázek 15. Tento airbag má tak za úkol zamezit v případě nehody kontaktu řidiče a spolujezdce na předním sedadle, či zamezit kontaktu s interiérem na opačné deformované straně.



Obrázek 15 - Far-side airbag [36]

3.2.2.3 Opěrka hlavy

Opěrka hlavy slouží k ochraně hlavy při nárazu. Brání záklonu hlavy. Nepostradatelná je tak při nárazech zezadu a při zpětném pohybu hlavy zpět do sedadla při čelním střetu. Páteř a svaly by v těchto situacích hlavu nedovedly udržet a mohlo by tak dojít k poškození posádky v oblasti krku, krční páteře. Opěrka, aby plnila zcela svoji funkci, musí být správně nastavena, aby se o ní mohla opřít celá hlava – obrázek 16.

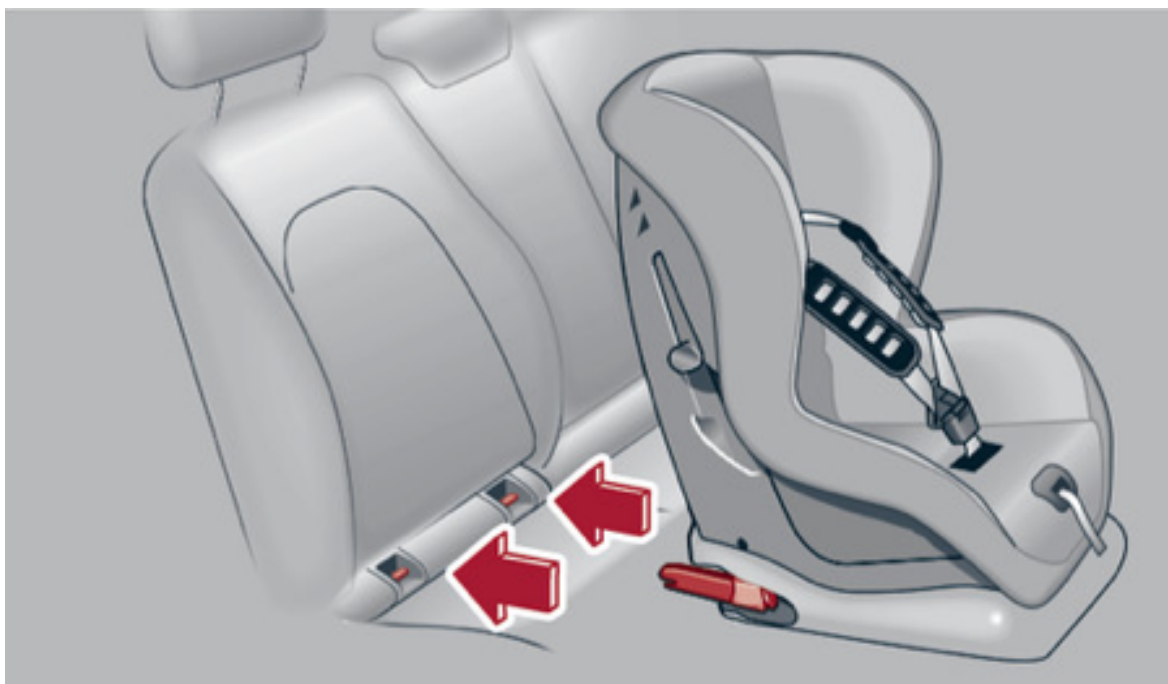


Obrázek 16 - Správné nastavení opěrky hlavy [24]

3.2.2.4 Dětské zadržné systémy

Ochranné prvky pasivní bezpečnosti, jakou jsou bezpečnostní pásy, airbagy či opěrky hlavy, nejsou svými technickými parametry přizpůsobeny dětem. Proto nesmí děti do 150 cm své výšky a 36 kg cestovat v osobním automobile bez použití dětské autosedačky.

V současné době je nejčastěji využíván pro dětské autosedačky systém ISOFIX. Tento systém byl vyvinut společností BRITAX RÖMER ve spolupráci s automobilkou Volkswagen již v roce 1997. Proto se poprvé objevil u vozu Golf IV. ISOFIX se stal spojením mezi vozidlem a autosedačkou. Jedná se o pevné spojení – dětská autosedačka se jednoduše připevní do pevných kotevnic bodů ve vozidle. Systém zajišťuje rychlou a přesnou instalaci dětských autosedaček – obrázek 17. Pokud je vozidlo systémem ISOFIX vybaveno, lze tak autosedačku přidělat na přední sedadlo spolujezdce či na zadní sedadla. [39]



Obrázek 17 - Upevnění dětské autosedačky pomocí systému ISOFIX [38]

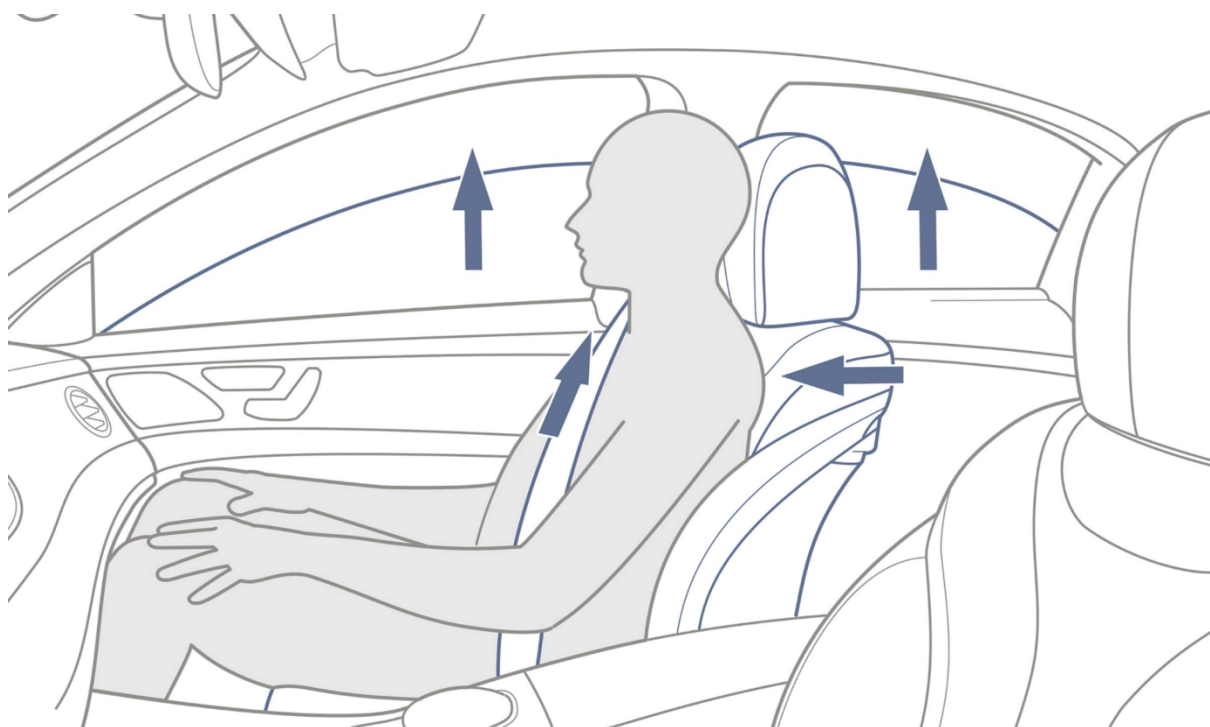
Dětské autosedačky můžeme rozdělit do 4 skupin. Jednotlivé skupiny jsou od rozděleny podle hmotnosti dítěte. Jednotlivé skupina jsou označeny číslem. [39]

- Skupina 0 – do 13 kg – Dítě leží a je otočeno proti směru jízdy. Uvnitř sedačky je třibodový bezpečnostní pás.
- Skupina 1 – od 9 do 18 kg – Tato sedačka tak nejčastěji vyhovuje do 4 roků dítěte. V sedačce se nachází pětibodový bezpečnostní pás.
- Skupina 2 – od 15 do 25 kg – Tato sedačka již nemá vlastní bezpečnostní pásy, ale využívá standardní třibodový bezpečnostní pás ve vozidle.
- Skupina 3 – od 22 do 36 kg – Tato sedačka se skládá pouze ze sedáku bez opěradla. Připoutání je pomocí klasického bezpečnostního pásu ve vozidle.

4 Pre–crash systémy

Pre–crash systém je systém proaktivní ochrany pasažérů. Systém má zajistit vyšší ochranu v kritických situacích a zmírnění závažnosti následků v případě kolize. Systém monitoruje okolí, vzdálenost mezi jednotlivými vozidly a varuje řidiče v případě, že se dostanou k sobě velmi blízko, případně pomáhá předcházet kolizím.

Pokud systém vyhodnotí hrozící nebezpečí automaticky vyvodí opatření pro zabránění kolize a případnému snížení následků. Automaticky se tak ve vozidle zavřou otevřená okna, zavře se případně panoramatické střešní okno a předeprnou se pásy, aby byl řidič v případě kolize pevně upevněn ke svému sedadlu – obrázek 18.



Obrázek 18 - Schéma Pre-crash systémů – uzavření oken, narovnání sedadla do vzpřímené polohy a předeprnutí bezpečnostního pásu [40]

4.1 Aktuálně pre-crash systémy

V dnešní době již některé společnosti do svých automobilů pre–crash systémy zavádí z důvodu vyšší bezpečnosti. Tyto systémy jsou s ohledem na vývoj autonomních vozidel velmi důležitým krokem. Tyto systémy do svých vozidel vyvíjí a instalují automobilové společnosti

stále více a více. Jedná se například o automobilové společnosti Volkswagen, Volvo, Mercedes, Seat, Mazda, ZF Friedrichshafen či Bosch.

4.1.1 Volkswagen

Vozy od společnosti Volkswagen jsou vybaveny předepínači bezpečnostních pásů na předních sedadlech, které napnou bezpečnostní pás v případě potřeby a dojde tak k lepší ochraně posádky při nárazu. Dále jsou vozy vybaveny systémem, který uzamkne všechny dveře a dojde k uzavření bočních oken, i panoramatického okna. Pokud vozidlu hrozí zadní náraz, systém aktivuje varovná směrová světla. [16]

4.1.2 Mercedes

Pre-crash systémy společnosti Mercedes jsou nazývány jako PRE-SAFE. Pokud systém vyhodnotí čelní nebezpečí nárazu, nastaví přední sedadla do vzpřímené polohy a dojde k předepnutí bezpečnostních pásů. V případě bočního nárazu jsou systémem přední sedadla posunuta do středu vozidla, čím dojde k oddálení posádky od dveří a B sloupku a posádka je více ochráněna. Dále jsou vozy vybaveny zvukem, který upozorní posádku a snižuje tím poškození sluchového ústrojí v případě nehody. V případě nárazu zezadu je posádka upozorněna s využitím výstražných světel a vozidlo začne následně brzdit. [40] [41]

4.1.3 Volvo

Společnost Volvo se u Pre-crash systémů zaměřuje především na zabezpečení polohy cestujících. Dojde tak k napnutí bezpečnostních pásů. Dále jsou vozidla vybavena systémem ochrany proti hyperflexi páteře¹ druhé generace (WHIPS – Whiplash Protection System). Tento systém chrání krční páteř před poraněním. V případě nárazu systém naklopí přední sedadla dozadu a tím dojde ke změně polohy řidiče a společně se speciálně vyvinutou opěrkou hlavy, tak dochází k lepší ochraně především v oblasti krční páteře. Systém musí být využíván vždy společně s bezpečnostními pásy. [45]

¹ Hyperflexe páteře – nadměrné ohýbání páteře

4.1.4 Seat

I společnost Seat již do svých vozidel instaluje Pre-crash systémy. Ty to v případě nehody zavřou okna či předeprnou bezpečnostní pásy. V případě převrácení je používán systém Rollover Assist, který aktivuje e-Call či odemkne dveře. [44]

5 Testování pasivní bezpečnosti

Aby byla jízda v osobním automobilu bezpečná v případě, že dojde k dopravní nehodě, jsou kladeny vysoké bezpečnostní nároky na jednotlivé komponenty vozidla i celé vozidlo. Proto je nutné všechny části pro případ, že dojde k dopravní nehodě, testovat.

K určení míry bezpečnosti vozidla se nejčastěji využívají crash testy. Historie těchto testů sahá do 70. let minulého století, kdy byl v roce 1972 proveden první crash test na území České republiky. V této době nešlo o testy, které by byly předepsané centrálně, ale každý výrobce testoval své automobily podle sebe. Jednotlivé vozy, tak bylo těžké srovnávat, neboť nebyla při crash testech vždy stejná bariéra či rychlost nárazu vozidla. V dalších letech se testování vozidel dále vyvíjelo. V dnešní době jsou již zkoušky standardizované, stejné pro všechny výrobce. Je přesně určena rychlost nárazu i je přesně definováno provedení testu či velikost, hmotnost bariéry.

5.1 Aktuální legislativa

Proto, aby byl vysoký standard dodržen jsou zapotřebí, stejně tak jako ve všech jiných oblastech, předpisy, které zaručují bezpečnost všech vozidel. V oblasti pasivní bezpečnosti vozidel a bezpečnosti vozidel celkově se jedná o předpisy Evropské hospodářské komise Spojených národů (United Economic Commisiion for Europa). Tyto předpisy jsou známé pod zkratkou EHK/OSN předpisy. Přehled jednotlivých předpisů zabývajících se pasivní bezpečností jsou uvedeny v tabulce 1. Tyto předpisy jsou používány jako homologační. Bez jejich splnění, nesmí být vozidlo či komponent použít v běžném provozu.

Tabulka 1- Seznam EHK/OSN předpisů [25]

EHK/OSH číslo	Název předpisu
12	Náraz na sloupek řízení
13	Brzdění (M, N, O)
13H	Brzdění osobních automobilů
14	Kotevní místa bezpečnostních pásů
16	Bezpečnostní pásy pro dospělé cestující
17	Sedadla, jejich úchyty a hlavové opěrky

21	Vnitřní výčnělky vozidel
25	Opěrky hlavy
26	Vnější výčnělky osobních automobilů
29	Ochrana cestujících v kabině nákladního automobilu
32	Náraz na vozidlo zezadu
33	Náraz na vozidlo zepředu
36	Konstrukce vozidel k hromadné dopravě osob
42	Přední a zadní nárazníky
43	Bezpečnostní skla a zasklívací materiály
44	Zadržovací prostředky pro děti
46	Nepřímý výhled
52	Konstrukce malých autobusů
58	Zařízení proti podjetí zezadu
61	Vnější výčnělky před zadním panelem kabiny
66	Pevnost karosérie autobusů a autokarů
73	Zařízení pro boční ochranu
78	Brzdy vozidel kategorie L
80	Pevnost sedadel a jejich úchytů v autobusech
90	Náhradní brzdová obložení
93	Zařízení proti podjetí zepředu
94	Ochrana při vyoseném čelním nárazu
95	Ochrana při bočním nárazu
114	Náhradní systémy airbagů
127	Ochrana chodců při jejich střetu s vozidlem
129	Vyspělé dětské zádržné systémy
131	Systémy záchranného brždění
135	Boční náraz na sloup
137	Čelní náraz se zaměřením na zádržné systémy
139	Brzdové asistenční systémy
144	Systémy tísňového volání (AECS)
145	ISOFIX
152	Pokročilé systémy nouzového brždění

5.2 Předpis EHK/OSN č. 16

Předpis EHK/OSN č. 16 – Jednotná ustanovení pro schvalování

- I. Bezpečnostních pásů, zádržných systémů, dětských zádržných systémů a dětských zádržných systémů ISOFIX pro cestující v motorových vozidlech
- II. Vozidel vybavených bezpečnostními pásy, signalizací nezapnutí bezpečnostního pásu, zádržnými systémy, dětskými zádržnými systémy, dětskými zádržnými systémy ISOFIX a dětskými zádržnými systémy i-Size

Předpis stanovuje jednotlivé zkoušky bezpečnostních pásů:

- Korozní zkouška – Zkouška kompletního bezpečnostního pásu ve zkušební komoře nepřetržitě po dobu 50 hodin. Do komory je aplikován solný roztok.
- Zkouška mikroprokluzu – 1000 cyklů s frekvencí 0,5 cyklu za sekundu s celkovou amplitudou 300 ± 20 mm na každou polovinu periody
- Zkouška stabilizace pro zkoušku meze pevnosti
 - Teplotní stabilizace a zvlhčení
 - Vystavení účinkům světla
 - Stabilizace při nízké teplotě – v mrazicí komoře s teplotou vzduchu -30 ± 5 °C po dobu 30 minut
 - Stabilizace za teplo – ve vyhřívací komoře v prostředí s teplotou 60 ± 5 °C a relativní vlhkostí 65 ± 5 %
 - Vystavení účinkům vody
 - Stabilizace odíráním
- Statická zkouška – zkouška meze pevnosti – provádí se se stabilizovaným vzorkem upnutým do čelistí s minimální délkou vzorku 200 ± 40 mm, rychlost posunu čelistí 100 mm/min
- Doplnkové zkoušky bezpečnostních pásů s navíječi
 - Životnost mechanismu navíječe
 - Blokování navíječů s nouzovým blokováním
 - Odolnost proti prachu
 - Navíjecí síly
- Dynamická zkouška soupravy pásu nebo zádržného systému – testování na zkušebním vozíku, či případná alternativa testování při čelním nárazu s rychlostí 50 km/hod
- Zkouška otevírání spony

5.3 Legislativa autonomních vozidel

Největším problémem u autonomních vozidel je fakt, že pro tyto vozy není vhodná legislativa, která by daným vozům dávala jasné podmínky pro oprávnění využívání autonomních vozidel v běžném provozu. Celosvětově je velkým problémem fakt, že odpovědnost za vozidlo má řidič, což v případě autonomního vozidla není možné, neboť vyšší stupně autonomizace jsou, že vozidlo je plně řízeno samo, pouze pomocí systémů a řidič nemusí být připraven rychle převzít řízení.

Ministerstvo dopravy České republiky tak zřídilo Etickou komisi pro posuzování otázek spojených s provozem automatizovaných a autonomních vozidel v podmínkách ČR. Tato komise se skládá z 13 členů z různých odvětví. Za úkol se má zabývat integrací člověka a stroje, problematikou spojenou s umělou inteligencí, bezpečností sdílených dat a dalšími.

5.4 Vhodnost testů pro autonomní vozidla

Testy, které se provádějí v dnešní době zajišťují odolnost karoserie, správnost fungování ochranných prostředků, systémů i minimalizaci následků v případě nehody. S velkou pravděpodobností tak tyto testy budou nadále i s příchodem autonomních vozidel vyšších kategorií zachovány a dále se podle těchto předpisů budou vozidla testovat.

Velmi pravděpodobné ale bude, že tyto testy budou muset být ještě doplněny dalšími testy. Při testování bude muset být zohledněna situace, kdy posádka nebude mít standardní pozici sezení, která je v současné době jasně definovaná – obrázek 19, ale bude se muset vzít v potaz také poloha tzv. OOP (out of position), neboli upravená pozice pasažérů ve vozidle, která není definovaná. I velmi malá změna v sezení totiž může mít velký vliv na bezpečnost a správnost fungování systémů ve vozidle v případě nehody. Systémy, které jsou konstruovány nyní, tak mohou být v těchto případech i kontra produktivní.



Obrázek 19 - Standardní definovaná poloha řidiče ve vozidle [24]

V dnešní době jsou všechny testy konstruovány s tím, že je jasně daná pozice řidiče a případně spolujezdce, jak ve vozidle sedí. To se s přechodem na autonomní vozidla vyšších kategorií (stupeň autonomizace 4 a 5) pravděpodobně změní. Řidič se již nebude muset za jízdy věnovat řízení, držet volant a bude tak na svém sedadle například nakloněn k palubnímu počítači, který bude za jízdy ovládat. Tím se jeho poloha těla vychýlí do středu vozidla, a to se bude muset i u testování vzít na vědomí.

Například při nárazu zezadu, kdy pasažér bude hlavou nakloněn do středu vozidla a vychýlen se sedadla, může dojít k situaci, kdy hlavová opěrka, prvkem pasivní bezpečnosti, může celou situaci ještě zhoršit. Z tohoto důvodu jsou již i v dnešní době prováděny testy, kdy pasažér sedí v nestandardní poloze.

Dále také budou muset přibýt testy jednotlivých systémů ve vozidel, aby byl dodržen standard, pohodlnost a hlavně bezpečnost. Legislativa autonomních vozidel je již v dnešní době ve světě velmi diskutované téma. Především chybějící zákony, které by regulovaly používání samořízených automobilů brzdí jejich další vývoj. Velký otazník také visí na tzv. přechodovém období, kdy by se měly v běžném provozu potkávat autonomní vozidla vyššího stupně automatizace s vozidly manuálními (nižšími stupni automatizace). Zde může nastat problém

s odlišností chování řidičů a automatu, který řídí vozidlo pomocí systémů. To by však mohlo být vyřešeno tím, že některé komunikace by byly vyhrazeny pouze pro autonomní vozidla s vyšším stupněm autonomizace (úroveň autonomizace 4, 5).

6 Biomechanická kritéria poranění

Biomechanická kritéria poranění udávají hodnoty, které je schopen člověk přežít s určitou pravděpodobností. Tyto hodnoty se využívají hlavně při testování nových vozidel a při testování jednotlivých bezpečnostních komponentů. Veškeré hodnoty vznikly na základě experimentů, měření pokusů či na základě dopravních nehod.

Závažnost jednotlivých poranění se určuje podle stupnice. Nejvíce využívanou je stupnice **Abbreviated Injury Scale – AIS**. Jedná se o mezinárodní stupnici se škálou [30]:

- 0- Bez zranění
- 1- Malé zranění – bolest hlavy, povrchová poranění, natažení v oblasti páteře, zlomenina prstu
- 2- Střední zranění – bezvědomí do 1 hod, poranění jater či ledvin, malá zlomenina v oblasti páteře bez vlivu na kanál, jednotlivá zlomenina končetin
- 3- Závažné zranění – není životu nebezpečné – bezvědomí 1-6 hod, vpáčená zlomenina lebky, zlomenina více než 4 žeber, zlomenina 2-3 žeber + pneumothorax² či hemothorax³, poranění sleziny, velká poranění hrudníku, prasklý disk v oblasti páteře s poškozením nervu, vykloubená kolena, zlomenina stehenní kosti
- 4- Velmi vážné zranění – životu nebezpečné, přežití pravděpodobné – bezvědomí 6-24 hod, kolaps hrudníku, velké zranění jater, částečné poškození míchy, amputace nad kolenem, rozdrčení pánve
- 5- Kritické zranění – přežití nejisté – bezvědomí více nežli 24 hod, velký hematoma⁴, roztržení aorty, roztržení ledvin či jater, quadruplegie⁵, otevřená rozdrčená pánev
- 6- Maximální – nelze přežít, smrtelné úrazy
- 9- neznámé – není dostatek informací pro podrobnější popis

6.1 Poranění hlavy

Poranění hlavy je jedním z nejčastějších poranění, které se stávají při dopravních nehodách. Jedná se také o poranění, které je nejvíce odpovědné za smrt posádky vozidla. Při poranění

² Pneumothorax – nahromadění vzduchu v pleurální dutině (uzavřený prostor obklopující plíce) s částečným nebo úplným kolapsem plíce

³ Hemothorax – přítomnost krve v pleurální dutině

⁴ Hematom – modřina, krevní výron – nahromadění krve ve tkáni v prostoru mimo cévy

⁵ Quadruplegie – úplné ochrnutí všech čtyř končetin, těžké poranění páteře, přerušení míchy

hlavy může dojít k lehčím zraněním jako jsou odřeninny kůže, či může dojít k závažnějším zraněním jako jsou fraktury lebky či otřesy mozku.

Kritéria a mezní hodnoty pro poranění hlavy:

- **HIC kritérium (Head Injury Criterion)** – Maximální hodnota by neměla překročit 1000. Tato hodnota je považována za limitní. Doba trvání je stanovena na 36 ms v případě, že nedojde k tvrdému kontaktu hlavy. Pro případ, že by došlo k tvrdému kontaktu uvažujeme dobu trvání 15 ms. [30]

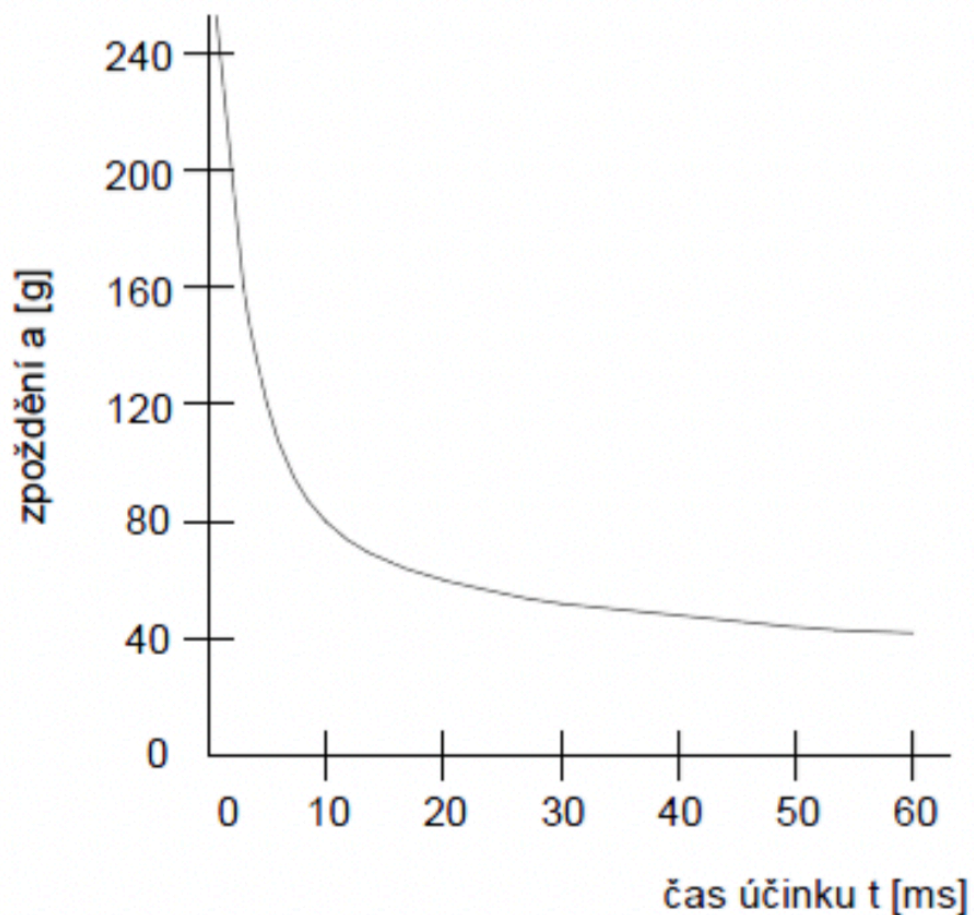
$$HIC = \left\{ (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2,5} \right\}_{max}$$

- t_1, t_2 [s] – mezní hodnoty časového intervalu
 - $a(t)$ [g] – výsledné zrychlení v čase
- **Index zatížení SI (Severity Index)** – navrhnut v závislosti na WSU – křivku (Wayne State University) – obrázek 20, která znázorňuje závislost zpoždění hlavy a [g] na čase působení t [ms]. Z toho byla hodnota přežití stanovena na 1000. [1]

$$SI = \int_0^t a_r^{2,5} dt$$

- t [s] – konec nárazu
- a_r [g] – zpoždění ve směrech souřadných os x, y, z

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



Obrázek 20 - WSU – křivka [31]

- **Gambit kritérium** – Všeobecný model pro hranici poranění mozku (The generalized model for brain injury threshold) kombinuje účinky translační a rotační kinematiky. Pomocí tohoto kritéria můžeme určit relativní poškození mozku. [32]

$$G(t) = \left[\left(\frac{a(t)}{a_c} \right)^n + \left(\frac{\alpha(t)}{a_c} \right)^m \right]^{\frac{1}{s}}$$

- $a(t)$ – okamžité hodnoty translačního zrychlení
- $\alpha(t)$ – okamžité hodnoty rotačního zrychlení
- n, m, s - konstanty

Jednotlivé hodnoty udávají mezní hodnoty, které je schopna posádka vozidla v případě nehody s určitou pravděpodobností přežít. Kritérium HIC udává, že člověk při nehodě s 95 % pravděpodobností přežije. Zranění se mohou vyskytnout, ale neměli by být smrtelná.

6.2 Poranění páteře

U nehod dochází často také k poranění páteře, a to hlavně poranění páteře v oblasti krku. Nejvíce je posádka při dopravní nehodě ohrožena při nárazu zepředu, kdy hlava prudce vystřelí setrvačnou silou dopředu a může tak dojít snadno k poškození krční páteře – hlava totiž není jako zbytek těla zadržena pomocí bezpečnostních pásů.

Pro poranění v oblasti krční páteře jsou stanoveny maximální hodnoty momentového ohybu [30]:

Čelní ohyb – 50,2 Nm

Zaklonění – 20,3 Nm

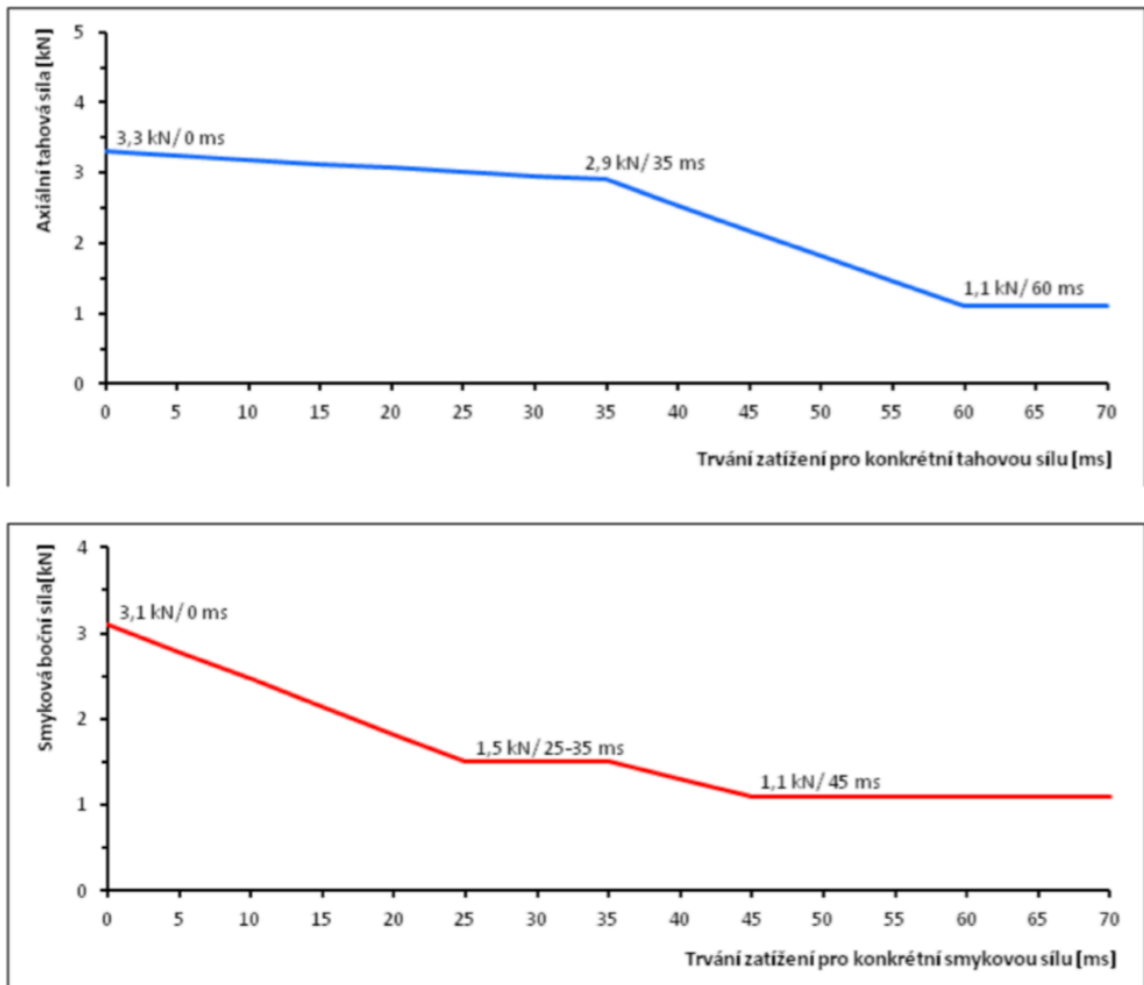
Boční ohyb – 47,5 Nm

Kritéria a mezní hodnoty pro poranění páteře:

- **NIC kritérium (Neck Injury Criterion)** – kritérium nesmí překročit hodnoty podle grafů na obrázku 21. Kritérium NIC se používá při nárazových zkouškách EHK č. 94 (Ochrana při vyoseném čelním nárazu) a č. 95 (Ochrana při bočním nárazu). [34]

$$NIC = a_{rel} \times 0,2 + v_{rel}^2$$

- a_{rel} – relativní horizontální zrychlení mezi dnem a vrcholem krční páteře
- v_{rel} – relativní horizontální rychlost mezi zdem a vrcholem krční páteře
- 0,2 – konstanta – délka hrdla v metrech



Obrázek 21 - Axiální tahové síly a smykové síly působící na krk v závislosti na čase [33]

6.3 Poranění hrudníku a břicha

K poranění hrudníku dochází u dopravních nehod poměrně často. Často jsou také poranění hrudníku a břicha jako jedny z velmi vážných, neboť v hrudním koši a břišní dutině se nachází důležité orgány, jejichž poškození může vést k ohrožení na životě či až k samotnému úmrtí.

Kritéria pro poranění hrudníku:

- **Kritérium 3MS (Kritérium tři milisekund)** – Určuje, že na lidské tělo nesmí po dobu větší jak 3 ms působit zrychlení, které by bylo větší než 60g. Kritérium je možné využít pro mnoho orgánů a tkání. Vychází z měření pouze jedné veličiny – zrychlení, tudíž se jedná o nejjednodušší kritérium. Hodnota kritéria 3MS pro hlavu je rovna 80g. [30]

- **TTI kritérium (Thoracic Trauma Index)** – Kritérium pro boční náraz. Maximální přípustná hodnota je 85g pro čtyřdveřové osobní automobily. Pro dvoudveřové je hodnota stanovena na 90g. [30]

$$TTI = 1,4 \times AGE + 0,5 \times (RIB_Y + T12_Y) \times \frac{M}{M_{ST}}$$

- AGE – věk [rok]
 - RIB_Y – maximální zrychlení mezi 4. a 8. žebrem na nárazové straně [g]
 - $T12_Y$ – maximální zrychlení na 12. hrudním obratli [g]
 - M – hmotnost pasažéra [kg]
 - M_{ST} – konstanta – standardní hmotnost – 75 kg
- **RDC kritérium (Rib Deflection Criterion)** – Kritérium, které posuzuje stlačení žeber při bočních nárazech. Maximální hodnota stlačení je stanovena na 42 mm.
 - **V*C kritérium (Viscius Criterion)** – Kritérium V*C neboli kritérium měkkých tkání se využívá pro stanovení limitních hodnot u čelních i bočních nárazů. Využívá se při nárazech při rychlostech nad 108 km/h. Maximální přípustná hodnota deformace hrudníku je stanovena na 1 m/s. [30]

$$V * C = \frac{d[D(t)]}{dt} \times \frac{D(t)}{D}$$

- D(t) – deformace hrudníku v čase
 - D – deformační konstanta
- **ThPC kritérium (Thorax Performance Criterion)** – Kritérium pro boční náraz je složeno z kritéria deformace žeber RDC (rib Deflection Crietrion) a kritéria V*C. Hodnota deformace žeber musí být menší než 42 mm.

- **CTI kritérium (Combined Thoracic Index)** – Kritérium hrudníku pro čelní náraz.

$$CTI = \left(\frac{A_{max}}{A_{int}} \right) + \left(\frac{D_{max}}{D_{int}} \right)$$

- A_{max} - 3 MS maximální výchylky ze zrychlení míchy [g]
 - A_{int} – kritická 3 MS hodnota [g]
 - D_{max} – průhyb hrudníku [mm]
 - D_{int} – kritická hodnota průhybu hrudníku [mm]
- **ThCC kritérium (Thoracic Compression Criterion)** – Kritérium používané pro čelní nárazy. Posuzuje se stlačení hrudníku mezi hrudní kostí a páteří. Okamžité hodnoty stlačení nesmí přesáhnout hodnotu 50 mm.
- **Měření maximálních sil** – Kritérium stanovuje maximální hodnoty sil, které mohou na hrudník v případě nárazu působit. Maximální hodnota síly, která může působit na hrudní kost je 3,29 kN. Na rameno a hrud' je hodnota stanovena na 8,0 kN. [30]

Kritéria pro poranění břicha:

- **APF kritérium (Abdomial Peak Force)** – Kritérium stanovuje maximální hodnotu působících sil na 2,5 kN na nárazové straně vozidla. Jedná se o součet tří sil, které jsou naměřeny 39 mm pod povrchem. [33]

6.4 Poranění končetin a pánve

Pánev je tvořena třemi kostmi – 2 pánevní kosti a kostí stydkou a stydkou sponou. Na ní jsou připevnění kloubem dolní končetiny. Při poranění pánve dochází k celkové ztrátě stability těla. Poranění pánve může být i životu nebezpečné. Speciální ohrožení hrozí v případě těhotných žen, kdy může jít ohrožena samotná žena i dítě.

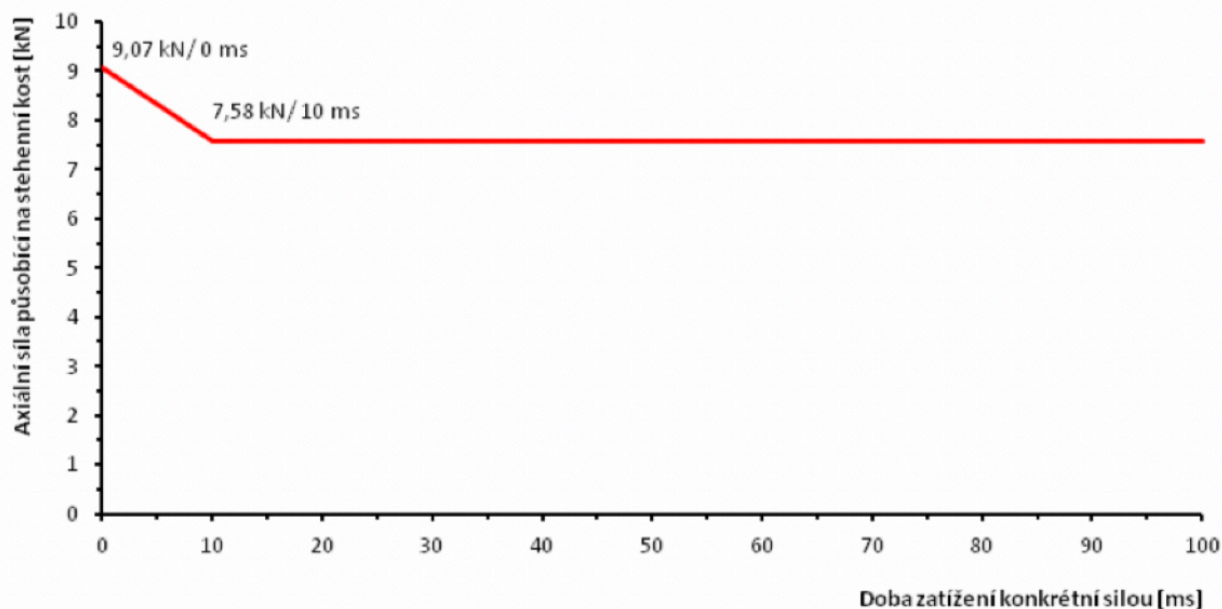
Při poranění končetin většinou nenastává stav ohrožující pasažéra na životě. Končetiny se skládají z dlouhých kostí spojenými klouby. Nejčastěji tak dochází ke zlomeninám jednotlivých kostí, či vykloubení kloubů. U dolních končetin jsou nejčastěji ohrožena kolena a u horních končetin se nejčastěji jedná o ramenní kloub.

Kritérium pro poranění pánve

- **PSPF kritérium (Pubic Symphysis Peak Force)** – Kritérium, které stanovuje maximální sílu, která může působit na pánevní kost. Limitní hodnota PSPF kritéria je 6 kN. [30]

Kritérium pro poranění dolních končetin

- **FFC kritérium (Femur Force Criterion)** – Kritérium určující maximální tlakovou sílu, která může působit v čase na stehenní kost. Využívá se při čelních nárazech. Závislost síly, která působí na stehenní kost je znázorněna v grafu – obrázek 22. Síla působící na stehenní kost nesmí přesáhnout limitní hodnoty. [33]



Obrázek 22 - Velikost axiální síly působící na stehenní kost v závislosti na čase [33]

- **TI kritérium (Tibia index)** – Kritérium se vztahuje na holenní kost. Jedná se o hodnocení velikosti tlakové síly, která působí v podélném osovém směru a velikosti ohybových momentů, které působí během nárazu na holenní kost. Výsledná hodnota nesmí přesáhnout $TI=1,3$. [33]

$$TI = \left| \frac{M_R}{(M_C)_R} \right| + \left| \frac{F_Z}{(F_C)_Z} \right|$$

$$M_R = \sqrt{(M_x)^2 + (M_y)^2}$$

- M_x – ohybový moment vztažený k ose x [Nm]
 - M_y – ohybový moment vztažený k ose y [Nm]
 - $(M_C)_R$ – kritický ohybový moment [Nm]
 - F_z – tlakové napětí působící v ose z (podélná osa holenní kosti) [kN]
 - $(F_C)_z$ – kritická tlaková síla působící v ose z [kN]
- **TCFC kritérium (Tibia Compression Froce Criterion)** – Kritérium hodnotí tlaková sílu, která působí na holenní kost. Tato síla svým působením způsobuje ohybový moment, který nesmí přesáhnout hodnotu 8 kN.

6.5 Poranění kloubů, svalů a šlach

Při poranění kloubů se nejčastěji jedná o poranění vaziva či kloubního pouzdra. Často jsou doprovázeny krvácením. Na poraněném místě se nejčastěji vytvoří otok, výron či dojde k poruše funkce kloubu.

Svaly spojují kosti do uceleného celku. Svaly zajišťují každý pohyb a jsou spojeny ke kostem pomocí šlach. Poškození svalů je způsobeno náhlým prudkým stahem svalu či úderem do svalu.

6.6 Biomechanická kritéria pro autonomní vozidla

Biomechanická kritéria, která jsou v současné době využívány k popisu zranění, které mohou u člověka nastat, popisují zranění obecně. Proto se předpokládá, že budou i nadále využívány s příchodem autonomních vozidel vyšších kategorií (stupně automatizace 4, 5). Nepředpokládají se nějaké značné změny v nich.

S velkou pravděpodobností s příchodem samořídících vozidel přibudou nové konfigurace dopravních nehod, které se v dnešní době, v době manuálního ovládání vozidla řidičem, který má za vozidlo zodpovědnost, nestávají.

Proto jsou již i v dnešní době hodně využívány počítačové simulace, které se snaží předvídat případné dopravní nehody, které by s příchodem samořídících vozidel mohli nastávat. Pokud by se i tak ale později ukázalo nějaké vyšší procento nových dopravních nehod, bylo by nutné jim stanovit odpovídající poranění, které způsobují. To by zapříčinilo nutnost zavést další testy. To však nadále zůstává nerozluštěnou otázkou, kterou odpoví jen čas.

7 Praktická část

Praktická část byla zaměřena na vyhodnocení zkoušek úhybného manévru doprava a doleva a následné krizové brzdění autonomního vozidla a následného zhodnocení aktuálně používaných prvků pasivní bezpečnosti v autonomních vozidlech vyšší úrovně automatizace (úroveň automatizace 4 a 5).

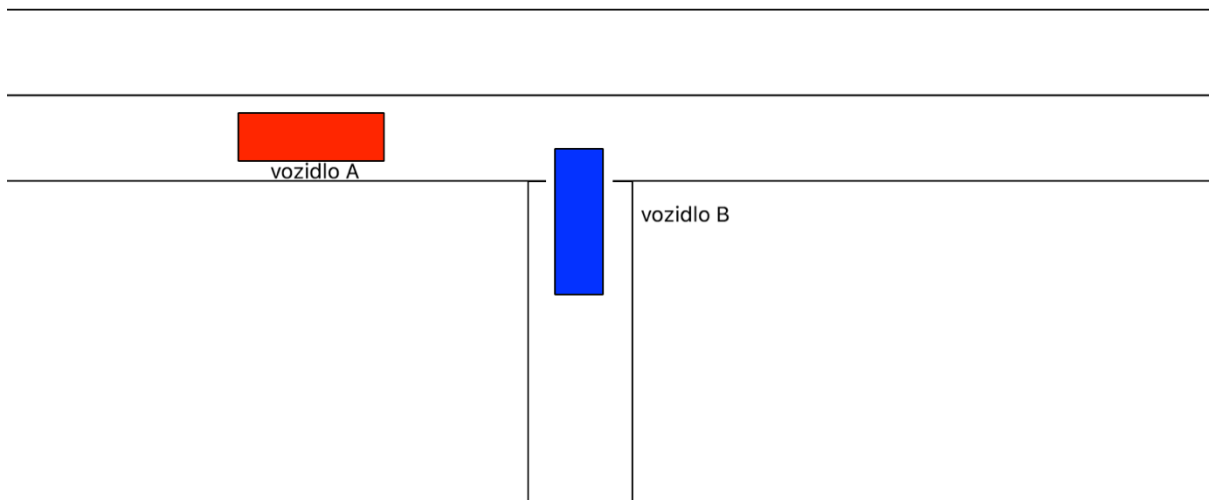
7.1 Návrh experimentu

Protože bezpečnost v dopravním průmyslu je velmi důležitá a je na ni kladen velký důraz, je nutnost ověřit, zdali stávající prvky pasivní bezpečnosti budou dostatečné i v případě, že by se vozidlo chovalo jako autonomní a posádka by nesledovala provoz a zabývala se jinými činnostmi během jízdy samotné.

Pokud by systém vyhodnotil v blízkosti před sebou objekt (vozidlo v koloně, zaparkované vozidlo či jinou překážku v jízdním pruhu nebo dojde k vjetí jiného vozidla do jízdní dráhy), tím dojde k rychlé, pro posádku vozidla nečekané reakci systému, který se bude snažit celou situaci zachránit a předejít tím dopravní nehodě.

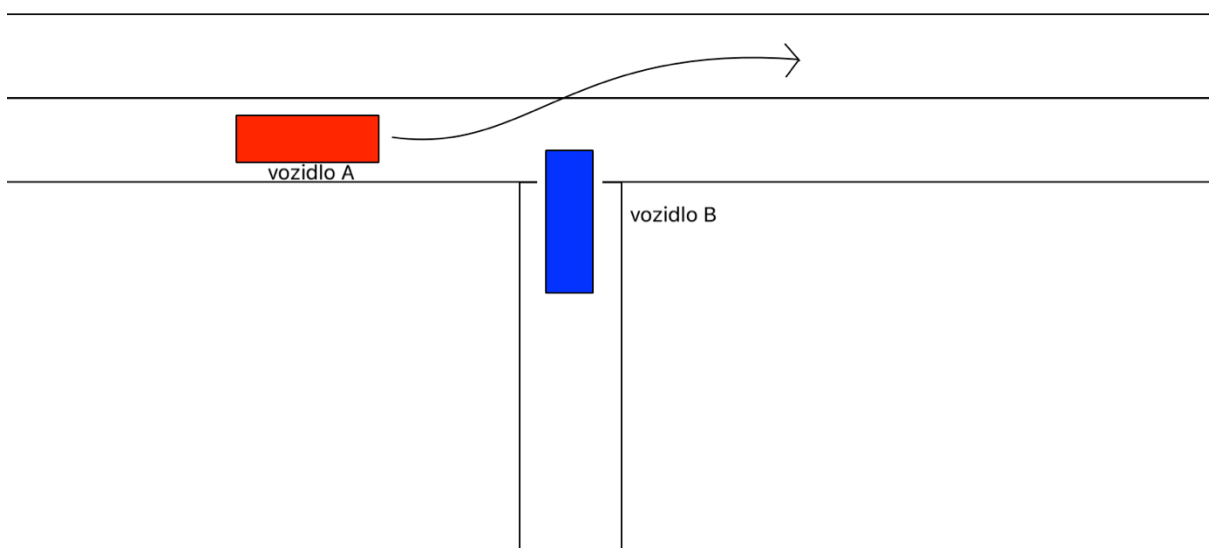
Pro vyhodnocení prvků pasivní bezpečnosti v případě, kdy by i přes veškerou snahu systému došlo k dopravní nehodě ve chvíli, kdy by posádka nesledovala provoz, byl navrhnut následující experiment.

Vozidlo A (červené) pojede konstantní rychlostí po rovném úseku komunikace bez směrových oblouků. Náhle systém vyhodnotí objekt před sebou (např. vozidlo B (modré) vjede vozidlu A (červené) do cesty z pravé nebo z levé strany– obrázek 23).



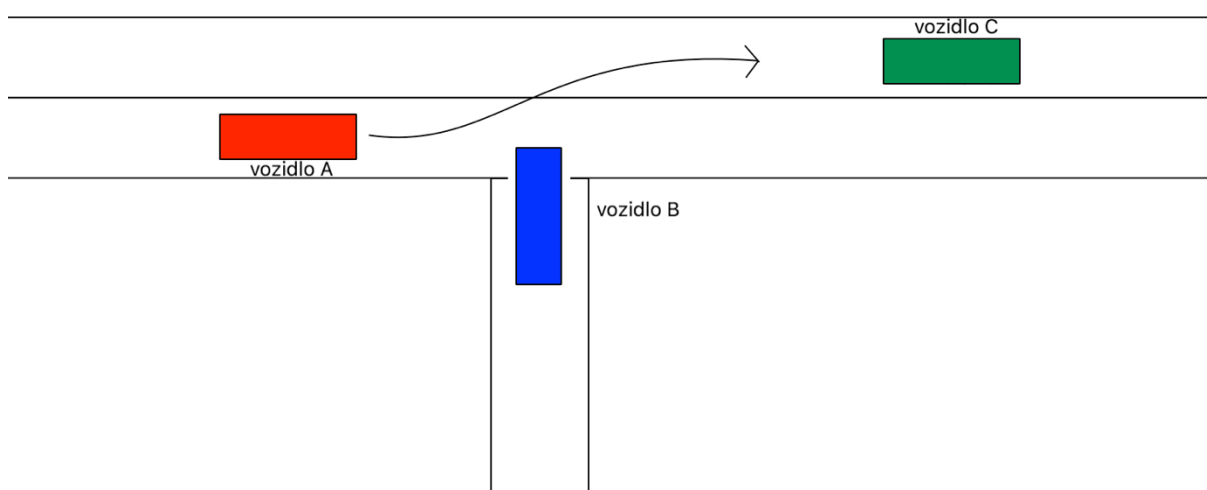
Obrázek 23 - Schéma situace – vozidla A (červené) jede po rovné komunikaci, kdy mu vjede do cesty vozidla B (modré) z pravé strany

Jeho reakcí (vozidlo A – červené) dojde k úhybu – pokud vozidlo B vjede z pravé strany ve směru jízdy, systémy vozidla A (červené) se budou snažit provést úhybný manévr vlevo – obrázek 24.



Obrázek 24 - Schéma situace – reakce vozidla A (červené) na vozidlo B (modré) - provedení úhybného manévru doleva

Může nastat situace kdy v protisměru se vyskytne náhle další vozidlo C (zelené). Vozidlo A (červené) po úhybném manévru bude muset tuto situaci řešit rychlým nouzovým brzděním – obrázek 25. Ne vždy může být brzdný účinek dostatečný a může tak dojít ke střetu vozidla A (červené) s vozidlem C (zelené). V tuto chvíli budou potřebné prvky pasivní bezpečnosti (především prvky zádržného systému – bezpečnostní pásy a airbagy).



Obrázek 25 - Schéma situace - po úhybném manévru se proti vozidlu A (červené) objeví vozidlo C (zelené) - dochází k nouzovému brzdění a snaze vyhnout se střetu

Úhybným manévrem dojde ke směně polohy pasažérů ve vozidle. Pokud by došlo ke střetu vozidla A (červené) s vozidlem C (zelené), neleze již předpokládat polohu těla, která je jasně definovaná a používá se při současných legislativních testech. Dojde tak k situaci, kdy pasažér je tzv. OOP – out of position neboli pasažér je mimo polohu.

Otázkou zůstává, zda budou stávající bezpečnostní pásy vhodné i k použití v autonomních vozidlech, kde bude velmi pravděpodobně nutné počítat s OOP (out of position – mimo polohu), či bude nutné je s příchodem autonomních vozidel vyšších úrovní automatizace (úroveň automatizace 4 a 5) nějak změnit, aby byl stále dodržen vysoký standard bezpečnosti.

7.2 Realizovatelnost experimentu

Experiment byl realizován jako simulace úhybného manévru osobního automobilu, který byl upraven pomocí pedálového a řídicího robota na vozidlo, které se chovalo jako autonomní.

Simulace byla doplněna o nouzové brzdění do zastavení. Z tohoto pokusu byla ověřena vhodnost tříbodových bezpečnostních pásů v autonomních vozidlech vyššího stupně automatizace.

7.3 Popis vybavení

Pro zkoušku byl využit osobní automobil tovární značky KIA, obchodní označení NIRO – obrázek 26. Automobil byl vybaven automatickou převodovkou s maximální výkonem 77,2 kW, 5700 otáček/min.



Obrázek 26 - Testovací vozidlo KIA NIRO

Automobil, abychom ho mohli považovat za autonomní vůz, byl vybaven namísto řidiče pedálovým robotem, který ovládá rychlost vozidla dle nastavení a volantovým robotem, který ovládá směr vozidla. Vozidlo bylo také vybaveno stabilizátorem, pro přesné určení polohy vozidla. V kufru vozidla byl počítač – obrázek 27, doplněn baterií v případě poklesu napětí. Na střeše vozidla se nacházelo rádio se dvěma senzory – obrázek 28.



Obrázek 27 - Počítač a záložní zdroj v kufru zkušebního vozidla



Obrázek 28 - Rádio a senzory na střeše zkušebního vozidla

Pro prováděnou jízdní zkoušku byl použit robot od společnosti AB Dynamics. Konkrétně se jedná o model robotu s označením SR15 Orbit – obrázek 29. Volantový robot má za úkol ovládat volant, dle předem nastaveného schématu, které je nastaveno technikem v počítači. Zastupuje tak funkci řidiče ve vozidle ve směrovém ovládní vozidla. Automobil vybaven volantovým robotem tak může představovat autonomní vozidlo. Avšak je nutno stále být na místě jako řidič a v případě potřeby, selhání, špatného nastavení je nutno zasáhnout do řízení. Systém ovládní volantu je po zásahu technika automaticky zastaven, technik musí přetlačit silou volantu a systém je vypnut a musí převzít kontrolu nad vozidlem.

Robot společnosti AB Dynamics SR15 Orbit má lehký motor s lepší ergonomií, který lze naistalovat za volant nebo na okraj volantu. Maximální točivý moment u tohoto robota je 20 Nm při 100°/s, maximální rychlost je 2500°/s až do 5 Nm. Samotná hmotnost motoru robota SR15 Orbit je 9 kg. Robot je také vybaven dutinou, která zajišťuje využití airbagů při používání robota SR15 Orbit. [26]



Obrázek 29 - Řídící robot AB Dynamics SR15 Orbit

Vůz byl vybaven pedálovým robotem stejně jako volantový robot od společnosti AB Dynamics s označením CBAR 600 – obrázek 30. Pedálový robot má za úkol automaticky ovládat rychlost vozidla dle technikem nastaveného schématu v počítači. Vozidlo tak samo dokáže zrychlovat na požadovanou rychlost a v případě potřeby brzdít. Pokud by došlo k chybě nebo poruše, musí být na místě řidiče přítomný člověk, který dokáže převzít kontrolu nad rychlostí vozidla a v případě potřeby tak může do ovládání vstoupit a začít brzdít. Nikdy nesmí být pedálový robot bez kontroly.

Pedálový robot CBAR 600 je vhodný pro AEB (Autonomní systémy nouzového brždění) nebo další ADAS (pokročilé asistenční systémy řidiče) testování. Jeho maximální brzdná síla je 750 N. [37]



Obrázek 30 - Pedálový robot AB Dynamics CBAR 600

Dále bylo vozidlo vybaveno IMU (inertial measuring unit) - stabilizovanou plošinou – obrázek 31. Jedná se o stabilizovanou plošinu od firmy OXTS typu RT 3003v2. Jedná se o inerciální navigační jednotku, která má za úkol zjistit polohu vozidla ve složkách X a Y, rychlost, polohu vozidla a další.



Obrázek 31 - IMU - stabilizovaná plošina OXTS 3003v2

Naměřené hodnoty jsou naměřeny vůči referenčnímu bodu. Tento bod byl nastaven virtuálně pomocí softwaru v prostoru dráhy. Navíc byla v blízkosti dráhy umístěna základová stanice – obrázek 32. Ta má za úkol upřesnit pozici vozidla v prostoru v době měření.



Obrázek 32 - Základová stanice

Dále byly ve vozidle umístěny dvě kamery GoPro, které po celou dobu snímali pohyby hlavy pasažéra na předním sedadle spolujezdce. Jedna kamera byla umístěna na čelním skle, druhá z levé strany na okénku řidiče.

7.4 Provedení testovacích jízd

Za úkol bylo uvést dané vozidlo do požadované rychlosti a provést úhybný manévr – jednoduchá změna jízdního pruhu a následné nouzové brždění autonomního vozidla. Dráha vozidla byla nastavena pomocí počítače. Směr jízdy byl ovládán pomocí řídicího robota. Rychlost měla být ovládána pedálovým robotem, ale vlivem nefunkčnosti techniky bylo nutno vozidla na požadovanou rychlost uvést manuálně a dále stanovenou rychlost udržovat pomocí tempomatu. Následné nouzové brždění bylo provedeno již manuálně zkušebním technikem, který se nacházel na místě řidičem a byl po celou dobu úhybného manévru v pohotovosti. Nouzové brždění tedy bylo značně ovlivněno mírou stlačení brzdového pedálu či řidičovou prodlevou reakce.

Testovací pasažér byl umístěn na sedadle spolujezdce. Bylo provedeno 6 úhybných manévrů změny jízdního pruhu na levou stranu s následným brzděním (měření run 1 – run 6) a následně bylo provedeno 6 úhybných manévrů změny jízdního pruhu s následných brzdění na pravou stranu (měření run 7 – run 12).

Vozidlo bylo vždy uvedeno na rychlost 70 km/h, která byla udržována pomocí tempomatu. Řídící robot byl nastaven na 60° vychýlení volantu s frekvencí 0,6 Hz.

7.5 Vyhodnocení pohybů hlavy při úhybném manévru

Při úhybném manévru byla hlava a krční páteř namáhána směrem doprava či doleva. Krční páteř je tímto velmi namáhána, neboť musí unést prudké pohyby těžké hlavy.

Tyto posuny byly zaznamenány pomocí GoPro kamery, která byla umístěna na čelním skle přímo před očima probanda. Tento úkon byl prováděn pomocí řídicího robota, pro který byl v počítači nastaven předem plán, jak pojede – jednoduchý úhybný manévr vlevo a následně úhybný manévr vpravo.

Výsledky jsou měřeny z jednotlivých snímků videa. Hodnoty byly odečítány pomocí stupnice, která byla umístěna za hlavou probanda mezi hlavovou opěrkou a sedadlem. Počáteční pozice hlavy nebyla vždy stejná, neboť proband měl u některých měření hlavu opřenou o hlavovou opěrkou a u některých měření byla jeho hlava v prostoru. Hodnoty pro pohyby hlavy při úhybném manévru vlevo jsou uvedeny v tabulce 2 a hodnoty pohybu hlavy po úhybném manévru vpravo jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 2 - Hodnoty pohybů hlavy při úhybném manévru doleva

Měření RUN	Počátek pravá	Max pohyb vpravo	Změna při pohybu vpravo	Počátek levá	Max pohyb vlevo	Změna při pohybu vlevo	Počáteční pozice hlavy
1	15,5	7,6	7,9	33,9	39,4	5,5	Opřená o opěrku
2	17,3	8,4	8,9	34,3	39,9	5,6	Opřená o opěrku
3	13,7	-4,2	17,9	31,8	55,5	23,7	V prostoru
4	13,1	0,7	12,4	31,9	44,9	13,0	V prostoru
5	14,8	-6,9	21,7	33,4	57,8	24,4	V prostoru
6	13,9	-3,5	17,4	32,6	54,7	22,1	V prostoru

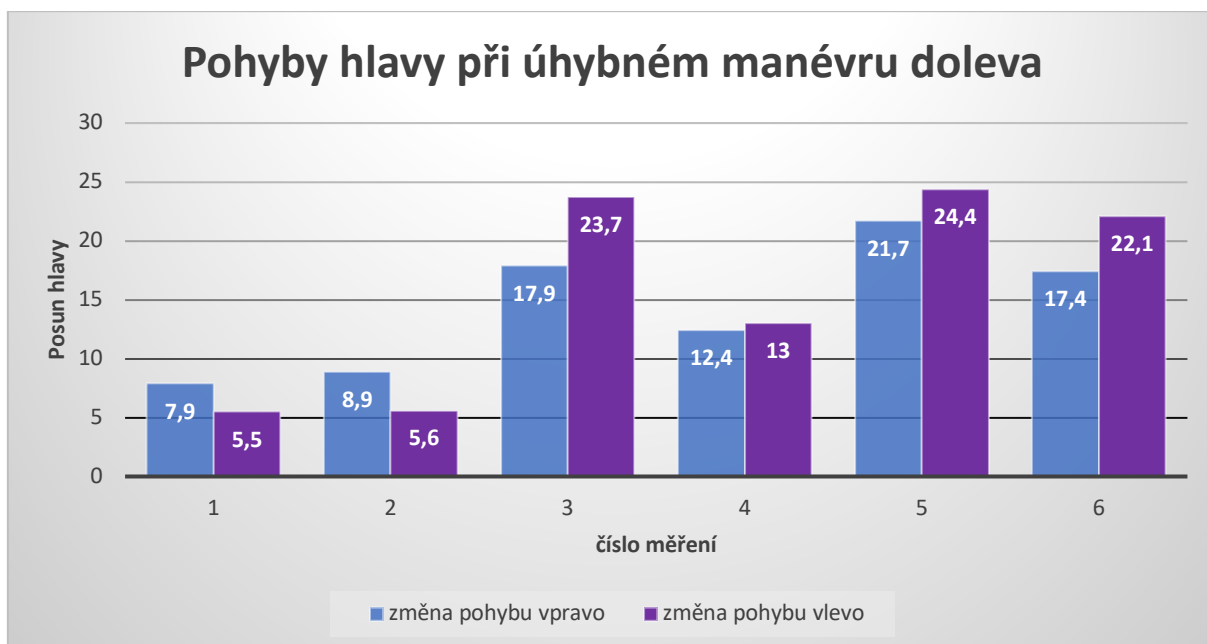
Tabulka 3 - Hodnoty pohybů hlavy při úhybném manévru doprava

Měření RUN	Počátek levá	Max pohyb vlevo	Změna při pohybu vlevo	Počátek pravá	Max pohyb vpravo	Změna při pohybu vpravo	Počáteční pozice hlavy
7	33,8	49,3	15,5	16,9	3,7	13,2	Opřená o opěrku
8	33,1	63,3	30,2	14,2	-15,6	29,8	V prostoru
9	32,1	65,7	33,6	9,6	-14,4	24,0	V prostoru
10	32,7	58,1	25,4	15,5	-13,1	28,6	Opřená o opěrku
11	30,7	69,6	38,9	11,1	-17,7	28,8	V prostoru
12	31,2	62,3	31,1	13,9	-12,3	26,2	V prostoru

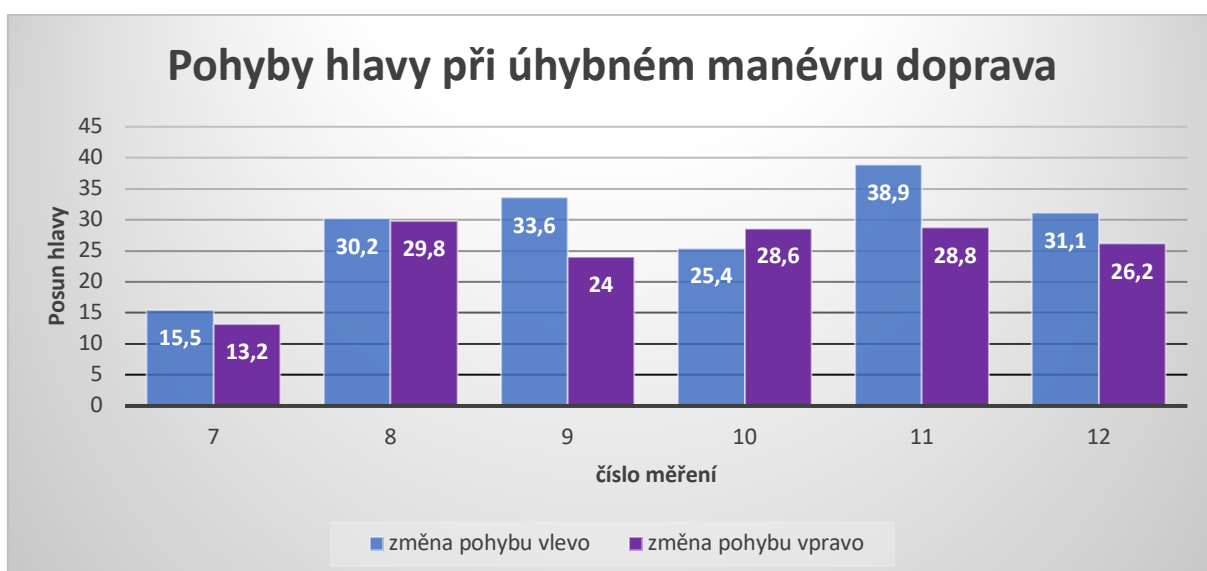
Z naměřených hodnot je patrné, že pohyby hlavy při úhybném manévru byly opravdu značné. Na výsledných hodnotách měla velký vliv počáteční pozice hlavy – jestli byla opřena o hlavovou opěrku, či byla v prostoru.

V případě, kdy byla hlava na počátku opřena o hlavovou opěrku, byly hodnoty pohybů menší. To značí fakt, že proband se při náhlé změně směru, mohl trochu hlavou opřít a korigovat tak své pohyby.

Na obrázcích 33 a 34 jsou znázorněny jednotlivé výchylky hlavy. Modrou barvou jsou znázorněny výchylky pohybů hlavy při úhybném manévru a fialovou barvou jsou znázorněny výchylky pohybů hlavy při korekci směru zpět rovně.



Obrázek 33 - Posuny hlavy při úhybném manévru doleva



Obrázek 34 - Posuny hlavy při úhybném manévru doprava

Další problém nastává především u úhybného manévru vpravo, kdy zpětná síla (když se vozidlo narovnává zpět do jízdního pruhu, dokončuje úhybný manévr) je tak velká, že by v případě vyšší rychlosti mohlo dojít kontaktu hlavy s B sloupkem či bočním okýnkem – obrázek 35. Tento sloupek a okýnko není nikam vybaveno proti nárazu. V B sloupku se nachází většinou airbag, který je ale aktivován až při samotném nárazu. Navíc boční airbag je aktivován pouze při bočním střetu, nikoliv při střetu čelním. Tudíž by mohlo dojít k poškození lebky.



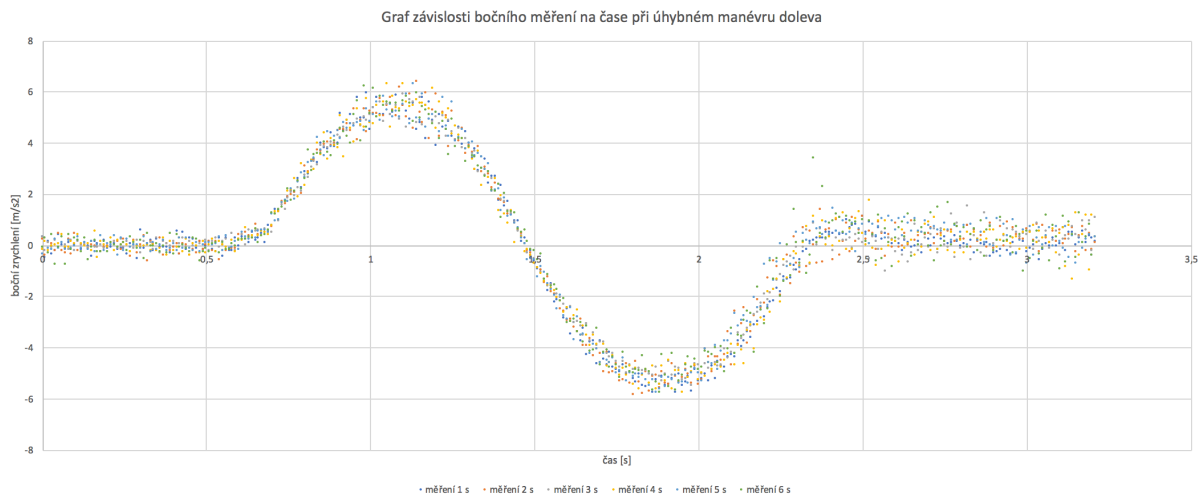
Obrázek 35 - Maximální vychýlení hlavy při úhybném manévru doprava

Měření ukázalo, že větší hodnoty pohybů hlavy byly naměřeny při úhybném manévru doprava. To z důvodu, že při úhybném manévru pohyby korigoval také bezpečnostní pás, který vede přes levé rameno, a tak omezil pohyby do strany.

Při úhybném manévru byly pohyby hlavy závislé na bočním zrychlení. Boční zrychlení v čase jsou znázorněna na obrázku 36 pro úhybný manévr doleva a pro úhybný manévr doprava na obrázku 37.

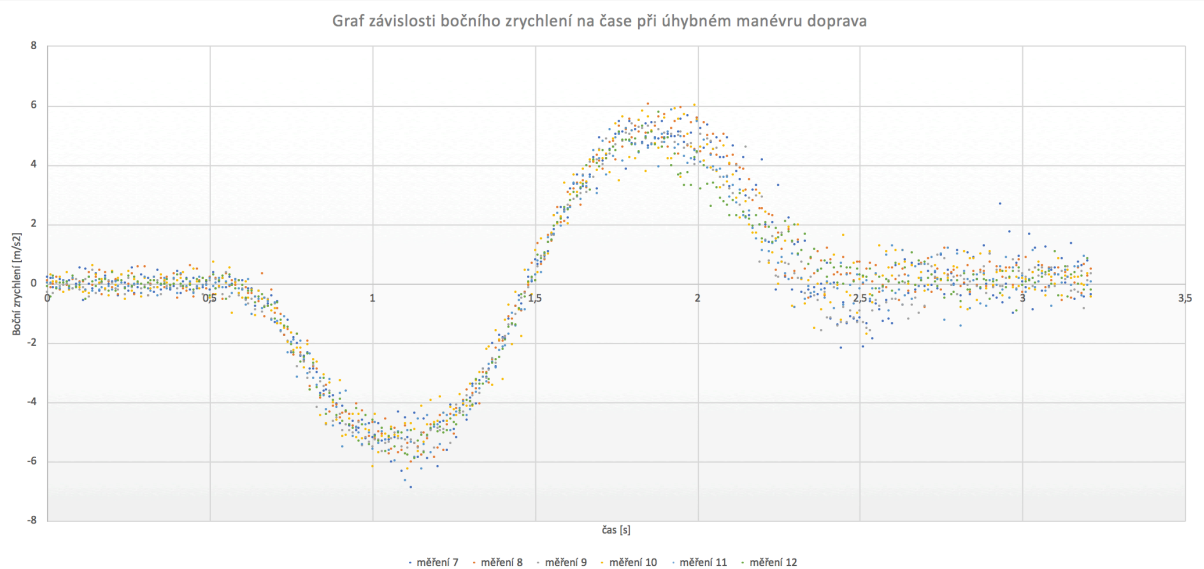
Při úhybném manévru doleva byly naměřeny maximální hodnoty zrychlení 6,39. Průměrné hodnoty největšího zrychlení pro všech šest měření byly 6,02. Pohyby hlavy byly obrácené

vlivem setrvačných sil, avšak maximální výchylky hlavy kopírovali velikost sil. Čím byla výchylka větší, tím větší byl výkyv hlavy.



Obrázek 36 - Graf závislosti bočního zrychlení na čase při úhybném manévru doleva

Při úhybném manévru doprava byly naměřeny maximální hodnoty zrychlení 6,04. Průměrné hodnoty maximálního zrychlení všech šesti měření byly 5,81. Velikost bočního zrychlení kopírovaly velikosti výchylek hlavy, které byly způsobeny setrvačnou silou.



Obrázek 37 - Graf závislosti bočního zrychlení na čase při úhybném manévru doprava

7.6 Vyhodnocení pohybů hlavy při nouzovém brždění

Po úhybném manévru (změně jízdního pruhu) následovalo nouzové brždění vozidla do úplného zastavení. Tento úkol měl být proveden pomocí pedálového robota, ale vlivem nefunkčnosti bylo brždění prováděno manuálně zkušebním technikem na místě řidiče. Tato skutečnost tak může mít vliv na výsledné hodnoty, neboť není zaručeno, že i přes veškerou snahu řidiče všechny pokusy probíhaly zcela totožně. Musíme tedy vzít v potaz, že hodnoty jsou značně ovlivněny zpožděnou reakcí řidiče, nestejným sešlápnutím brzdového pedálu či nestejnou silou sešlápnutí při jednotlivých jízdách.

Jelikož se jedná o nouzové brždění (simulace čelní kolize s jiným vozidlem), musíme vzít na vědomí, že před tímto úkonem se odehrával úhybný manévr. Tím se proband dostal do nestandardní polohy sezení, neboť prudkou změnou směru, byl ve svém sedadle rozhozen a neseděl přímo, byl tzv. OOP – out of position.

Po úhybném manévru doleva, při případné následující čelní kolizi, je posádka vozidla nakloněna na levou stranu. Pokud bychom vzali v potaz pasažéra na sedadle spolujezdce, po úhybném manévru je nakloněn do středu vozidla. Tím může dojít k vyklouznutí z tříbodového bezpečnostního pásu a následného minutí čelního airbagu. Tím zádržné systémy ztrácí na své funkčnosti a ochraně. Navíc může tímto nesprávným použitím dojít ještě k zhoršení následků nehody.

Po úhybném manévru doprava, při případné následující čelní kolizi je posádka vozidla nakloněna na pravou stranu. Pokud bychom se opět zaměřili na pasažéra na sedadle spolujezdce, je značně nakloněn směrem k B sloupku a bočnímu okýnku. Tím by mohlo dojít při kolizi ke středu hlavy s okýnkem či B sloupce a následnému zranění.

Výsledky byly měřeny z fotografií z videa, které bylo natočeno GoPro kamerou, která byla umístěna na bočním okně u řidiče. Hodnoty byly odečítány ze stupnice, která byla umístěna na bočním okně spolujezdce ve výšce jeho hlavy. Počáteční pozice hlavy nebyla vždy stejná, neboť proband měl u některých měření hlavu opřenou o hlavovou opěrku a u některých měření byla jeho hlava v prostoru. Hodnoty pro pohyby hlavy při nouzovém brždění po úhybném manévru vlevo jsou uvedeny v tabulce 4 a hodnoty pohybu po úhybném manévru vpravo jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 4 - Pohyby hlavy při nouzovém brzdění po úhybném manévru vlevo

Měření RUN	Počáteční stav	Koncový stav	Posun hlavy dopředu	Počáteční pozice hlavy
1	48,8	14,2	34,6	Opřená o opěrku
2	49,2	13,2	36	Opřená o opěrku
3	41,7	10,9	30,8	V prostoru
4	40,1	15,3	24,8	V prostoru
5	36,2	17,8	18,4	V prostoru
6	36,3	15,3	21	V prostoru

Tabulka 5 - Pohyby hlavy při nouzovém brzdění po úhybném manévru vpravo

Měření RUN	Počáteční stav	Koncový stav	Posun hlavy dopředu	Počáteční pozice hlavy
7	48,9	12,5	36,4	Opřená o opěrku
8	38,9	12,8	26,1	V prostoru
9	36,9	12,7	34,2	V prostoru
10	49,4	16,9	32,5	Opřená o opěrku
11	34,1	20,1	14	V prostoru
12	41,1	17,2	23,9	V prostoru

Měření ukázalo, že většina koncových stavů hlavy byla na hodnotě kolem 12 – obrázek 38. To značí, že bezpečnostní pás, by měl zachytit pasažéra vždy v přibližně stejné poloze – obrázek 39. Některé hodnoty se značně liší od průměru. To je způsobeno již uvedeným lidským brzděním, kdy ne všechny pokusy byly zcela totožné.

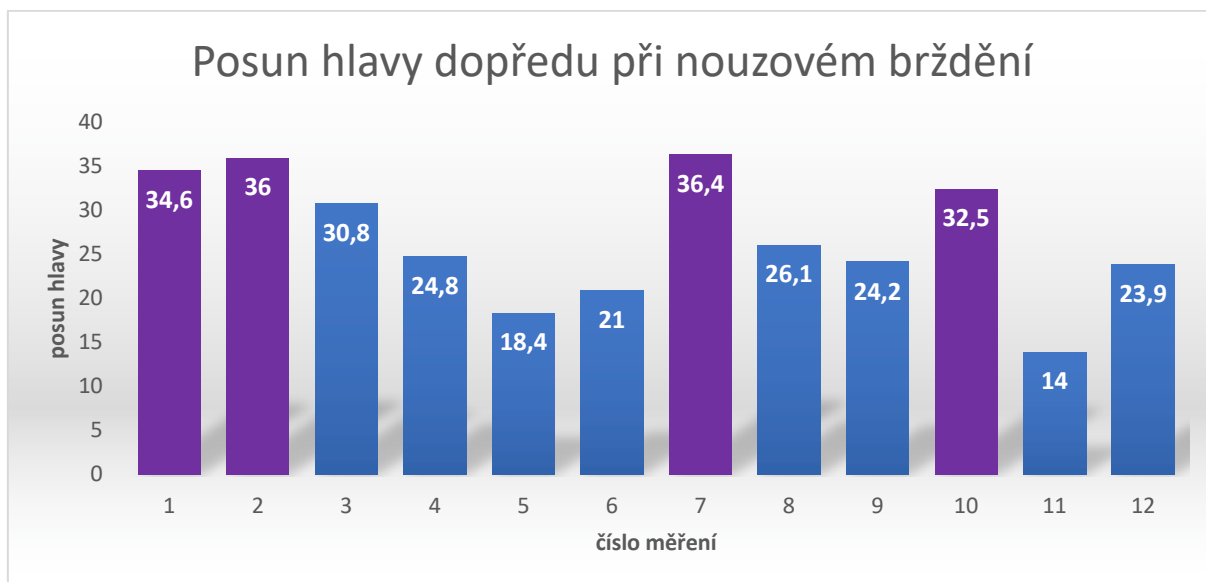


Obrázek 38 - Hodnoty koncového záchytu hlavy po nouzovém brzdění



Obrázek 39 - Posun hlavy při brzdění

Posun hlavy byl závislý na počáteční pozici. Pokud byla na počátku hlava opřena o hlavovou opěrku, byl posun hlavy dopředu větší, nežli když byla hlava v prostoru. Na obrázku 40 jsou znázorněny posuny hlavy dopředu při jednotlivých měřeních. Fialová barva znázorňuje počáteční polohu hlavy, která byla opřena o hlavovou opěrku, modrá značí, že počáteční poloha hlavy byla v prostoru.



Obrázek 40 - Posun hlavy dopředu při nouzovém brždění

7.7 Návrh prvků pasivní bezpečnosti v autonomním vozidle vyššího stupně automatizace

Experiment poukazuje na fakt, že pokud pasažér nesleduje provoz a situaci kolem sebe, tak v případě nečekaného manévru vozidla není schopen reakce. Tím dochází k tomu, že bezpečnostní prvky nemusí zcela správně plnit svoji funkci.

7.7.1 Bezpečnostní pásy v autonomním vozidle

Pokud dojde k většímu vychýlení pasažéra na pozici spolujezdce ze sedadla při úhybném manévru, může dojít k vyklouznutí z bezpečnostního pásu. Pro osobu na místě spolujezdce k tomu může dojít nejčastěji při úhybném manévru vpravo, kdy vlivem setrvačnosti jde hlava a tělo do středu vozidla a tím může dojít k vyklouznutí levého ramena z tříbodového

bezpečnostního pásu, který se v osobních automobilech dnes nejčastěji využívá, a při následném brzdění, případě nárazu, již bezpečnostní pás neplní svoji funkci.

K nesprávné funkci bezpečnostního pásu může dojít i za situace, kdy by pasažér nakloněn do středu vozidla a ovládá například palubní počítač. Jeho tělo je tak zcela mimo sedadlo a bezpečnostní zádržné systémy – tříbodový bezpečnostní pás snadno z ramene vyklouzne a čelní airbagy povětšinou nepokrývají střed vozidla, kde se nachází palubní počítač.

S ohledem na větší bezpečnost v autonomních vozidlech bych navrhovala využívat sedačky s integrovaným bezpečnostním pásem – obrázek 41. Bezpečnostní pás by tam v případě nehody plnil svou funkci, i pokud bude sedadlo nějak natočeno či naklopeno. Pasažéra by rychleji zachytil bez ohledu na nastavení sedadla. Sedadla s integrovanými bezpečnostními pásy budou muset být velmi pevná a odolná, neboť všechny síly se budou na karoserii přenášet skrz ně. Ideální by bylo využívání čtyřbodových či vícebodových bezpečnostních pásů, ale k tomu s ohledem na komfort a rychlost připoutání nejspíše nedojde.



Obrázek 41 - Sedadlo s integrovaným bezpečnostním pásem [50]

7.7.2 Airbagy v autonomním vozidle

Airbag u spolujezdce je konstruován pro standardní polohu sezení na sedadle. Avšak dle experimentu, proband nebyl v případě nárazu v této poloze. Jeho poloha byla značně ovlivněna předcházejícím úhybným manévrem. Jeho tělo tak bylo v případě úhybného manévru doleva nakloněno do středu vozidla a v případě úhybného manévru doprava se tělo s hlavou hodně přibližovalo bočnímu okýnku a B sloupku.

Toto by mohlo mít za následek, že v případě nehody, spolujezdec čelní airbag, který je nainstalovaný v přístrojové desce před ním, mine. Tento airbag totiž pokrývá jen šířku sedadla a je konstruován pro standardní pozici sezení. Tím airbag nebude plnit svou funkci a spolujezdcе dostatečně neochrání.

Proto bych navrhovala k zádržným systémům využít vanové airbagy – obrázek 42, které jsou kolem celého sedadla a jsou do sedadel integrovány. Mohli by tak v případě nehody lépe ochránit posádku v autonomním vozidle a podržet ji na svém místě i v případě nestandardní pozice sezení. Tyto airbagy by bylo vhodné s ohledem na provedený experiment doplnit velkým čelním airbagem pro případ čelního nárazu. Vhodné by také bylo, aby v případě nehody došlo k aktivaci všech airbagů, aby byla posádka chráněna ze všech stran.



Obrázek 42 - Vanový airbag integrovaný do sedadla [51]

8 Závěr

Prvky bezpečnosti ve vozidlech jsou stále vyvíjeny, aby byly kvalitnější a poskytovali větší ochranu posádce v případě dopravní nehody. Všechny jsou ale konstruovány vzhledem ke standardní, jasně definované poloze posádky ve vozidle, což může být problémem u autonomních vozidel vyšších úrovní automatizace, kde bude poloha těla změněna. Z tohoto důvodu je pravděpodobné, že prvky pasivní bezpečnosti tak nebudou vhodné pro použití v autonomních vozidlech.

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout experiment, kterým by se daly ověřit prvky pasivní bezpečnosti autonomních vozidel s vyšším stupněm autonomie.

Ze simulace experimentu jízdy autonomního vozidla vyplynulo, že prvky pasivní bezpečnosti, jaké se nacházejí v dnešní době ve vozidlech, nebudou zcela nejlepším řešením bezpečnosti v autonomních vozidlech. Řešení prvků pasivní bezpečnosti se jeví u autonomních vozidel bezpečnostní pásy, které budou integrované do sedadla. Dále je vhodné pro lepší ochranu cestujících při čelních nárazech do vozidel dát velký čelní airbag a zároveň využívat vanové airbasy, které budou integrovány do sedadel rovněž jako bezpečnostní pásy.

Problémem pro rozvoj autonomních vozidel v provozu je stále nedostatečná legislativa, která by jejich jízdy povolovala. Testování se s příchodem autonomních vozidel bude muset rozšířit s ohledem na nové systémy. Biomechanická kritéria s nástupem autonomních vozidel zůstanou zachována.

Závěrem je nutno říci, že pro lepší výsledky měření by bylo nutností, aby testovaná osoba neměla absolutně ponětí o pokusu, a tím by došlo k lepším výsledkům nečekaného úhybného manévru a nedošlo by vědomě k ovlivnění pohybu.

Přesto pevně věřím, že poznatky, které jsem získala při tvorbě této diplomové práce a zkušenosti získané během jízd, které simulovaly autonomní vozidlo vyšší úrovně automatizace, využiji i v budoucnu.

9 Zdroje

- [1] What Are the Levels of Automated Driving?. [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://www.apativ.com/en/insights/article/what-are-the-levels-of-automated-driving>
- [2] <https://www.synopsys.com/automotive/what-is-autonomous-car.html>
- [3] Víme, jak bude vypadat tajný testovací okruh BMW u Sokolova. [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/testovaci-areal-bmw-sokolov-podkrusnohori.A190930_140321_automoto_fdv
- [4] Accolade připravuje testovací polygon pro autonomní auta u Stříbra. [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://accolade.eu/cs/aktuality/45/accolade-pripravuje-testovaci-polygon-pro-autonomni-auta-u-stribra>
- [5] Naše aktivity. [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://www.valeo.com/cs/ceska-republika/>
- [6] Vznikl Katalog testovacích oblastí pro autonomní vozidla. [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/tisk/vznikl-katalog-testovacich-oblasti-pro-autonomni-vozidla/>
- [7] Výběr okruhu. [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://testovacioblasti.autonomne.cz/okruhy/>
- [8] Audi je první automobilkou, která vydala speciální příručku pro záchranáře v České republice. [online]. [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://autoperiskop.cz/audi-je-prvni-automobilkou-ktera-vydala-specialni-prirucku-pro-zachranare-v-ceske-republice/>
- [9] What are Anti – Lock Braking Systems (ABS)?. [online]. [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.trackdays.co.uk/news/anti-lock-braking-system-abs/>.
- [10] ASR (Antiebschlupfregelung). [online]. [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/asr-antriebsschlupfregelung/>.
- [11] ESP (ESC). [online]. [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.bezpecnecesty.cz/cz/bezpecnost-automobilu/aktivni-prvky-bezpecnosti/esp-esc>.
- [12] Tesla's software timeline for `Enhanced Autopilot` transition means `Full Self-Driving Copability` as early as next year. [online]. [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://electrek.co/2016/10/20/tesla-enhanced-autopilot-full-self-driving-capability/>.
- [13] Tesla CEO Elon Musk talks Level 5 Full Autonomy for 2021. [online]. [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://electrek.co/2016/10/20/tesla-enhanced-autopilot-full-self-driving-capability/>.
- [14]. Asistenční systémy řidiče. [online]. [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: https://www.volvocars.com/cz/proc-volvo/inovace/budoucnost-rizeni/konektivita/intellisafe-assist?gclid=CjwKCAjwnPOEBhA0EiwA609ReSAvu23vccE_0u9rYzACHguhrasncKyUMsGXWabYaACI3HOeQve3RxoCu-EQAvD_BwE.

- [15] Waymo and Daimler are teaming up to build fully driverless semi trucks. [online]. [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.theverge.com/2020/10/27/21536048/waymo-daimler-driverless-semi-trucks-cascadia-freightliner>.
- [16] Chránění budete ze všech stran. [online]. [cit. 2021-06-15]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/modely/golf/golf/system-proaktivni-ochrany-cestujicich-precrash>.
- [17] What is EBA?. [online]. [cit. 2021-07-07]. Dostupné z: <https://autoportal.com/articles/what-is-eba-11682.html>.
- [18] Adaptive cruise control for passenger cars. [online]. [cit. 2021-07-07]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/assistance-systems/adaptive-cruise-control/>.
- [19] What is Autonomous Emergency Braking or AEB?. [online]. [cit. 2021-07-07]. Dostupné z: <https://www.carsguide.com.au/car-advice/what-is-autonomous-emergency-braking-or-aeb-51459>.
- [20] What is lane assist?. [online]. [cit. 2021-07-07]. Dostupné z: <https://www.carwow.co.uk/guides/glossary/lane-assist-explained#gref>.
- [21] Roles of the traction control systém. [online]. [cit. 2021-07-07]. Dostupné z: <https://www.kia.com/dm/discover-kia/ask/what-is-the-traction-control-system-in-a-car-and-what-does-the-tcs-light-mean.html>.
- [22] Karoserie. [online]. [cit. 2021-07-07]. Dostupné z: <https://www.bezpecnecesty.cz/cz/bezpecnost-automobilu/pasivni-prvky-bezpecnosti/karoserie>.
- [23] Jak funguje předepínač bezpečnostního pásu? Vysokorychlostní kamera to ukáže. [online]. [cit. 2021-07-07]. Dostupné z: <https://www.autoforum.cz/technika/jak-funguje-predepinac-bezpecnostniho-pasu-vysokorychlostni-kamera-to-ukaze/>.
- [24] Jak si správně a bezpečně nastavit sedadlo ve voze a opěrku hlavy? [online]. [cit. 2021-07-07]. Dostupné z: <https://www.havex.cz/cz/jak-si-spravne-a-bezpecne-nastavit-sedadlo-ve-voze-a-operku-hlavy>.
- [25] EHK/OSN Integrované české překlady předpisů. [online]. [cit. 2021-07-09]. Dostupné z: <http://mezinarodni-predpisy.tuv-sud.cz/cs/predpisy/ehk-osn-integrované-ceske-preklady/>.
- [26] Steering Robots. [online]. [cit. 2021-07-09]. Dostupné z: <https://www.abdynamics.com/en/products/track-testing/driving-robots/steering-robots>.
- [27] Záměna předních pásů za samonavíjecí. [online]. [cit. 2021-07-09]. Dostupné z: <https://www.skoda-techweb.cz/clanek.php?id=280>.
- [28] 2 Point Lap Seatbelts. [online]. [cit. 2021-07-09]. Dostupné z: <https://www.seatbeltsplus.com/category/2-Point-Lap-Seatbelts.html>.
- [29] Simpson Seatbelt systems – Driven by safety. [online]. [cit. 2021-07-09]. Dostupné z: <https://static.summitracing.com/global/images/instructions/sim-29063bk1x.pdf>.

- [30] KOVANDA, Jan s ŠATOCHIN, Vladimír. Pasivní bezpečnost vozidel. 1. vydání Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. 69 s. ISBN 80-01-02235-8.
- [31] VLK, František. Karosérie motorových vozidel: Ergonomika, biomechanika, struktura, pasivní bezpečnost, kolize, materiály. 1. vydání Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. 243 s. ISBN 80-238-5277-9.
- [32] NEWMAN, James A., Generalized Acceleration Model For Brain Injury Theshold (GAMBIT). [online]. [cit. 2021-07-12]. Dostupné z: http://www.ircobi.org/wordpress/downloads/irc1986/pdf_files/1986_9.pdf.
- [33] KOVANDA, Jan a kolektiv autorů. Bezpečnostní aspekty návrhu dopravních prostředků. 1. vydání Praha: Vydavatelství ČVUT v Praze, Fakulta dopravní – Ústav bezpečnostních technologií a inženýrství, 2016. 242 s. ISBN 978-80-01-05893-0.
- [34] The neck injury criterion: future considerations. [online]. [cit. 2021-07-12]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001457501000203>.
- [35] Kolenní airbag. [online]. [cit. 2021-07-12]. Dostupné z: <https://www.mercedes-benz.cz/passengercars/mercedes-benz-cars/models/eqa/comfort/safety/kneebag.html>.
- [36] GM Introduces Industry's First Front Center Air Bag. [online]. [cit. 2021-07-12]. Dostupné z: https://media.gm.com/media/us/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2011/Sep/0929_airbag.html.
- [37] Pedal Robots. [online]. [cit. 2021-07-15]. Dostupné z: <https://www.abdynamics.com/en/products/track-testing/driving-robots/pedal-robots>.
- [38] Upevnění dětských sedaček. [online]. [cit. 2021-07-15]. Dostupné z: http://www.manualesaudi.com/AudiA4/A42017/cs_CZ/ba/page_00660.htm.
- [39] Dětské zádržné systémy. [online]. [cit. 2021-07-15]. Dostupné z: <http://www.autoskola-sprint.cz/aktuality/16-detske-zadrzne-systemy>.
- [40] Systém PRE-SAFE. [online]. [cit. 2021-07-19]. Dostupné z: <https://www.mercedes-benz.cz/passengercars/mercedes-benz-cars/models/eqc/safety/footnote5.module.html>.
- [41] Preventivní ochrana v kritických jízdních situacích. [online]. [cit. 2021-07-19]. Dostupné z: <https://www.mercedes-benz.cz/passengercars/mercedes-benz-cars/models/v-class/v-class-447/safety.pi.html/mercedes-benz-cars/models/v-class/v-class-447/safety/assistance-systems/presafe-system>.
- [42] Etická komise pro posuzování otázek spojených s provozem automatizovaných a autonomních vozidel. [online]. [cit. 2021-07-19]. Dostupné z: https://www.autonomne.cz/front/aktivity/projekt-detail/eticka_komise.
- [43] Samořiditelné Česko. [online]. [cit. 2021-07-19]. Dostupné z: <https://autosap.cz/topic/samoriditelne-cesko/>.

- [44] Bezpečnost – Nebát se je úžasný pocit. [online]. [cit. 2021-07-19]. Dostupné z: <https://www.seat.cz/tarraco/bezpecnost>.
- [45] Bezpečnost na vysoké úrovni a její další rozvoj. [online]. [cit. 2021-07-19]. Dostupné z: <http://www.volvodirect.cz/download/volvo-vize-bezpecnosti-2018.pdf>.
- [46] 2008 Tesla Roadster Prototype: First Drive. [online]. [cit. 2021-07-25]. Dostupné z: <https://www.roadandtrack.com/new-cars/first-drives/reviews/a13991/2008-tesla-roadster/>.
- [47] Waymo One. [online]. [cit. 2021-07-25]. Dostupné z: <https://waymo.com/waymo-one/>.
- [48] Introducing The All-Electric 2023 CADILLAC LYRIQ. [online]. [cit. 2021-07-25]. Dostupné z: <https://www.cadillac.com/electric/lyriq>.
- [49] Budoucnost je samořiditelná. Němci jako první pustí na silnice autonomní vozy. [online]. [cit. 2021-07-29]. Dostupné z: <https://forbes.cz/budoucnost-je-samoriditelná-němci-jako-první-pustí-na-silnice-autonomní-vozy/>.
- [50] Belmont III ISS. [online]. [cit. 2021-08-03]. Dostupné z: <http://www.superior-seats.com/Belmont-III-ISS>.
- [51] Future technologies. [online]. [cit. 2021-08-03]. Dostupné z: <https://www.autoliv.com/products/passive-safety/future-technologies>.

10 Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 - TESLA ROADSTER [46]	12
OBRÁZEK 2 – WAYMO ONE – TAXISLUŽBA [47]	14
OBRÁZEK 3 – CADILLAC LYRIQ [48]	15
OBRÁZEK 4 – VIZUALIZACE TESTOVACÍHO POLYGONU U SOKOLOVA [3].....	17
OBRÁZEK 5 - SCHÉMA AREÁLU TESTOVACÍHO POLYGONU U STŘÍBRA [4]	18
OBRÁZEK 6 – MAPA OKRUHŮ PRO AUTONOMNÍ VOZIDLA V BĚŽNÉM PROVOZU V ČESKÉ REPUBLICE [7]	19
OBRÁZEK 7 – PROSTOR PRO PŘEŽITÍ A PROSTOR DEFORMAČNÍCH ZÓN PŘI ČELNÍ SRÁŽCE [22]	25
OBRÁZEK 8 – ČÁSTI KAROSERIE ZAJIŠŤUJÍCÍ OCHRANU CESTUJÍCÍM V PŘÍPADĚ NEHODY [22]	26
OBRÁZEK 9 – DVOUBODOVÝ BEZPEČNOSTNÍ PÁS [28]	27
OBRÁZEK 10 - ŠESTIBODOVÝ BEZPEČNOSTNÍ PÁS [29]	28
OBRÁZEK 11 - TŘÍBODOVÝ SAMONAVÍJECÍ BEZPEČNOSTNÍ PÁS [27]	29
OBRÁZEK 12 - SCHÉMA, JAK FUNGUJE PŘEDEPÍNAČ BEZPEČNOSTNÍHO PÁSU [23]	30
OBRÁZEK 13 - ROZMÍSTĚNÍ AIRBAGŮ VE VOZIDLE [8]	31
OBRÁZEK 14 - KOLENNÍ AIRBAG [35]	32
OBRÁZEK 15 - FAR-SIDE AIRBAG [36]	33
OBRÁZEK 16 - SPRÁVNÉ NASTAVENÍ OPĚRKY HLAVY [24]	34
OBRÁZEK 17 - UPEVNĚNÍ DĚTSKÉ AUTOSEDAČKY POMOCÍ SYSTÉMU ISOFIX [38].....	35
OBRÁZEK 18 - SCHÉMA PRE-CRASH SYSTÉMŮ – UZAVŘENÍ OKEN, NAROVNÁNÍ SEDADLA DO VZPŘÍMENÉ POLOHY A PŘEDEPNUTÍ BEZPEČNOSTNÍHO PÁSU [40]	36
OBRÁZEK 19 - STANDARDNÍ DEFINOVANÁ POLOHA ŘIDIČE VE VOZIDLE [24]	43
OBRÁZEK 20 - WSU – KŘIVKA [31]	47
OBRÁZEK 21 - AXIÁLNÍ TAHOVÉ SÍLY A SMYKOVÉ SÍLY PŮSOBÍCÍ NA KRK V ZÁVISLOSTI NA ČASE [33]	49
OBRÁZEK 22 - VELIKOST AXIÁLNÍ SÍLY PŮSOBÍCÍ NA STEHENNÍ KOST V ZÁVISLOSTI NA ČASE [33]	52
OBRÁZEK 23 - SCHÉMA SITUACE – VOZIDLA A (ČERVENÉ) JEDE PO ROVNÉ KOMUNIKACI, KDY MU VJEDE DO CESTY VOZIDLA B (MODRÉ) Z PRAVÉ STRANY	56
OBRÁZEK 24 - SCHÉMA SITUACE – REAKCE VOZIDLA A (ČERVENÉ) NA VOZIDLO B (MODRÉ) - PROVEDENÍ ÚHYBNÉHO MANÉVRU DOLEVA	56
OBRÁZEK 25 - SCHÉMA SITUACE - PO ÚHYBNÉM MANÉVRU SE PROTI VOZIDLU A (ČERVENÉ) OBJEVÍ VOZIDLO C (ZELENÉ) - DOCHÁZÍ K NOUZOVÉMU BRZDĚNÍ A SNAZE VYHNOUT SE STŘETU	57
OBRÁZEK 26 - TESTOVACÍ VOZIDLO KIA NIRO	58
OBRÁZEK 27 - POČÍTAČ A ZÁLOŽNÍ ZDROJ V KUFRU ZKUŠEBNÍHO VOZIDLA	59
OBRÁZEK 28 - RÁDIO A SENZORY NA STŘEŠE ZKUŠEBNÍHO VOZIDLA	60
OBRÁZEK 29 - ŘÍDÍCÍ ROBOT AB DYNAMICS SR15 ORBIT	61
OBRÁZEK 30 - PEDÁLOVÝ ROBOT AB DYNAMICS CBAR 600	62
OBRÁZEK 31 - IMU - STABILIZOVANÁ PLOŠINA OXTS 3003V2	63

OBRÁZEK 32 - ZÁKLADOVÁ STANICE.....	64
OBRÁZEK 33 - POSUNY HLAVY PŘI ÚHYBNÉM MANÉVRU DOLEVA.....	67
OBRÁZEK 34 - POSUNY HLAVY PŘI ÚHYBNÉM MANÉVRU DOPRAVA	67
OBRÁZEK 35 - MAXIMÁLNÍ VYCHÝLENÍ HLAVY PŘI ÚHYBNÉM MANÉVRU DOPRAVA	68
OBRÁZEK 36 - GRAF ZÁVISLOSTI BOČNÍHO ZRYCHLENÍ NA ČASE PŘI ÚHYBNÉM MANÉVRU DOLEVA	69
OBRÁZEK 37 - GRAF ZÁVISLOSTI BOČNÍHO ZRYCHLENÍ NA ČASE PŘI ÚHYBNÉM MANÉVRU DOPRAVA	69
OBRÁZEK 38 - HODNOTY KONCOVÉHO ZÁCHYTU HLAVY PO NOUZOVÉM BRZDĚNÍ	72
OBRÁZEK 39 - POSUN HLAVY PŘI BRZDĚNÍ.....	72
OBRÁZEK 40 - POSUN HLAVY DOPŘEDU PŘI NOUZOVÉM BRZDĚNÍ	73
OBRÁZEK 41 - SEDADLO S INTEGROVANÝM BEZPEČNOSTNÍM PÁSEM [50]	75
OBRÁZEK 42 - VANOVÝ AIRBAG INTEGROVANÝ DO SEDADLA [51].....	76

11 Seznam tabulek

TABULKA 1- SEZNAM EHK/OSN PŘEDPISŮ [25]	39
TABULKA 2 - HODNOTY POHYBŮ HLAVY PŘI ÚHYBNÉM MANÉVRU DOLEVA	66
TABULKA 3 - HODNOTY POHYBŮ HLAVY PŘI ÚHYBNÉM MANÉVRU DOPRAVA	66
TABULKA 4 - POHYBY HLAVY PŘI NOUZOVÉM BRZDĚNÍ PO ÚHYBNÉM MANÉVRU VLEVO.....	71
TABULKA 5 - POHYBY HLAVY PŘI NOUZOVÉM BRZDĚNÍ PO ÚHYBNÉM MANÉVRU VPRAVO	71