



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Ondřej Veselý

Pasivní bezpečnost elektromobilů

Passive Safety of Electric Vehicles

Bakalářská práce

2020

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K616.....Ústav dopravních prostředků

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Ondřej Veselý

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – DOS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Pasivní bezpečnost elektromobilů**

Název tématu (anglicky): Passive Safety of Electric Vehicles

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Nastudujte problematiku pasivní bezpečnosti vozidel a existujících systémů PB
- Seznamte se s legislativou řešící pasivní bezpečnost vozidel
- Popište specifika elektromobilů z hlediska PB a odlišnosti oproti ostatním vozidlům se spalovacím motorem
- Prostudujte řešení PB na některém stávajícím elektromobilu
- Porovnejte toto řešení s řešením PB vozidla se spalovacím motorem podobné kategorie a u těchto vozidel proveďte srovnání výsledků nárazových zkoušek se zaměřením na PB



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího

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.
Legislativa související s PB vozidel

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Josef Mík, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **26. června 2019**
(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 bakalářské práce: **10. srpna 2020**
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 bakalářské práce.

Ondřej Veselý
jméno a podpis studenta

V Praze dne 26. června 2019

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady či mi jiným způsobem vypomohli k vypracování této práce. Jmenovitě panu Ing. Pavlu Funkovi a Ing. Františkovi Janeckému z firmy Aurel CZ s.r.o. a dále především panu Ing. Miroslavovi Novotnému ze Škoda Auto a.s. za poskytnutí klíčových podkladů k praktické části mé bakalářské práce. Zvláště pak děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Josefu Míkovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultování práce a za cenné rady, které mi poskytl během celého studia. Na závěr bych chtěl poděkovat rodičům a blízkým především za materiální a morální podporu po celou dobu studia.

Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití 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).

V Praze dne 9.8.2020



podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Pasivní bezpečnost elektromobilů

Bakalářské práce

Srpen 2020

Ondřej Veselý

ABSTRAKT

Primárním cílem této práce je prověření a porovnání pasivní bezpečnosti elektromobilů oproti vozidlům vybaveným konvenčním spalovacím motorem. Před tímto bylo nutno osvětlit pojem pasivní bezpečnost, provést rešerši legislativy vztažené k pasivní bezpečnosti osobních automobilů a také specificky elektromobilů a nastudovat veškerá specifika skloubená s tímto pohonem.

ABSTRACT

The primary goal of the bachelor thesis is to verify and compare the passive safety of electric vehicles to vehicles equipped with conventional combustion engine. Before that it was necessary to say what the term passive safety means, conduct a search for legislation relating to passive safety of cars and specifically of electric cars and study all the specifics associated with this drive.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pasivní bezpečnost, elektromobil, Předpisy EHK, homologace, EuroNCAP, nárazové zkoušky, biomechanika, specifika elektromobilů

KEY WORDS

Passive safety, electric vehicle, ECE regulations, homologation, EuroNCAP, crash tests, biomechanic, specifics of electric vehicles

Obsah

Seznam použitých zkratk	7
1. Úvod	8
2. Pasivní bezpečnost	9
2.1 Prvky pasivní bezpečnosti	9
2.1.1 Bezpečnostní pásy a předepínače pásů	9
2.1.2 Airbagy	10
2.1.3 Hlavová opěrka	11
2.1.4 Systém eCall	11
2.1.5 Karoserie	11
2.1.6 Dětské zádržné systémy	12
2.1.7 Moderní prvky pasivní bezpečnosti	12
2.2 Analýza reálných dopravních nehod a nárazových zkoušek	12
2.2.1 Analýza reálných dopravních nehod	13
2.3 Biomechanika	14
2.3.1 Termín biomechanika	14
2.3.2 Biomechanická kritéria	14
2.4 Figuríny	15
2.5 EuroNCAP	17
2.5.1 Organizace EuroNCAP	17
2.5.2 Zkoušky prováděné organizací EuroNCAP v současnosti	18
2.5.2.1 Zkoušky čelním nárazem	18
2.5.2.2 Zkoušky bočním nárazem	18
2.5.2.3 Zkoušky zadním nárazem	19
2.5.2.4 Zkoušky týkající se zranitelných účastníků provozu	19
2.5.2.5 Zkoušky elektronických bezpečnostních systémů	20
2.5.2.6 Ustanovení týkající se dětské posádky, za které je vozidlo také hodnoceno	21
2.5.2.7 Hodnocení ponehodové bezpečnosti vozidla	21
2.5.3 Čelní zkouška ODB	21
3. Legislativa, zajištění ochrany	22
3.1 Kompatibilita vozidla	22
3.2 Zákonné požadavky na pasivní bezpečnost	22
3.2.1 Popis homologační značky	23
3.2.2 Předpisy EHK k zajištění ochrany pro osobní automobily	23
4. Specifika elektromobilů	27
4.1 Homologační předpisy týkající se výhradně elektromobilů	27

4.2	Problematika elektromobility	28
4.2.1	Problematika tichého provozu.....	28
4.2.2	Bezpečnost elektromobilů v otázce vznícení, společnost DEKRA	29
4.2.3	Hašení vozidel s elektrickým pohonem	30
4.3	Specifická řešení týkající se bezpečnosti	30
4.3.1	Baterie a jejich konstrukce	31
4.3.2	Kabeláž.....	32
4.3.3	Automatické odpojení napájení.....	32
4.4	Rozdíly v konstrukci.....	32
4.4.1	Umístění motoru	32
4.4.2	Komponenty vozu.....	33
4.4.3	Umístění baterie	33
4.4.4	Vytápění.....	33
4.5	Údržba	34
5.	Pasivní bezpečnost vozu Mercedes-Benz EQC	34
5.1	Prvky ochrany Mercedes-Benz	35
5.1.1	Vývoj prvků určených pro elektromobily Mercedes-Benz	35
5.1.2	Bezpečnostní výbava vozu EQC	35
5.2	Výsledky vozu EQC v testech EuroNCAP	35
6.	Porovnání	36
6.1	Mercedes-Benz GLB vs. Mercedes-Benz EQC.....	37
6.1.1	Výběr, zdůvodnění	37
6.1.2	Bezpečnostní výbava modelu GLB.....	37
6.1.3	Testování EuroNCAP	37
6.2	VW Up! vs. VW eUp!	39
6.3	Škoda vs. Škoda iV	39
6.3.1	Zpracování dat.....	39
6.3.2	Data figurín ze spalovacího vozu.....	40
6.3.3	Data figurín z elektromobilu	41
6.3.4	Porovnání hodnot	44
6.3.5	Hodnocení ochrany cestujících	44
6.3.6	Diskuse	45
7.	Závěr.....	47
	Seznam použitých zdrojů	50
	Seznam obrázků.....	53
	Seznam tabulek.....	54

Seznam použitých zkratek

IZS	Integrovaná záchranný systém
PB	Pasivní bezpečnost
EHK	Evropská hospodářská komise
VDZ	Vodorovné dopravní značení
OSN	Organizace spojených národů
ES	Evropské společenství
EHS	Evropské hospodářské společenství
FMVSS	Federal Motor Vehicle Safety Standarts (předpisy silniční bezpečnosti platné v USA, srovnatelné s předpisy EHK)
HIC	Head Injury Criterion (kritérium poranění hlavy užívané při čelním nárazu)
HPC	Head Performance Criterion (kritérium poranění hlavy užívané při bočním nárazu)
ThCC	Thoracic Compresion Criterion (kritérium stlačení hrudníku užívané při čelním nárazu)
VC	Viscous elasticity (kritérium poranění hrudníku užívané při čelním nárazu)
RDC	Rib Deflection Criterion (kritérium deformace žeber užívané při bočním nárazu)
PSPF	Pubic Symphysis Peak Force (kritérium maximální působící síly na pánevní kost užívané při bočním nárazu)
MPDB	Mobile Progressive Deformable Barrier (název čelní zkoušky prováděné organizací EuroNCAP)
FW	Full Width Rigid Barrier (název čelní zkoušky prováděné organizací EuroNCAP)
MD	Side Mobile Barrier (název boční zkoušky prováděné organizací EuroNCAP)
PO	Side Pole (název boční zkoušky prováděné organizací EuroNCAP)
AEB	Autonomous Emergency Braking (autonomní nouzové brždění)
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil Club (německá automobilová asociace)
ODB	Offset Deformable Barrier (název čelní zkoušky dříve prováděné organizací EuroNCAP)

1. Úvod

Důvodů výběru téma pasivní bezpečnosti elektromobilů pro mou bakalářskou práci je mnoho. V první řadě jsem už od útlého věku automobilový nadšenec, což mě také dovedlo na Fakultu dopravní ČVUT v Praze s cílem se v tomto tématu zdokonalit. Konkrétními důvody této volby jsou však hlavně dva fakty. Prvním z nich je, že jsem dostal ve firmě Aurel CZ příležitost vypomáhat se zpracováním protokolů z nárazových zkoušek. Tato firma se specializuje na pasivní bezpečnost vozidel a úzce spolupracuje s automobilkou Škoda Auto. Práce u nich je velmi poučná a mě začala bavit natolik, že jsem se rozhodl poznatky zde získané využít pro svou bakalářskou práci. Proč jsem se rozhodl právě pro elektromobilitu, je fakt druhý. Elektromobilita zažívá v současnosti velký vzestup. Již skoro každá automobilka vyvinula či právě vyvíjí svůj první plně elektrický model, což mě vedlo k myšlence, co je zde v otázce pasivní bezpečnosti pro tyto vozy jiného. Zda jsou nějaká specifika, která musí elektromobily splňovat ohledně pasivní bezpečnosti navíc oproti spalovacím vozům, a jestli ano, jaká jsou. Jaká jsou ostatní specifika sklobená s tímto pohonem a zda je elektromobil bezpečným a vhodným dopravním prostředkem.

Bezpečnost elektromobilů v očích běžných spotřebitelů, je dle mého názoru jedním z důvodů, proč se elektromobilita nerozvíjí ještě rychleji. Na tuto i jiné problematiky jsem se v bakalářské práci také důkladně zaměřil. Dalšími z vlivů na rychlost rozvoje tohoto druhu pohonu jsou pak především vysoká pořizovací cena a nepřizpůsobená infrastruktura.

Hlavními cíli mé bakalářské práce je hlubší seznámení se s problematikou pasivní bezpečnosti včetně studia legislativních požadavků jí se týkajících. Dále také prověření všech specifik vozů s elektrickým pohonem, jak už specifik týkajících se přímo pasivní bezpečnosti, tak i ostatních. V neposlední řadě pak podrobné studium opatření zvyšujících pasivní bezpečnost osobních vozidel, porovnání těchto opatření u vozů s konvenčním spalovacím agregátem s vozy elektrickými a srovnání výsledků nárazových zkoušek u vybraných vozidel. Podmínkou pro toto srovnání bylo stanoveno, že se bude jednat o jeden vůz spalovací a jeden elektromobil srovnatelné kategorie.

Dalším z cílů bylo osvojit si danou problematiku z důvodu plánovaného návrhu a stavby malého městského elektrického vozidla, kterou zamýšlíme pod vedením katedry K616 realizovat s mými kolegy v rámci navazujícího studia.

2. Pasivní bezpečnost

Pasivní bezpečností obecně rozumíme opatření minimalizující následky vzniklé dopravní nehody pro všechny zúčastněné. Pasivní bezpečnost se tedy nezabývá pouze ochranou posádky vozu, ale rovněž ochranou ostatních účastníků provozu.

V případě, že dojde k dopravní nehodě, o co nejmenším ohrožení posádky rozhodují základní kritéria, kterými jsou především:

- a) zbylý prostor k přežití
- b) možnost poranění o části interiéru či řídicí ústrojí vozu
- c) přetížení organismu a doba působení daného přetížení
- d) možnost vozidlo po nehodě opustit např. kvůli riziku požáru či jinému nebezpečí při setrvání ve voze

Pasivní bezpečnost vozu tak můžeme obecně rozdělit na dvě části. Pasivní bezpečnost při samotném nárazu a po něm. Při nárazu dále rozeznáváme její vnitřní a vnější funkci. Vnitřní funkce PB ukazuje schopnost ochrany posádky vozu a funkce vnější míru ochrany ostatních účastníků provozu. Pasivní ponehodovou bezpečností nazýváme označení místa nehody automatickým rozblikáním varovných světel, umožnění snadného vyproštění posádky vozu odemknutím dveří, automatické přivolání složek IZS nebo zamezení vzniku požáru odpojením přívodu paliva. [1]

2.1 Prvky pasivní bezpečnosti

2.1.1 Bezpečnostní pásy a předepínače pásů

Bezpečnostní pásy jsou jedním ze základních prvků pasivní bezpečnosti a troufám si poznamenat, že již jistě zachránily tisíce životů. Jejich hlavním účelem je udržet cestujícího v sedadle (ve vozidle) a zabránit nárazu těla do některé části interiéru a následnému poranění o vybavení vozu. Společně s předepínači pásů snižují rychlost pohybu těla po nehodě postupně. A to tak, že tělo zachytí a přitáhnou k sedačce ještě před samotným nárazem. Následně dojde k plynulejšímu zpomalení těla cestujícího, což snižuje následky nehody. Osazení vozidla bezpečnostními pásy s předepínači je v současnosti standardem ochrany posádky. Existuje více typů bezpečnostních pásů. Nejčastěji užívaným typem je tříbodový bezpečnostní pás (vyvinut automobilkou Volvo roku 1959) osazovaný do vozidel určených pro provoz na pozemních komunikacích. Tento typ nahradil zastaralý dvoubodový pás.

Pro zajímavost, do závodních vozidel se používají pásy vícebodové jakožto především čtyř a pětibodové.

2.1.2 Airbagy

Dalším zádržným systémem jsou airbagy. Ty mají přímo za úkol ochránit části těla před nárazem do prvků interiéru vozidla a tím předejít poranění. Po nárazu dochází v rámci několika desítek milisekund k pyrotechnicky řízenému nafouknutí airbagů ve vozidle. Během nárazu dochází ke spolupráci s bezpečnostními pásy, které po nárazu části těla do airbagu tělo zpět přitáhnou k sedačce vozu. Správná funkce airbagu je tak sklobena s připoutáním bezpečnostním pásem. Tato skutečnost hraje v otázce přežití či vážného zranění velmi závažnou roli. Vybavení vozidla airbagy je v současnosti legislativně povinné. Existuje více druhů airbagů dle místa osazení ve voze.

Základními typy jsou airbagy:

a) čelní

- chrání především hlavu
- aktivují se při nárazu čelním či šikmo zepředu
- po naplnění jsou kontrolovaně vypouštěny pro hladší dosednutí hlavy
- umístěny ve volantu či palubní desce

b) boční

- chrání pánev a hrudník
- aktivace při bočním nárazu
- nejčastěji umístěny v bočnici sedačky

c) hlavové

- chrání hlavu před nárazem do bočních oken či sloupků
- rozsah od A až po C sloupek čímž chrání, jak sedících vpředu, tak i na zadních sedadlech
- po nafouknutí zůstávají naplněny
- aktivace primárně při bočních, doplňkově i při čelních nárazech
- umístěny ve střeše nad bočními okny

d) kolenní

- ochrana kolen před nárazem do palubní desky
- situovány pod volantem či příhrádkou ve spodní části palubní desky
- svá vozidla jimi osazují především prémiové automobilky, primárně na pozici řidiče, některé i na pozici spolujezdce

2.1.3 Hlavová opěrka

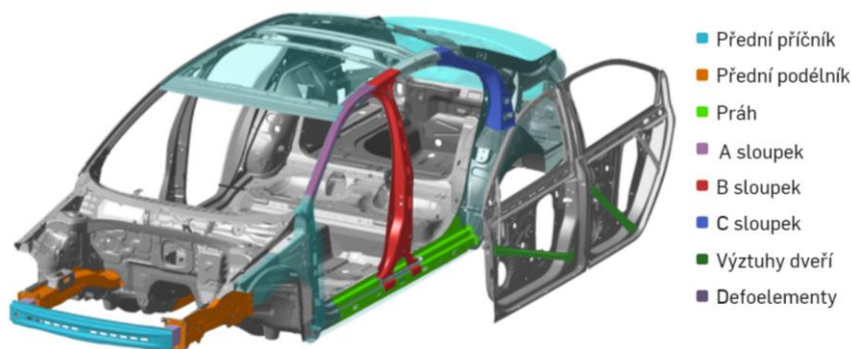
Ač by to někoho možná nenapadlo, i tento prvek výbavy má svou podstatnou roli v pasivní bezpečnosti. Primárně má za úkol ochránit hlavu a páteř při zadním nárazu. Dále také při nárazu čelním, kdy tělo cestujícího putuje ve směru jízdy (nárazu) vozidla a při navracení zpět do původní pozice pomocí bezpečnostního pásu či sil probíhajících při nehodě záda a hlava naráží zpět do sedačky. Hlavová opěrka v těchto situacích stabilizuje hlavu a zamezuje přílišnému záklonu při kterému by mohlo dojít až k fatálnímu poranění páteře v oblasti krku.

2.1.4 Systém eCall

Jedním z nejnovějších prvků je systém automatického nouzového přivolání pomoci v případě nehody. Při nehodě dokáže autonomně kontaktovat tísňovou linku, udat polohu vozidla, počet cestujících a další zpřesňující informace o nastalé nehodě. Kromě tohoto automatického přivolání záchranných složek je pomocí tohoto systému možno kontaktovat tísňovou linku i manuálně zmáčknutím tlačítka v interiéru vozu. Tímto způsobem můžete IZS kontaktovat třeba v případě, že jste nehody svědkem.

2.1.5 Karoserie

I samotná karoserie je součástí pasivní ochrany cestujících. Její konstrukční parametry jako pevnost, užitý materiál a další jsou velmi podstatné. Deformační části karoserie mají za úkol pohltit energii nárazu bez průniku těchto sil do prostoru pro přežití a zabránit tak jeho deformaci. Mezi nejdůležitější části karoserie patří sloupky, přední příčník a podélníky, prahy, výztuhy dveří a také defoelementy. Těmi jsou prvky, které pohltí energii při čelním nárazu při rychlosti do cca 15 km/h a ochrání tak zbytek karoserie od poškození. Jejich následná výměna je snadná a nenákladná v porovnání s díly, které od poškození ochrání. Umístění jednotlivých částí karoserie znázorněno na obrázku 1.



Obrázek 1 – Poloha částí karoserie na vozidle [8]

2.1.6 Dětské zádržné systémy

Do této kategorie patří především dětské autosedačky, systém uchycení Isofix či norma i-Size. Dětská autosedačka zamezuje, podobně jako hlavová opěrka u dospělé posádky, poranění páteře při zpětném pohybu, dále také pohybech těla do boku a u některých typů je vybavena integrovanými bezpečnostními pásy, které lépe zachytí tělo dítěte při nárazu (u ostatních typů se používá pás vozidla). Termín Isofix značí uchycení autosedačky přímo ke karoserii vozu. Tím se minimalizují nežádoucí pohyby dětské sedačky ve vozidle, čímž je sníženo riziko ohrožení dítěte. Poměrně novou záležitostí je norma i-Size (viz. EHK 129), která přinesla nový pohled na velikosti autosedaček (dbá místo na váhu dítěte na vzrůst, který je při volbě správné sedačky důležitější). Dále, dle této normy, musí být sedačky vybaveny systémem Isofix, děti do 15 měsíců věku musejí být přepravovány proti směru jízdy a také se nově dětské sedačky zkoušejí i bočním nárazem. [8]

2.1.7 Moderní prvky pasivní bezpečnosti

Mezi nejnovější prvky vyvinuté pro zvýšení PB, v tomto případě orientované na zvýšení bezpečnosti zranitelných účastníků provozu, řadíme aktivní kapotu automobilu a vnější airbag hrany kapoty motoru a čelního skla. Oba tyto systémy jsou navrženy s cílem měkčího dopadu hlavy chodce při srážce. Zranění hlavy jsou totiž nejkritičtějšími poraněními u tohoto druhu nehod.

Aktivní kapota funguje buď na principu pyrotechnické rozbušky, která je odpálena při detekci sražení chodce, či je její odskok zajištěn pomocí předpjaté pružiny uvolněné elektromagneticky. Kapota motoru je tím odsazena od motorového prostoru o desítky milimetrů, uměle je tak zvětšen prostor pro její deformaci a je minimalizováno riziko nárazu hlavy do některé obtížně deformovatelné části vozu. Za průkopníka tohoto prvku u osobních automobilů lze označit například automobilku Citroën. Vnější airbag vozu je shodně aktivován po detekci srážky se zranitelným účastníkem provozu a má stejné cíle. Po srážce dochází k rozvinutí airbagu od spodní části čelního skla přes jeho hranu s kapotou motoru, a také přes A sloupky. [24]

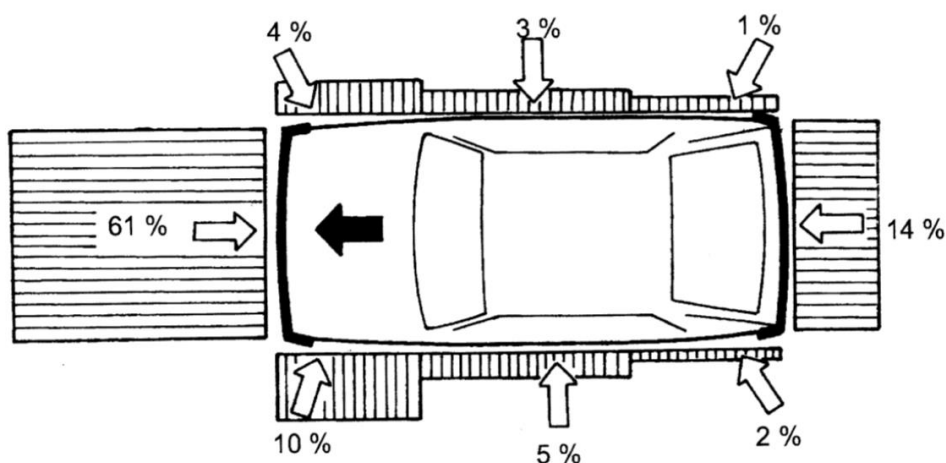
2.2 Analýza reálných dopravních nehod a nárazových zkoušek

Pro zvýšení pasivní bezpečnosti je nutno nepřetržitě analyzovat vzniklé dopravní nehody, provádět biomechanické laboratorní zkoušky a brát v potaz jejich výsledky při vývoji.

2.2.1 Analýza reálných dopravních nehod

Analýzou skutečných dopravních nehod lze velmi přesně získat informace o tom, k jakým typům nehod dochází nejčastěji, kde mají vozidla nejslabší místa (co se týče pasivní bezpečnosti) a které části těla jsou nejčastěji poraněny. Analýzou lze rovněž, po zavedení nových bezpečnostních prvků, posoudit jejich účinnost a vhodnost.

Z dosavadních výsledků lze určit, že nejčastějším typem je čelní srážka dvou vozidel, dále srážky boční a zezadu. Graficky je tato statistika znázorněna na obrázku 2. Obdobně tak lze určit přední část vozidla za nejčastěji poškozovanou část při nehodě. Druhou nejvíce poškozovanou částí je bok vozu, konkrétně bok levý. Nejvíce častým zraněním při nehodách, s ohledem na závažnost, jsou poranění hlavy (polovina všech úrazů), poranění hrudi, krční páteře a břicha. Další částí, u které dochází často ke zraněním jsou dolní končetiny jejichž poranění však většinou přímo neohrožují cestujícího na životě.



Obrázek 2 – Četnost nehod dle směru nárazu [1]

Velmi důležitým kritériem srážky je nárazová rychlost, která zřetelně ovlivňuje následky dopravní nehody. U čelních nárazů bývá nárazová rychlost nejvyšší, ale také je zde vcelku velký prostor pro deformaci. Na rozdíl od srážek bočních, ke kterým dochází průměrně sice v nižších rychlostech, avšak zde není tolik deformovatelné struktury pohlcující energii nárazu, a tak jsou dopady takovýchto nehod také velmi vážné. Největší prostor k pohlcení energie je při zadním nárazu.

Dle rychlosti, při které k daným typům nehod dochází, se dají lépe navrhnout bezpečnostní opatření minimalizující jejich následky. [1]

2.3 Biomechanika

2.3.1 Termín biomechanika

Biomechanika je vědní obor, zkoumající odolnost lidského těla a jeho částí vůči namáhání silami na něho působícími a stanovující hraniční hodnoty těchto sil při nehodě. Tyto hodnoty tvoří hranici mezi přípustnými silami, které lidský organismus výrazněji nepoškodí a nepřípustnými, které jsou již na hranici se samotným přežitím. Z těchto hodnot se následně odvozují tzv. kritéria ochrany, jinak řečeno bezpečnostní limity. Tyto limity jsou využívány při biomechanických zkouškách, kde jsou s nimi porovnávány naměřené hodnoty na figurínách. Při těchto pokusech jsou zaznamenávány hodnoty na místech nejčastějších a nejvážnějších poranění, jako například hodnoty špičkových zrychlení a zpomalení, doba trvání zrychlení, působící síla či posun určitých bodů.

2.3.2 Biomechanická kritéria

Nejčastějším a nejkritičtějším důsledkem nárazu je poranění hlavy vyskytující se u 70 % dopravních nehod a je také nejčastější příčinou úmrtí. Pro limitní hodnotu bylo stanoveno výsledné zrychlení hlavy na 80 g. Toto zrychlení nesmí přesáhnout danou hodnotu na déle než 3 ms. Podobně limitní hodnotou jsou pro hlavu kritéria HPC (u bočního nárazu) a HIC (u čelního nárazu). Při nárazu nesmí být překročeno 1000 jednotek. Časové intervaly této hodnoty jsou 15 a 36 ms, dle druhu nárazu a faktu, zda došlo k nárazu hlavy na pevnou překážku. Dalšími velmi namáhanými částmi lidského těla jsou krk a také hrud'. U krku se posuzuje stříh, tah a zpětný moment hlavy. Za příklad si vezmeme hodnoty základního čelního nárazu dle EHK 94. Hraniční meze u stříhové a tahové síly jsou závislé na době namáhání. U zatížení tahem začínají na 3,3 kN po 0 ms a končí u 1,1 kN působícího po dobu větší než 60 ms. U stříhu je tomu obdobně, avšak zde je limitem síla 3,1 kN po dobu 0 ms a následný pokles síly s působícím časem je též trochu odlišný. Ohybový moment krku (kolem osy y) nesmí přesáhnout 57 Nm. U hrudníku jsou posuzována 2 kritéria, stlačení (ThCC), které nesmí být větší než 50 mm a kritérium viskozity (VC). To nesmí přesáhnout 1 m/s. Dalšími kritérii splnění zkoušky dle tohoto předpisu jsou hodnoty na dolních končetinách. U stehenní kosti nesmí hodnota po 0 ms překročit 9,07 kN a následně, při působení po 10 ms a více, hodnotu 7,58 kN. Síla ohybu holenní kosti nesmí být větší než 8 kN, index holenní kosti nesmí přesáhnout 1,3 a pohyb kolenního kloubu nesmí být naměřen o více než 15 mm.

Druhým základním nárazem je boční náraz. Homologační zkouška bočním nárazem se provádí dle předpisu EHK 95. U této zkoušky jsou podobná kritéria jako u čelního nárazu,

avšak jsou zde i určité rozdíly. Jedním z menších rozdílů je již zmíněné kritérium poranění hlavy HPC (také mez 1000) či kritérium hrudníku RDC, u kterého nesmí být překročeno 42 mm (VC se posuzuje také a je stejné). Místo zatížení krku a dolních končetin se u bočního nárazu posuzuje poranění pánve – síla na stydkou kost (PSPF), která nemůže přesáhnout hodnotu 6 kN a také poranění břicha silou (APF). Tato síla musí být menší než 2,5 kN. [1] [4]

2.4 Figuríny

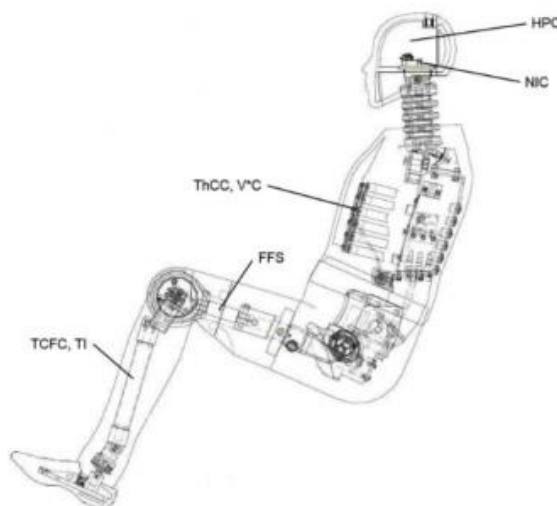
Figuríny nahrazují při biomechanických zkouškách lidská těla a slouží k naměření hodnot pro následné vyhodnocení porovnáním s kritérii hodnocení při daných zkouškách.

Nejčastěji využívanými figurínami při čelních nárazech jsou figuríny HYBRID III. A to především v těchto typech:

- HYBRID III 50 % - představuje mužské tělo výšky 175 cm a hmotnosti 77 kg
- HYBRID III 5 % - zastupuje tělo ženy 152 cm vysoké a vážící 50 kg

Další figurínou tohoto druhu je HYBRID III 95 %, která odpovídá muži vysokému 188 cm s váhou 100 kg. Při zkouškách jsou rovněž používány i dětské figuríny tohoto druhu. Ty mají nahrazovat tělo dítěte ve věku deseti, šesti či tří let, nebo devíti měsíců. [7]

Tento druh figurín (HYBRID III) je vybaven snímači v místech zakreslených v obrázku 3 níže.



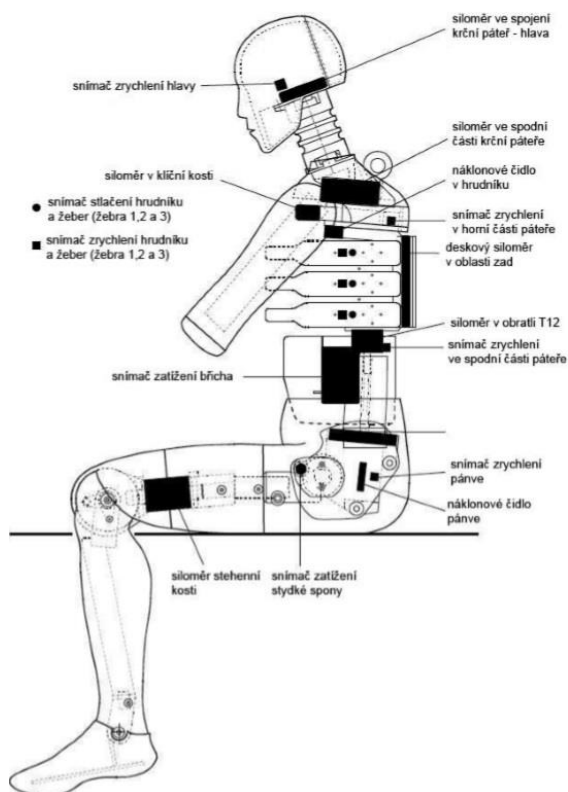
Obrázek 3 - Figurína HYBRID III [4]

Ve všech těchto bodech jsou umístěny snímače hodnocených kritérií. Co který snímač přesně zaznamenává a kde se nachází je uvedeno v tabulce 1.

Tabulka 1 – Umístění snímačů na figuríně HYBRID III [4]

Poloha snímače	Snímaná veličina
hlava	zrychlení
hlava	úhlové zrychlení
hlava	úhlová rychlost
rozhraní hlava-krk	síly a momenty
rozhraní krk-hrudník	síly a momenty
hrudník	zrychlení
hrudní páteř	síly a momenty
hrudní kost	zrychlení
páteř	zrychlení
hrudní kost	posunutí
bederní páteř	síly a momenty
pánev	zrychlení
přední horní třísko	zatížení
stehenní kost	síly a momenty
rozhraní koleno-holenní kost	posunutí
koleno	síla
horní část holenní kosti	síly a momenty
spodní část holenní kosti	síly a momenty
chodidlo	zrychlení

Při zkoušce bočním nárazem je v nejvíce případech využíváno figuríny s označením EuroSid2. Tato figurína představuje průměrného muže o hmotnosti 72 kg a snímače má umístěny následovně (viz. Obrázek 4). Dalšími figurínami využívanými při nárazových testech jsou například figuríny s označením Thor, WordSid nebo BioRid II. [4]



Obrázek 4 – Figurína EuroSid 2 [4]

2.5 EuroNCAP

2.5.1 Organizace EuroNCAP

EuroNCAP je mezinárodní organizací založenou roku 1996. Organizace provádí nárazové zkoušky s přísnějšími parametry, než jsou nastaveny pro homologační zkoušky dle předpisů EKH, na vybraných nově představených vozidlech a jejich výsledky následně analyzuje. Jedná se o spotřebitelské testy dle jejichž výsledků se může potenciální zákazník také rozhodnout o který vůz projeví nakonec zájem, což motivuje automobilky ke snaze dosáhnout co nejlepších výsledků. Hodnocení se provádí pomocí získávání hvězdiček doplněných o procentuální hodnocení každé z kategorií. Maximum je 5 hvězd, které lze obdržet při dosažení ideálních výsledků ve všech kategoriích. Automobily jsou v současnosti testovány zkouškami zaměřenými na čtyři hlavní pilíře bezpečnosti. Jedná se o ochranu dospělé posádky na předních sedadlech, ochranu dětských cestujících, ochranu snadno zranitelných účastníků provozu, jimiž jsou chodci a cyklisté, a poslední pilíř je zaměřen na elektronické bezpečnostní asistenty vozidel zamezující vzniku dopravní nehody či alespoň snižující rychlost nárazu.

2.5.2 Zkoušky prováděné organizací EuroNCAP v současnosti

2.5.2.1 Zkoušky čelním nárazem

- MPDB (Mobile Progressive Deformable Barrier)
 - Začleněna roku 2020 (nahrazení zkoušky ODB)
 - Zkoušený vůz je urychlen na rychlost 50 km/h \pm 1 km/h, při které dojde ke kolizi s vozíkem o hmotnosti 1400 kg s deformovatelnou bariérou na přídi urychleným na totožnou rychlost opačným směrem s překrytím čelních ploch 50 %
 - Vozík reprezentuje rodinný automobil střední velikosti
 - Figuríny Thor-50M vpředu, vzadu osazeno dětskými figurínami
 - Cílem testu je posouzení kompatibility a deformačních zón vozu
- FW (Full Width Rigid Barrier)
 - Zkoušeno od roku 2015
 - Vozidlo rychlostí 50 km/h \pm 1 km/h naráží do stojící pevné bariéry s plným překrytím přídě
 - Vůz osazen figurínou reprezentující ženu menšího vzrůstu na pozici řidiče a na krajním zadním sedadle
 - Hlavním cílem je test zádržných systému automobilu

2.5.2.2 Zkoušky bočním nárazem

- MD (Side Mobile Barrier)
 - Zavedeno roku 1997, roku 2015 přepracováno do nynější podoby
 - Zkušební vozík s deformovatelnou bariérou na přídi naráží pod pravým úhlem v rychlosti 50 km/h \pm 1 km/h do stojícího testovaného vozu čímž simuluje boční srážku dvou automobilů
 - Figurína průměrného muže umístěna na pozici řidiče a dvě dětské figuríny na zadních krajních sedadlech
 - Náraz prověřuje pevnost vozidla v oblasti B sloupku, pohltivost energie užitými materiály v sedačkách i výplních dveří a funkčnost bočních či hlavových airbagů (u kterých je kladen velký důraz na časování)
- PO (Side Pole)
 - Od roku 2001, roku 2015 rovněž upraveno
 - Vozidlo usazené pod úhlem 75° je na pohyblivé plošině urychleno na rychlost 32 km/h \pm 0.5 km/h, při níž bočně naráží do pevného kúlu o průměru 254 mm
 - Osazení pouze figurínou průměrného muže typu WordSid na místě řidiče

- Simulace nárazu do vybavení komunikace (sloupy různých využití) či stromu
- Zaměřeno na ochranu hlavy řidiče pomocí různých typů hlavového airbagu
- Far-Side Impact
 - Druhá z nejnovějších zkoušek zavedených v letošním roce 2020
 - Kompletní rám vozu je připevněn k pohyblivým saním, které simulují zrychlení probíhající při bočním nárazu (MD) a nárazu do kůlu (PO) do opačné strany, nežli je usazena figurína
 - Měřeno je vychýlení těla ze vzpřímené polohy v sedě, kde je dbáno především na síly a hodnoty přetížení v oblastech hlavy a krku, dále také hrudi či břicha

2.5.2.3 Zkouška zadním nárazem

- Whiplash
 - Uvedeno roku 2009
 - Zkoušky jsou prováděny se samostatným sedadlem z vozidla upevněným ke kolejnicovým saním, na kterém je usazena figurína určená pro nízko-rychlostní zadní náraz BioRid II
 - Sedadlo je zkoušeno nárazy při rychlostech 16 až 24 km/h simulujících typické situace, ve kterých dochází k poranění páteře
 - Snímače figuríny zaznamenávají hodnoty zpomalení, momentů na páteři apod.
 - Cílem je ověření správné opěry zad a hlavy bez poranění páteře

2.5.2.4 Zkoušky týkající se zranitelných účastníků provozu

- Náraz hlavy
 - Impaktor hlavy dospělého či dítěte simuluje srážku chodce při rychlosti 40 km/h
 - Výrazná zlepšení výsledků zaznamenávána především při vybavení vozidla aktivní kapotou (odskokem) či vnějším airbagem, který je rozvinut na hranu kapoty a čelního okna
- Náraz stehna a pánve
 - Zkoušky pomocí impaktoru stehna a pánve, simulace srážky při 40 km/h
 - Výhodné užití energii snadno pohlcujících materiálů a přizpůsobení křivek karoserie na přechodu kapoty a předního čela vozu (mřížky chladiče a předního nárazníku)
- Náraz holenní kosti a chodidla
 - Zkoušení impaktorem spodní části dolní končetiny, rychlost nárazu 40 km/h

- Zamezení vážných poranění holeně, kolene či vazů při použití energii snadno absorbujících materiálů a zaoblení křivek v oblasti mřížky chladiče a předního nárazníku
- Zkouška autonomního nouzového brždění (AEB) při detekci chodce (spadá též do aktivní bezpečnosti)
 - Zkoušeno více scénářů pohybu chodce i vozu. Například pohyb chodce kolmo k dráze vozu, vyběhnutí dítěte mezi zaparkovanými vozidly, pohyb chodce ve směru jízdy automobilu, pohyb chodce za vozem při couvání či přecházení komunikace, do které vozidlo odbočuje.
 - Zkoušky prováděny za denního světla, vybrané i za šera
- Zkouška autonomního nouzového brždění (AEB) při detekci cyklisty (spadá též do aktivní bezpečnosti)
 - Podobné jako detekce chodce, zde však vyšší rychlost pohybu zranitelného účastníka provozu, což má za následek kratší časový interval k reakci

2.5.2.5 Zkoušky elektronických bezpečnostních systémů (spadá též do aktivní bezpečnosti)

- Zkouška autonomního nouzového brždění (AEB) při detekci vozidla před sebou
 - Provádí se testy při třech různých situacích. Zkoušené vozidlo musí detekovat a zareagovat na: a) stojící vozidlo před sebou; b) zpomalující vozidlo před sebou; c) vozidlo jedoucí malou rychlostí
 - Při těchto testech se také zkouší různá překrytí vozidla a makety vozu
 - Požadovaným výstupem je varování řidiče s dostatečnou rezervou pro jeho reakci, autonomní výhybný manévr či zastavení nebo alespoň snížení rychlosti nárazu čímž, dojde ke snížení následků nehody, které již nebylo možno zabránit
- Monitorování cestujících
 - Detekce cestujícího bez zapnutého bezpečnostního pásu
 - Monitorování fyzického stavu řidiče: zda se soustředí na jízdu, detekce únavy apod.
- Asistent dodržování povolené rychlosti
 - Informování o dovolené rychlosti
 - Upozornění řidiče, že překračuje povolenou rychlost
 - Aktivní ovlivňování rychlosti vozidla (například pomocí adaptivního tempomatu)

- Asistent hlídání jízdních pruhů
 - Samovolné udržování vozu mezi vodorovným dopravním značením (VDZ) a varování řidiče o vybočení
 - Funkčnost testována s různými typy VDZ (plná čára, přerušovaná čára) i ve směrovém oblouku
 - Zisk bodů i za vybavenost vozidla asistentem hlídání mrtvého úhlu

2.5.2.6 Ustanovení týkající se dětské posádky, za které je vozidlo také hodnoceno

- Ochrana při čelních a bočních nárazech
 - Zkoušeno při testech bezpečnosti dospělé posádky osazením dětských figurín nahrazujících dítě ve věku 6 let v autosedačce a 10 let na podsedačku
- Snadné a správné uchycení dětských zádržných systémů různých typů
- Vybavenost vozidla systémem Izofix, podpora i-Size, možnost snadné deaktivace airbagu u spolujezdce vpředu apod.

2.5.2.7 Hodnocení ponehodové bezpečnosti vozidla

- Urychlení příjezdu složek IZS a usnadnění vyproštění
 - Vybavenost vozidla systémem eCall, jeho funkčnost a podrobnost
 - Odblokování dveří po nehodě
 - Síly potřebné k otevření dveří
 - Síly potřebné k uvolnění bezpečnostních pásů

2.5.3 Čelní zkouška ODB

Tato zkouška se v současnosti již neprovádí. Testování čelního nárazu do předsazené deformovatelné bariéry je od poslední modernizace zkoušek EuroNCAP (roku 2020) prováděno zkouškou MPDB. Z důvodu, že ke změně došlo v letošním roce, se v této práci se zkouškou ODB pracuje. Vozidla v práci zmíněná totiž nebyla zkoušena po tomto přepracování.

Informace o zkoušce ODB (Offset Deformable Barrier)

- Začleněna při založení organizace, upravena roku 2015, nahrazena v roce 2020
- Čelní srážka v rychlosti 64 km/h \pm 1 km/h s částečně deformovatelnou bariérou
- Bariéra překrývá 40 % čela vozu na straně řidiče

- Vozidlo je osazeno na pozicích řidiče a spolujezdce figurínami HYBRID III 50 % nahrazujícími průměrného muže, na zadních krajních sedadlech jsou umístěny figuríny stejného druhu imitující dětské cestující ve věku 6 a 10 let
- Cíle testu jsou především deformace struktury vozu a biomechanické hodnoty na všech figurínách [9]

3. Legislativa, zajištění ochrany

3.1 Kompatibilita vozidla

Ochrana cestujících je zajištěna vnitřní a vnější kompatibilitou vozu. Jako vnitřní kompatibilitu lze uvést např. sladění zádržných systémů pro dodržení mezních biomechanických hodnot, zachování prostoru pro cestující v neporušeném stavu, bezpečné uchycení bezpečnostních pásů či vytvoření ideálního vnitřního prostoru se zaoblenými hranami především v oblastech rizika kontaktu cestujícího s interiérem vozu (při nehodě). K vnější kompatibilitě patří prosté zachování prostoru pro přežití rozložením deformačních sil na všechny účastníky nehody. Jako ideální, co se týče vnější kompatibility, by se při nehodě dala označit skutečnost, když by všichni účastníci nehody vstřebali energii dle své velikosti a hmotnosti, čímž by nedošlo k nadměrnému poškození (poranění) některého z účastníků, ale všech rovnoměrně dle jejich dispozic. Takto to však v reálném světě vždy není. Nejméně kompatibilními jsou ze silničních vozidel především nákladní automobily.

Zajištění vnitřní a vnější kompatibility vozidel tedy napomáhá, aby byla poranění všech účastníků silniční dopravy v případě nehody co nejmenší a naděje na přežití tak vysoká.

3.2 Zákoné požadavky na pasivní bezpečnost

Z hlediska zákonodárství jsou požadavky na pasivní bezpečnost stanoveny v ČR Zákonem č.38/1995 Sb. a vyhláškou „O technických podmínkách provozu silničních vozidel na pozemních komunikacích“ a vyhláškou č.102/1995 Sb. „O schvalování technické způsobilosti a technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích“ a homologačními předpisy Evropské hospodářské komise OSN (EHK, anglicky ECE). [1]

Dle těchto předpisů jsou homologovány všechny vozy, části vozidel či prvky, které lze na vozidla montovat. Splnění homologačních kritérií je testováno v k tomu určených autorizovaných zkušebnách, kde při splnění požadavků následně dochází k udělení evropské

homologační značky. Tímto je vozidlo schváleno do evropského provozu a může být v EU s homologací prodáváno a provozováno.

V Evropské unii dále platí směrnice Evropského společenství (ES), do roku 1993 vedeného pod názvem Evropské hospodářské společenství (EHS). Podstatné jsou také normy a předpisy platné v USA (FMVSS), které byly předlohou při vzniku některých předpisů EHK. [1]

3.2.1 Popis homologační značky

Číslice v kruhu označuje pořadové číslo země; dvojčíslí před R značí číslo homologačního předpisu; první dvě číslice za R identifikují konkrétní schválení a zbývající číslice udávají číslo homologačního protokolu. [1] Pro bližší představu ukázka homologační značky na obrázku 5. Velikost značky (hodnota a) je stanovena na minimálně 8 mm. [1]



Obrázek 5 - Homologační znak EHK [6]

3.2.2 Předpisy EHK k zajištění ochrany pro osobní automobily

V tabulce 2 jsou uvedeny všechny předpisy EHK týkající se pasivní bezpečnosti osobních vozidel. Zkrácený výtah z každého zde zmíněného předpisu je následně uveden pod tabulkou.

Tabulka 2 - Předpisy EHK týkající se pasivní bezpečnosti osobních automobilů [1] [2] [5]

Oblast (kterou se předpis zabývá)	Předpis EKH	Směrnice ES/EHS	Norma FMVSS
Zámky a závěsy dveří	11	70/387	206
Náraz na sloupek řízení	12	74/297	203, 204
Úchyty bezpečnostních pásů	14	76/115	210
Bezpečnostní pásy pro dospělého posádku	16	77/541	208/209
Sedadla a jejich uchycení	17	74/408	207
Výčnělky interiéru	21	74/60, 78/632	201
Opěrky hlavy	25	78/932	202

Náraz zezadu	32		301
Náraz zepředu	33		208, 301
Ochrana proti požáru	34		301
Nárazníky	42		
Bezpečnostní skla a zasklívací materiály	43	92/22	205, 212
Zádržné systémy pro dětskou posádku	44		213
Ochrana cestujících při čelním nárazu	94	96/79	208
Ochrana cestujících při bočním nárazu	95	96/27	214, 301
Ochrana chodců při střetu s vozidlem	127		
Vyspělé zádržné systémy pro dětskou posádku	129		225, 588
Boční náraz na sloup	135		214
Čelní náraz se zaměřením na zádržné systémy	137		
Systém tíšňového volání	144		
Isofix	145		225

EKH 11 – předpis stanovující podmínky odolnosti zámků a závěsů dveří. Stanovuje, jaké zatížení v příčném a podélném směru musí zámkové a závěsné prvky dveří snést ve dvou polohách dovřených. Zámek se kontroluje jak při uzavřených, tak při ne zcela dovřených dveřích. Odolnost se zkouší silou 11,1 kN v podélném směru a 8,9 kN ve směru příčném při zcela zavřených dveřích. Při polouzavřených musí mechanismus snést sílu 4,5 kN v obou zmíněných směrech. Zkouška je dále doplněna výpočtem odolnosti zámků proti samovolnému otevření při zrychlení 30 g.

Předpis **EHK 12** zabývající se požadavky na bezpečné řízení určuje, jak se má chovat řídicí ústrojí automobilu vystavené působení silám vzniklým čelním nárazem vozu, které by mohly způsobit nežádoucí zpětný pohyb ústrojí do kabiny, a také silám setrvačným od těla řidiče při nárazu na volant. První kritérium se ověřuje bariérovou zkouškou, při níž vozidlo o pohotovostní hmotnosti narazí rychlostí 48,3 km/h na betonovou bariéru. Zde se posuzuje pohyb horního konce sloupku řízení po vodorovné ose proti řidiči. Tato hodnota nesmí přesáhnout 127 mm. Zkouška druhého kritéria se provádí nárazem torza. Zde je vrženo torzo řidiče na volant rychlostí 24,1 km/h a síla na torzo nesmí překročit 11,1 kN.

EHK 14 je předpis stanovující kontrolní postupy pro ukotvení bezpečnostních pásů. Je v něm uvedeno správné umístění kotevních míst bezpečnostních pásů i podrobný popis testů jejich odolnosti vůči vytržení apod. Tažná síla při testu musí působit pod stanoveným úhlem 10°

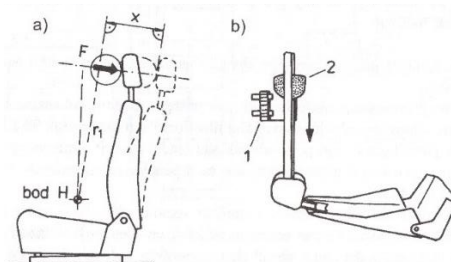
(± 5) vůči vodorovné rovině, síla musí být dosažena v co nejkratším čase a ukotvení musí této síle odolat nejméně po dobu 0,2 s. Kotevní místa stejné skupiny sedadel se zkouší současně. Tříbodový pás (s dvěma kotevními místy v podlaze a jedním bočním) se zatěžuje silou $13,5 \pm 0,2$ kN na každou větev.

EHK 16 – homologační předpis bezpečnostních pásů pro dospělou posádku. Dle něho se kontrolují všechny části pásu. Tuhé části musí odolat statickému namáhání v tahu a musí být spolehlivé a odolné vůči atmosférickým vlivům. Popruhy musí vyhovět také při zkouškách v tahu, dále také odolávat světlu, změnám teplot i účinkům vody. Celé souprava pásu se také podrobuje dynamické zkoušce. Při této zkoušce je upoutána figurína k sedačce, která je nárazem zastavena z rychlosti 50 km/h při brzdě dráze 400 ± 50 mm.

Předpis **EHK 17** se týká sedadel, jejich pevnosti a upevnění. Různé dynamické zkoušky dle tohoto předpisu mají prověřit například pevnost kostry sedadla, mechanismus seřizování sedadla apod. Zkoušky jsou rovněž ještě doplněny výpočtem pro kontrolu seřizovacího a blokovacího zařízení sedadla.

EHK 21 definuje dovolené výčnělky interiéru vozu především v tzv. referenční oblasti nárazu hlavy. Do této oblasti patří všechny nezasklené plochy interiéru, s kterými by mohlo dojít ke kontaktu hlavy (při testu kulové makety o průměru 165 mm) po nárazu. Všechny prvky interiéru musí být při působení síly 378 N zatlačeny nebo odděleny a nesmí mít žádné nebezpečné hrany či výčnělky. Dle předpisu je kontrolována i míra pohlcení energie v oblastech nebezpečí nárazu hlavy.

Předpis **EHK 25** stanovuje pevnostní a geometrické podmínky opěrek hlavy a současně úzce souvisí se zkouškou sedadel. Vztahuje se jak na opěrky odnímatelné, tak na trvalé. Kontrola se zaměřuje především na rozměry a umístění opěrky vůči bodu H. Testují se statickou zkouškou (obrázek 6 a), při níž působí přes kulovou hlavici na opěrku moment 374 Nm k bodu H (deformace při tomto zatížení nesmí být větší než 102 mm) a síla se zvětšuje až na hodnotu 885 N kdy nesmí dojít k poškození opěrky. Dále se testují nárazovou zkouškou kulové hlavice či kyvadla na opěrku (obrázek 6 b) rychlostí 24,1 km/h a zaznamenává se průběh zpoždění předmětu, které nesmí překročit 80 g po 3 ms.



Obrázek 6 - Zkoušky dle předpisu EHK 25 [1]

EHK 32 je předpisem zabývajícím se nárazem jiného pohybujícího se objektu (vozidla) zezadu. Při zkoušce je nárazový vozík o předepsané hmotnosti 1100 (\pm 20 kg) rychlostí 35 až 38 km/h nasměrován do zkoušeného vozu, přičemž nesmí dojít k posunu referenčního bodu zadních sedadel vůči nedeformovanému bodu karoserie většímu než 75 mm. Během zkoušky nesmí dojít k samovolnému otevření dveří, avšak po nárazu musí být umožněno jejich otevření bez použití nástrojů (tak, aby mohla posádka včas opustit vozidlo).

Předpis **EHK 33** se zaměřuje na chování nosné konstrukce (prostoru pro cestující) po čelním nárazu. Po nárazu nezátíženého vozu v rychlosti 48,3 km/h musí být dodrženy konkrétní vzdálenosti mezi určenými body karoserie, R bodem či prvky interiéru (například pedály). Například prostor mezi R-body předních sedadel a střechou se může snížit maximálně o 10 %. Žádná tuhá část vozu nesmí po zkoušce představovat riziko vážného poranění. Stejně jako u EHK 32 (zmněného výše) nesmí dojít k otevření dveří při zkoušce a musí jít po zkoušce otevřít bez použití nástrojů.

EHK 34 - předpis, jehož hlavním požadavkem je nulový či nepatrný únik kapaliny z palivové soustavy po stanoveném čelním nárazu. Při trvalém úniku kapaliny ze systému nesmí být přesaženo 30 g/min a nesmí dojít ke vznícení. Dále jsou v předpise uvedena specifika pro palivovou soustavu, samotnou nádrž či elektroinstalaci vozu.

EHK 42 se zabývá homologací předních a zadních ochranných zařízení vozidel, tedy nárazníků apod. a jejich chováním při nárazech v nízkých rychlostech.

Hlavním objektem předpisu **EHK 43** jsou skla vozu. Zde jsou dány podmínky pro zkoušky žáruvzdornosti skel, jejich mechanické pevnosti, třštivosti, optických vlastností či odolnosti vůči prostředí.

EHK 44 stanovuje zásady montáže zádržných systémů dětské posádky. Zkouší se dle něho také účinky zádržných systémů na dětský organismus dynamickými zkouškami, při nichž se používají figuríny ve věku 9 měsíců, 3, 6 a 10 let.

Předpis **EHK 94** určuje podmínky homologace vozu z hlediska ochrany posádky při čelním nárazu. Je zde detailně popsána metodika zkoušky čelním nárazem. V rychlosti 56 (+0/-1) km/h naráží vozidlo na 40 % předsazenou částečně deformovatelnou bariéru (o min. hmotnosti 70 t) a je zde sledována převážně biomechanika přední posádky (figuríny HYBRID III).

EHK 95 je předpis obsahující homologační ustanovení týkající se ochrany cestujících při bočním nárazu. Zkouška se provádí nárazem pohyblivé bariéry (vozíku o hmotnosti 950 \pm 20 kg, rozchodu 1500 \pm 10 mm a rozvoru 3000 \pm 10 mm) do boku testovaného automobilu. Rychlost bariéry v okamžiku nárazu je stanovena na 50 \pm 1 km/h a při zkoušce je sledována biomechanika posádky pomocí figuríny EuroSid. [1]

EHK 127 se zabývá ochranou chodců při střetu s vozidlem. Zkoušky se provádí nárazem „hlavy“ do místa dopadu při srážce (hrana kapoty a spodní část čelního okna – záleží na typu vozu) a také nárazem „stehna“ na před voz, která by měla být navržena tak, aby absorbovala co nejvíce z energie nárazu a nedošlo k masivnímu poranění spodní části těla chodce.

EHK 129 je předpisem zabývajícím se schvalováním zdokonalených dětských zádržných systémů jako je například Isofix, i-Size apod.

Předpis **EHK 135** obsahuje ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska jejich vlastností při bočním nárazu na sloup. Určuje, jakou rychlostí a pod jakým úhlem musí vozidlo při zkoušce do sloupu narazit a také povolené deformace vozu. Při testu využíváno figurín WordSide.

EHK 137 – schvalování vozidel z hlediska ochrany při čelním nárazu se zaměřením na zádržné systémy a jejich působení na posádku (biomechaniku) pro vozidla do 3,5 tuny.

EHK 144 je předpisem zabývajícím se systémy tísňového volání (eCall). Tento systém je schopen po nehodě automaticky zaslat na tísňovou linku informace o vzniklé dopravní nehodě (např. přesné souřadnice polohy vozu, počet cestujících ve vozidle apod.) a tím přivolat pomoc. V případě, že toho důsledkem nehody není posádka vozu schopna, jí tak může zachránit život.

EHK 145 doplňuje předpis EHK 129 ohledně systému Isofix. Podrobněji se zabývá kotevními systémy Isofix, horními kotevními úchyty tohoto systému a polohou sezení i-Size. [2]

4. Specifika elektromobilů

4.1 Homologační předpisy týkající se výhradně elektromobilů

EHK OSN č. 100 - dalším z předpisů EHK. Je soustředěn na elektromobily, konkrétně jsou zde uvedeny specifické požadavky na konstrukci a funkční bezpečnost.

Dle tohoto předpisu se u elektromobilu při jeho homologaci prověřují následující kritéria:

- Elektrická pevnost
- Izolační stav
- Ochrana před dotykem živých částí (částí pod proudem)
- Nabíjecí a vybíjecí vlastnost baterie
- Použitý akumulátor z hlediska dalšího využití či likvidace

Tyto zkoušky se provádí u elektromobilu v dobrém mechanickém stavu po nájezdu minimálně 300 km v posledních sedmi dnech. V tomto období musí být vůz vybaven trakční baterií, která

je též předmětem testu v otázce emisí vodíku. Metodika veškerých těchto zkoušek je podrobně popsána právě v EHK 100.

Dále je třeba ověřit ovlivňování elektromagnetického záření vozu okolím a naopak. V elektromobilech totiž vzniká silné elektromagnetické rušení. Vozy obsahují mnoho citlivých elektrických zařízení, jejichž funkce může být rušena i slabým vyzařováním, a tak musí tomuto rušení z okolí odolávat. Také samotné vozy nesmí být zdrojem rušení tak vysoké intenzity, aby nedocházelo jejich provozem k ovlivňování elektrických zařízení v okolí. Tyto problémy se nazývají Elektromagnetická kompatibilita, kterou se důkladně zabývá **předpis EHK 10**. Zde je kupříkladu stanovena míra maximálního povoleného vyzařování vozidla (a jeho součástí) či jsou zde uvedeny parametry vnějšího elektromagnetického pole, ve kterém je vozidlo schopno pracovat. [3]

4.2 Problematika elektromobility

4.2.1 Problematika tichého provozu

Problémem, který se přímo týká bezpečnosti provozu elektromobilů, je bezpečnost ostatních účastníků silničního provozu, především pak zranitelných účastníků z následujícího důvodu. Elektromobily při nízkých rychlostech neprodukují stejné emise hluku jako spalovací automobily, což přináší problém při orientaci v prostoru komunikace pomocí sluchových vjemů. A to jak pro celou populaci, tak především pro osoby zrakově postižené. Při pohybu je sluch pro tyto účastníky provozu velice důležitým smyslem a detekce takového vozu je pro ně mnohem náročnější.

Přílišnou tichostí elektromobilů se zabývali úředníci například v USA, kde vznikla legislativa stanovující minimální úroveň hluku elektromobilu při rychlostech pod 30 km/h. Obdobně je tomu kupříkladu i v Japonsku, kde je spodní hranice hluku vydávaného elektrickým vozidlem také legislativně ustanovena. V Evropě je stanoveno, že vozidla musí být vybavena zařízením vydávajícím kontinuální zvuk (hlasitosti srovnatelné s hlukem při průjezdu vozidla se spalovacím motorem srovnatelné kategorie) upozorňující chodce o jejich přítomnosti. Toto ustanovení se týká, jak jízdy vpřed rychlostí do 20 km/h, tak couvání. Při vyšších rychlostech pak emise hluku tvoří odvalující se pneumatiky, aerodynamický hluk a podobně, což zajišťuje jejich stejnou postřehnutelnost jako u vozidel se spalovacím agregátem. [3] [14]

4.2.2 Bezpečnost elektromobilů v otázce vznícení, společnost DEKRA

Dekra je organizací mající mezinárodní síť homologačních zkušeben jak pasivní bezpečnosti, tak emisí apod. Má svou certifikovanou zkušebnu pasivní bezpečnosti vozidel rovněž i v České republice, konkrétně v Klíčanech. Ve vlastních zkušebnách po celém světě provádí zkoušky jak dle mezinárodních předpisů EHK, tak i dle ustanovení platných pouze v konkrétních zemích. Z oboru pasivní bezpečnosti dále provádí například rekonstrukce dopravních nehod k objasnění možné příčiny vzniku nehody. [10] [11]

Proč však zmiňuji tuto organizaci. Nejčastější otázkou široké veřejnosti ohledně bezpečnosti elektromobilů je zajisté otázka vznícení a následného požáru vozu. A právě s tím úzce souvisí test, který v minulém roce (2019) provedla německá Dekra. Šlo o zkoušky čelním a bočním nárazem do sloupu za mnohem vyšší rychlosti, než ve které provádí obdobné testy organizace EuroNCAP. Srážky se sloupem simulovaly srážky se stromem v rychlostech běžně dosahovaných v extravilánu. Čelní srážka byla konkrétně provedena při rychlosti 84 km/h a srážka boční při 75 km/h.

Zkušebním vozem pro tyto dvě zkoušky byl vybrán elektrický model automobilky Nissan, Leaf. Tento model obdržel roku 2012, kdy byl uveden na trh, při testech EuroNCAP velmi solidní hodnocení 89 % za ochranu dospělé a 83 % za ochranu dětské posádky.

Při bočním nárazu bylo vozidlo nasměrováno na sloup oblastí svého levého B sloupku. Při nárazu došlo k masivní deformaci střechy, prohnutí celého vozu kolem sloupu a například čelní světlomet byl vymrštěn do vzdálenosti desítek metrů. Po zkoušce bylo patrné, že sloup pronikl takřka do poloviny vozu, a i přes fakt, že masivně zdeformoval baterii uloženou v podlaze (viz. Obrázek 7) nedošlo k požáru a dle odborníků z Dekry bylo poškození vozidla srovnatelné s poškozením, které by utrpělo při shodném testu vozidlo se spalovacím agregátem.



Obrázek 7 – Pohled na zdeformovanou baterii vozu po zkoušce [12]

Z druhého testu, tedy zkoušky čelním nárazem za ještě vyšší rychlosti jsou výsledky obdobné. Zde byl vůz nasměrován na sloup čelně s drobnou výchytkou směrem k řidiči. Při nárazu došlo k samovolnému odtržení několika částí vozu jako světlomety či levé přední kolo, avšak i přes toto poškození byl přívod elektrické energie včas automaticky přerušen a vůz se nevznítl. Celkovým závěrem odborníků z této organizace po provedených zkouškách je, že vozidla s elektrickým pohonem dosahují nejméně srovnatelných výsledků jako vozidla se spalovacími motory a riziko vznícení u nich není nikterak větší. [12] [13]

K tomuto názoru se přidávají i odborníci z organizace ADAC. Ti přiznávají, že nadměrná deformace baterie může vyvolat její vznícení, avšak dodávají, že výrobci elektromobilů přikládají ochraně samotných článků baterie velmi velkou váhu. A to jak celkovou konstrukcí vozu, tak speciálním obalem článků. S pomocí hasičských sborů a jejich testů také přišli s faktem, že intenzita hoření a vzniklý žár nezávisí na typu pohonu, nýbrž především na materiálu užitém ve vozidle. Používání stále více plastů (v porovnání s minulostí) má při požáru vozu za následek větší kouřivost a vyšší teploty hoření. [15]

4.2.3 Hašení vozidel s elektrickým pohonem

S požárem přímo souvisí i jeho hašení. Dle ADAC při vznícení článků baterie dochází k vydatnému hoření, ne však vydatnějším než při požáru spalovacího vozu s roztrženou nádrží. V obou případech totiž dochází k rychlému uvolnění množství energie, která měla pohánět vozidlo na velkou vzdálenost. Jsou zde však citelné rozdíly v postupech. Z tohoto důvodu byly pro hašení elektromobilů hasičské sbory odborně proškoleny a používají se jiné metody než u požárů spalovacích vozidel. Namísto použití hasící pěny, která odebírá kyslík potřebný k hoření, je z důvodu nutnosti ochlazení baterie jednou z možností také použití vody. Konkrétně jde o speciální vodní paprsek, který neproudí kontinuálně. Je fázován na „jednotlivé kapky“ aby nedošlo k přenesení napětí z hořícího vozu na záchranné složky. Při nárazových zkouškách musí být v blízkosti zkušebny, právě z důvodu možného vznícení baterií, zřízena vodní lázeň, kam by bylo případně vozidlo ponořeno, dokud by nedošlo k zastavení hoření. [16]

4.3 Specifická řešení týkající se bezpečnosti

Kromě zamezení vznícení elektromobilu zmíněného v odstavci 4.2.2 výše existují i další specifika tohoto pohonu související s bezpečností. Těmi jsou především baterie, jejich konstrukce a umístění, a dále také vysokonapěťová kabeláž vozu a její automatické odpojení v případě nehody.

4.3.1 Baterie a jejich konstrukce

Akumulátory se skládají především z kladné a záporné elektrody, elektrolytu se separátory a obalem baterie s vývody elektrod. Typem používaným v elektromobilech jsou trakční baterie. Těch existuje několik typů dle tabulky 3. [17]

Tabulka 3 – Typy akumulátorů a jejich parametry [17]

Typ akumulátoru	Značení	Klady	Zápory
Olověný	Pb	Nižší cena	Pokles kapacity při nízkých teplotách, nízká měrná energie a výkon, toxicita atd.
Nikl-kadmiový	NiCd	Bezúdržbový, plně recyklovatelný, dlouhá životnost atd.	Rychlé samovybití, postupně ztrácí svou maximální kapacitu, toxicita kadmia
Nikl-metal hydridový	NiMH	Ekologičnost, vysoká kapacita, stejné napětí po celou dobu vybití	Vyšší cena, citlivost, nižší životnost
Lithium-iontový	Li-ion	Vysoká energická hustota, vynikající poměr energie ku hmotnosti	Vysoká cena, rychlé stárnutí při vyšších teplotách, nebezpečí exploze při nevhodné manipulaci
Lithium-železo fosfátový	LiFePO ₄	Schopnost dodat vysoký proud, teplotní stabilita, vysoký výkon a kapacita	Nižší napětí a hustota energie

Například baterie pro elektrické vozy firmy Škoda Auto jsou složeny z bateriových článků tvořících bateriový modul. Ten je uložen v tzv. bateriové vaně, která ho společně s víkem chrání před poškozením během provozu i při případné dopravní nehodě. Jedná se o velice pevné díly voděodolně spojené šroubovými spoji. Kompletní celek zobrazen na obrázku 8. [18]



Obrázek 8 – Uložení baterií vozidel firmy Škoda Auto

Obdobně je tomu tak i u ostatních výrobců. Vždy se jedná o články spojené do tzv. battery packů uložených v ochranném pouzdře. Počet článků (a tedy i celková velikost a tvar) je dán potřebnými parametry.

4.3.2 Kabeláž

S baterií je úzce spjata i veškerá vysokonapěťová kabeláž vozu, která energii rozvádí. Ta je po celé délce vícenásobně izolována. Celá elektrická soustava je navíc izolována i jak od karoserie, tak od země a její poškození je hlídáno vícero pojistkami. Ochrana od přímého dotyku částí pod proudem je testována dle předpisu EHK 100 (viz. odstavec 4.1). [22]

4.3.3 Automatické odpojení napájení

Obdobně jako u moderních osobních vozidel s konvenčními spalovacími agregáty dochází při nehodě i u elektromobilů k automatickému odpojení přívodu „paliva“. Vozidla jsou osazena snímači, jenž v případě detekce nehody okamžitě vyšlou získanou informaci do řídicí jednotky, která na tento fakt reaguje příkazem zastavení napájení všech vysokonapěťových komponentů vozidla baterií elektromobilu. V tento okamžik tak dojde k přerušení proudění vysokého napětí vozidlem a je zabráněno požáru (způsobeného elektrickým pohonem vozu) či nebezpečí poranění účastníků nehody a záchranných složek elektrickým proudem. Záchranné složky jsou navíc pro zásah u nehody elektromobilu odborně vyškolené.

4.4 Rozdíly v konstrukci

4.4.1 Umístění motoru

Konstrukci automobilu samozřejmě ovlivňuje to, jakým pohonem je vybaven. V začátcích elektromobility docházelo především k pouhé záměně hnacího agregátu a přilehlých komponentů, nyní však již většina předních automobilek pro své čistě elektrické modely volí cestu návrhu nové platformy s cílem jejího použití pouze v kombinaci s elektromotorem. Jsou zde tedy dva hlavní směry týkající se polohy motoru ve vozidle. Automobilky jako Tesla či koncern VW volí při pohánění jednoho páru kol automobilu výhodnější umístění motoru nad zadní nápravou s pohonem právě této nápravy. V případě pohonu 4x4 osazují svá vozidla dvěma motory, každý nad jednu nápravu. Opakem jsou firmy Peugeot a Hyundai, které stále

používají společnou platformu pro elektrické i spalovací vozy, a tak jsou jejich elektromotory umístovány nad přední nápravu, kterou rovněž pohánějí.

4.4.2 Komponenty vozu

Na rozdíl od automobilu se spalovacím motorem, elektromobil nevyžaduje výbavu velkým množstvím součástek. Příčinou tohoto faktu je, že oba pohony jsou velmi odlišné. Elektromobil například při jízdě netvoří žádné výfukové plyny, proto není vybaven výfukovým potrubím. Nemá pro svůj chod potřebu nasávat vzduch, takže zde není žádné sání, vzduchové filtry ani jiné s tím spojené komponenty. Přenos síly z motoru na kola je rovněž odlišný. U elektromobilu není třeba spojky, velké převodovky či dlouhých hnacích hřídelí, většina z nich je totiž vybavena pouze jedním stálým převodem a motor je umístěn poblíž hnané nápravy. Namísto palivové nádrže s potrubím je vůz s elektropohonem osazen baterií a lze říci, že primární chlazení je přesunuto od motoru k baterii. Tu je totiž u elektromobilů třeba chladit více než motor, a tak zde musí být zkonstruován účinný chladicí systém odvádějící teplo od provozem zahřívajících se baterií.

4.4.3 Umístění baterie

Ve voze s konvenčním spalovacím motorem je právě motor částí, které se musí zbytek vozu přizpůsobit. U elektromobilu tomu tak není, zde je motor vcelku kompaktní a prvkem, který z velké části ovlivňuje stavbu vozu jsou baterie. Ty jsou nejčastěji umístěny v podlaze vozu, co nejnižší nad vozovku. Takto konstruované vozy mají nízko těžiště, čímž je tak alespoň částečně kompenzována vysoká hmotnost akumulátorů. Přizpůsobivost tvaru baterie vozu závisí na užitém typu. U lithium-iontových baterií, tedy v současné době nejpoužívanějšího typu, lze celkový tvar vcelku jednoduše ovlivnit různou skladbou článků. Tím lze výrazně pomoci při návrhu konstrukce vozu. [17] [22] [23]

4.4.4 Vytápění

Tím, že se liší způsob pohonu vozu, je odlišný i způsob vytápění jeho kabiny.

Existují 3 typy vytápění:

- Závislý systém vytápění – využívá odpadní teplo z motoru a invertoru, lze tedy vytápět pouze s motorem v chodu

- Nezávislý systém vytápění – tepelná čerpadla, spotřebovávají pro svůj chod palivo vozu
- Příkladné nezávislé topení – použití především v zimních obdobích, také spotřeba paliva pro samostatný chod

Elektromobily pro výhřev kabiny nejčastěji používají tepelné čerpadlo s širokým rozsahem teplot. Tyto čerpadla mají schopnost rekuperace energie čímž oproti standardnímu systému vytápění ušetří průměrně až 50 km dojezdu. [23]

4.5 Údržba

Na rozdíl od spalovacího motoru, je elektromotor vcelku jednoduchým strojem. Není zde potřeba pravidelná výměna oleje kvůli mazání, rozvodového řemene, již zmíněných vzduchových filtrů a mnoho dalšího. Celkově je údržba elektromobilu velmi snadná. Až na dobíjení baterie není moc o co se u něho starat. Dalším pozitivem je, že jsou díky rekuperaci méně opotřebované části brzdové soustavy jako brzdové kotouče a destičky.

Negativním aspektem jsou tak pouze časem opotřebovávající se baterie čímž se snižuje jejich maximální kapacita. Vliv na rychlost úbytku kapacity má jak styl jízdy či klima regionu v němž je vůz provozován, tak i četnost a druh jeho dobíjení. Většina automobilek garantuje zákazníkům úbytek maximálně 25 % kapacity baterie po ujetí 160000 km nebo uplynutí osmi let. Cena výměny či repasování opotřebované baterie zatím není přesně známa. Hodně se bude odvíjet v závislosti na nabídkách konkrétních výrobců a aktuálních cenách lithiových článků. [22]

5. Pasivní bezpečnost vozu Mercedes-Benz EQC

Pro studium řešení PB jsem vybral pětidvéřové SUV automobilky Mercedes-Benz zobrazené na obrázku 9, jedná se o model EQC 400 AMG Line představený roku 2019. Dle kategorizace EuroNCAP se jedná o vůz kategorie malý offroad s pohotovostní hmotností 2495 kg.



Obrázek 9 – Mercedes-Benz EQC [21]

5.1 Prvky ochrany Mercedes-Benz

5.1.1 Vývoj prvků určených pro elektromobily Mercedes-Benz

Tato společnost velmi dbá na bezpečnost svých zákazníků, proto s příchodem elektrického pohonu zařadila do svých prototypových testů i mnoho zkoušek zaměřujících se na specifika těchto vozidel. Bezpečnost vozidel této značky je nyní zkoušena v nejmodernějším crash-centru světa, kde dochází k testům automobilů s velkými akumulátory (jako je EQC) v náročných podmínkách. Firma Mercedes-Benz díky tomu zavedla několik opatření, zlepšujících pasivní bezpečnost jejich elektromobilů. Těmito prvky je vybaven i model EQC.

Jedná se například o:

- pomocný ochranný rám kolem komponentů hnacího ústrojí
- speciálně vyvinutý ochranný rám s integrovanou nárazovou strukturou kolem akumulátorů, kde je dále prostor mezi ním a akumulátory vyplněn elastickou hmotou absorbující část energie směřující na baterii při bočním nárazu
- ochranný štít umístěný z přední strany baterie zabraňující průniku cizího tělesa do bateriového svazku při případném nárazu

Dále jsou samozřejmě elektricky poháněná vozidla Mercedes-Benz vybavena automatickým přerušením toku vysokého napětí při detekci nárazu a baterie jsou též neprodyšně uzavřeny v ochranném obalu. Tyto obecné prvky bezpečnosti vozidel s elektrickým pohonem jsou podrobněji popsány v odstavci 4.3 výše. [19]

5.1.2 Bezpečnostní výbava vozu EQC

- Bezpečností tříbodové pásy s předepínači a omezovači síly
- Airbagy čelní, boční, hlavové a kolenní airbag na místě řidiče
- Akustické i optické varování opomenutí zapnutí bezpečnostního pásu
- Adaptivní tempomat se systémem automatického nouzového brždění
- Asistent sledování jízdního pruhu

5.2 Výsledky vozu EQC v testech EuroNCAP

V testech EuroNCAP provedených v rok uvedení vybraného modelu (2019), získal vůz Mercedes-Benz EQC plný počet pěti hvězd. Konkrétní hodnocení všech testů je zobrazeno v tabulce 4. Vůz si celkově vedl dobře (o čemž vypovídá i zmíněný plný počet hvězd). Jako

jeho klady bych zmínil především velice dobrou ochranu dospělé i dětské posádky jak při čelních, tak při bočních nárazech (až na ochranu hrudi spolujezdce při plném čelním nárazu a velké namáhání krku dětské figuríny u jedné z čelních srážek). Dále také například kvalitní asistenční systém nouzového brždění. Systém AEB dokázal zabránit kolizi s chodcem či cyklistou i za zhoršené viditelnosti. Negativními výsledky testů lze označit skutečnosti, že při bočním nárazu o sloup došlo ke zlomení horního pantu dveří (za což byla udělena penalizace) a ochrana pánve při srážce s chodcem byla převážně nedostačující. [20] [21]

Tabulka 4 – Výsledky vozu Mercedes-Benz EQC v testech EuroNCAP [20] [21]

Kategorie	Test*	Hodnocení	Maximum	Celkem
Ochrana dospělé posádky	Čelní náraz ODB	7.8	8	96 %
	Čelní náraz FW	7.6	8	
	Boční nárazy MD, PO	15.5	16	
	Whiplash	1.7	2	
	AEB	4.0	4	
Ochrana dětské posádky	Čelní náraz	15.1	16	90 %
	Boční náraz	8.0	8	
	Bezpečnostní výbava	9.0	13	
	Upevnění	12.0	12	
Ochrana chodců a cyklistů	Náraz hlavy	17.4	36	75 %
	Náraz pánve	1.6		
	Náraz nohou	5.9		
	AEB	11.4	12	
Asistenční systémy	Omezovač rychlosti	3.0	3	75 %
	Připomínač pásů	2.5	3	
	Asistent jízdních pruhů	2.0	4	
	AEB	2.4	3	

*Názvy testů dle odstavce 2.5.2 výše

6. Porovnání pasivní bezpečnosti

V této kapitole jsou porovnány automobily se spalovacím motorem s elektromobily především v otázce pasivní bezpečnosti dle výsledků v nárazových zkouškách. V první části je zde zkoumaný Mercedes-Benz EQC porovnán se spalovacím vozem srovnatelné kategorie, dále je okomentováno srovnání vozidel automobilky VW provedené organizací ADAC a následně

došlo ke zpracování anonymizovaných dat dvou vozidel Škoda a porovnání jejich výsledků v testech.

6.1 Mercedes-Benz GLB vs. Mercedes-Benz EQC

6.1.1 Výběr, zdůvodnění

Ke srovnání se zkoumaným elektrickým modelem EQC jsem vybral vůz stejné tovární značky. Konkrétně Mercedes-Benz GLB (modelový rok 2019) osazený spalovacím motorem. Výběr stejné automobilky a shodného modelového roku je volen s cíli zamezit rozdílům ve výsledcích způsobených rychlým vývojem PB vozidel a také rozdílným přístupem k pasivní bezpečnosti různých výrobců (především různých tříd) automobilů. Oba vozy Mercedes-Benz spadají do prémiové kategorie, a tak se při jejich vývoji kladlo kromě komfortu velmi i na bezpečnost.

6.1.2 Bezpečnostní výbava modelu GLB

Bezpečnostní výbava spalovacího modelu GLB obsahovala totožné prvky jako výbava vozu EQC s jediným rozdílem. Vůz GLB byl navíc vybaven aktivní kapotou, která při srážce s chodcem podskočí vzhůru a změkčí tak oblast nárazu hlavy.

6.1.3 Testování EuroNCAP

Testy organizace EuroNCAP proběhly konkrétně na modelu Mercedes-Benz GLB 200, se stupněm výbavy AMG-Line. Pohotovostní hmotnost vozu s touto výbavou činila 1555 kg. I přes výrazně nižší hmotnost oproti elektrickému modelu EQC je tento model kategorizován rovněž jako malý off-road, což bylo dalším důvodem výběru právě tohoto modelu.

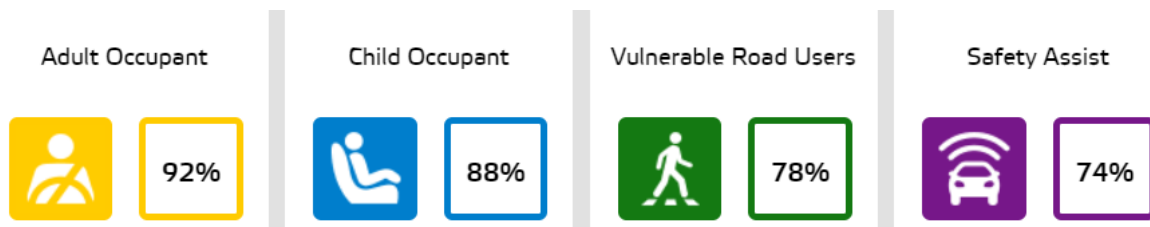
Celkové hodnocení dopadlo shodně jako u elektrického modelu značky, tedy pět hvězd bezpečnosti EuroNCAP. Při zkouškách však byly vyzorovány drobné rozdíly, což se promítlo i do tabulky výsledků (Tabulka 5).

Tabulka 5 – Porovnání výsledků modelů GLB a EQC v testech EuroNCAP [21] [25]

Kategorie	Test	Hodnocení GLB	Hodnocení EQC	Max.	Lepší hodnocení
Ochrana dospělé posádky	Čelní náraz ODB	7.4	7.8	8	EQC
	Čelní náraz FW	7.2	7.6	8	EQC
	Boční nárazy MD, PO	14.9	15.5	16	EQC
	Whiplash	1.6	1.7	2	EQC
	AEB	4.0	4.0	4	Shodné
Ochrana dětské posádky	Čelní náraz	14.5	15.1	16	EQC
	Boční náraz	7.9	8.0	8	EQC
	Bezpečnostní výbava	9.0	9.0	13	Shodné
	Upevnění	12.0	12.0	12	Shodné
Ochrana chodců a cyklistů	Náraz hlavy	19.8	17.4	36	GLB
	Náraz pánve	0.3	1.6		EQC
	Náraz nohou	6.0	5.9		GLB
	AEB	11.4	11.4	12	Shodné
Asistenční systémy	Omezovač rychlosti	2.9	3.0	3	EQC
	Připomínač pásů	2.5	2.5	3	Shodné
	Asistent jízdních pruhů	2.0	2.0	4	Shodné
	AEB	2.3	2.4	3	EQC

Z výsledků je podstatný komentář především k v tabulce zvýrazněným hodnotám tučným písmem. Výrazně lépe si při zkoušce nárazu hlavy vedl spalovací model GLB, a to ze zřejmého důvodu, kterým bylo již zmíněné osazení aktivní kapoty na tomto voze. Tímto však lepší hodnocení spalovacího automobilu takřka skončilo. Při pohledu na srovnání výsledků v tabulce 5 je více než patrné, že elektromobil EQC hodnocením u velké většiny zkoušek buď převyšuje spalovací model či je modelu GLB roven. Ochrana pánve u vozu GLB při srážce chodce byla navíc označena jako špatná a obdržel za ni minimum bodů.

Z těchto výsledků tedy lze s jistotou opět říci, že jsou elektromobily přinejmenším srovnatelně bezpečné jako spalovací automobily. A také musím dodat, že ač byl model GLB v hodnocení tím horším, většinou tomu bylo pouze o pár desetín bodu. Celkově obdržel také zmíněných 5 hvězd a jedná se rovněž o velmi bezpečný automobil. Hodnocení bezpečnosti tohoto modelu v procentech je uvedeno v obrázku 10. [25]



Obrázek 10 – Procentuální hodnocení bezpečnosti EuroNCAP u vozu Mercedes-Benz GLB [25]

6.2 VW Up! vs. VW eUp!

Toto srovnání provedla organizace ADAC po příchodu modelu eUp! na trh (rok 2013). Výsledky vychází především z nárazové zkoušky ODB v rychlosti 64 km/h. Zde bylo prokázáno, že eUp! je nejméně stejně bezpečný, jako benzínový model. Zasloužil si ze zkoušky dokonce o něco lepší hodnocení. Žádný negativní dopad na posádku neměla ani o skoro 250 kg vyšší hmotnost elektrického vozu. Oba zmíněné modely dostali v té době v testech pět hvězdiček. Od té doby se však parametry zkoušení této organizace změnili. Když roku 2019 došlo k lehké modernizaci modelu Up! a znovu byl tento benzínový automobil testován v EuroNCAP, obdržel pouze 3 hvězdy. Za tento pokles může především zastaralejší technika v oblasti elektronických asistentů jako je absence systému AEB a malá ochrana zranitelných účastníků provozu. [26] [27]

6.3 Škoda vs. Škoda iV

V této kapitole vychází všechny výstupy z anonymizovaných dat poskytnutých mi Škodou Auto. Data mi byla poskytnuta ke zpracování a následnému porovnání výsledků nárazových testů. Jedno z vozidel je osazeno spalovacím motorem a druhé je čistě elektrickým modelem značky. Vozidla jsou shodné kategorie a čelila totožné nárazové zkoušce, konkrétně šlo o nárazovou zkoušku ODB provedenou dle metodiky EuroNCAP. Náležitosti této nárazové zkoušky jsou uvedeny v odstavci 2.5.3 výše.

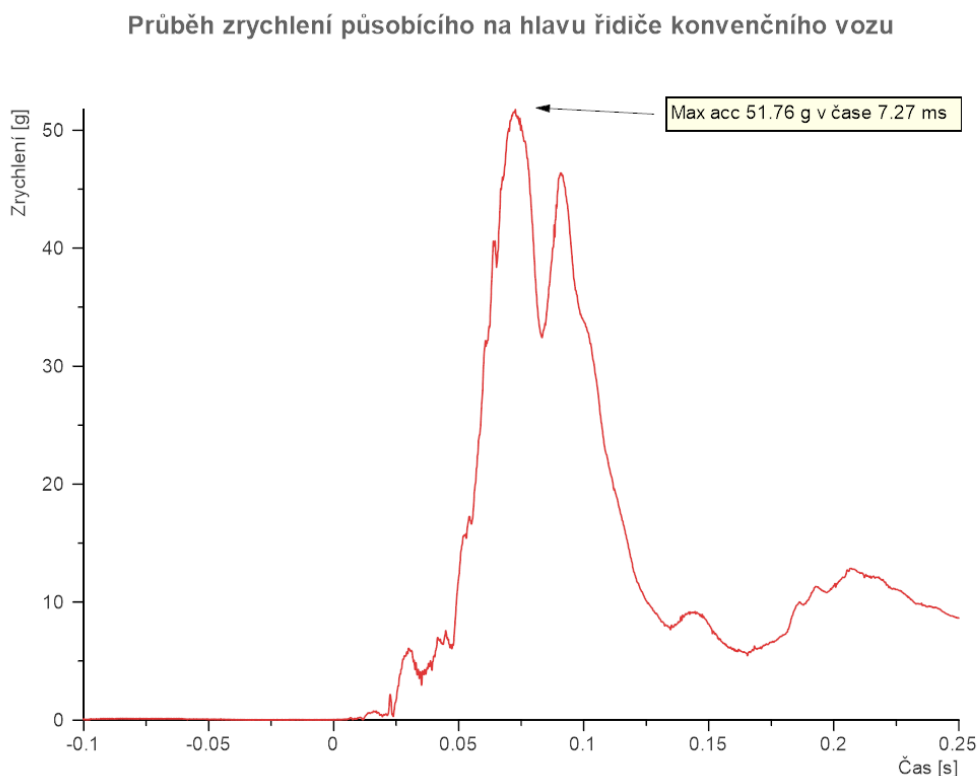
6.3.1 Zpracování dat

Pro zpracování mi byla poskytnuta surová nefiltrovaná data ze snímačů figurín osazených při zkoušce ve vozidle. Ke kompletnímu zpracování bylo využito počítačového programu NI DIAdem ve verzi 2020, pro který byla data uzpůsobena. Po nahrání dat bylo potřebné vytřídit, která data budou dále potřebná ke zpracování. Pro porovnání jsem se zaměřil především na data z akcelerometrů hlav figurín, dále také na hodnoty stlačení hrudníků a posuny kolenních

kloubů u figuríny řidiče. Některá tato data následně prošla filtrací, která umožnila jejich další zpracování.

6.3.2 Data figurín ze spalovacího vozu

Jak bylo uvedeno, pro primární zpracování byla vybrána data akcelerometrů hlav figurín. Při nárazové zkoušce vozu se spalovacím motorem byla nahrána pouze data dospělé posádky sedící na předních sedadlech. Celkové zrychlení hlavy bylo vypočteno ze 3 skupin hodnot. Jednalo se o zrychlení ve směru X, Y a Z. Z těchto hodnot byla po filtraci filtrem CFC 1000 užívaným pro filtraci zrychlení hlavy vypočtena výslednice průběhu zrychlení hlavy. Průběh zrychlení hlavy řidiče spalovacího vozu včetně maximální naměřené hodnoty je znázorněn v grafu na obrázku 11.

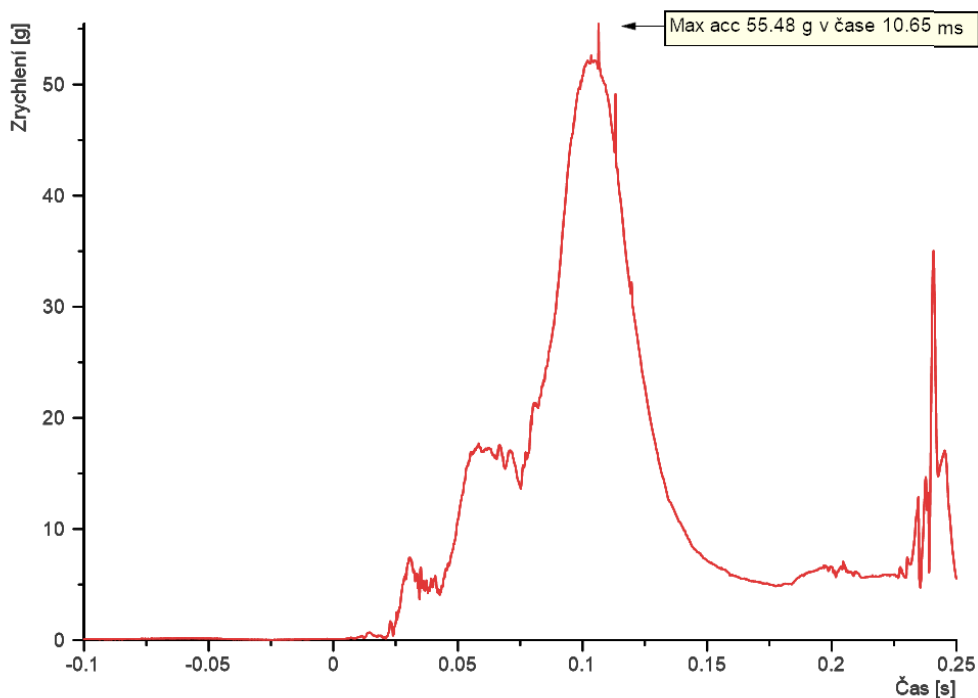


Obrázek 11 – Graf průběhu zrychlení hlavy figuríny na pozici řidiče spalovacího vozu s naměřenou maximální hodnotou

Z této výslednice zrychlení byla následně pomocí nástrojů v programu NI DIAdem vypočtena biomechanická kritéria HIC_{15} a tzv. třímilisekundové kritérium průběhu zrychlení hlavy (dále označované a_{3ms}). Tato biomechanická kritéria jsou podrobněji popsána v kapitole 2.3.2 výše. Následně došlo ke zpracování dat senzorů na dalších zmíněných částech těla figurín. U hrudi nejprve k vyčtení maximálního stlačení hrudníku a výpočtu kritéria VC a u řidiče následně k vyčtení posunů kolenních kloubů způsobených nárazem. Výsledky výpočtu těchto kritérií

a naměřených hodnot u řidiče a spolujezdce spalovacího vozu jsou uvedeny v tabulce 6 níže. Zde na obrázku 12 je graficky znázorněno zrychlení hlavy spolujezdce při a bezprostředně po nárazu a je zde opět uvedena maximální naměřená hodnota společně s časem jejího dosažení v ms.

Průběh zrychlení působícího na hlavu spolujezdce konvenčního vozu



Obrázek 12 – Graf průběhu zrychlení hlavy figuríny na pozici spolujezdce spalovacího vozu s naměřenou maximální hodnotou

Tabulka 6 – Biomechanika posádky spalovacího vozu

Kritérium	HIC ₁₅	a _{3ms}	ThCC	VC	Pkk _I *	Pkk _p **
Veličina	-	[g]	[mm]	[m/s]	[mm]	[mm]
Hodnoty řidiče	234,18	50,91	33,04	0,21	1,09	0,26
Hodnoty spolujezdce	272,28	51,81	26,26	0,09		

*posun kolenního kloubu levé dolní končetiny

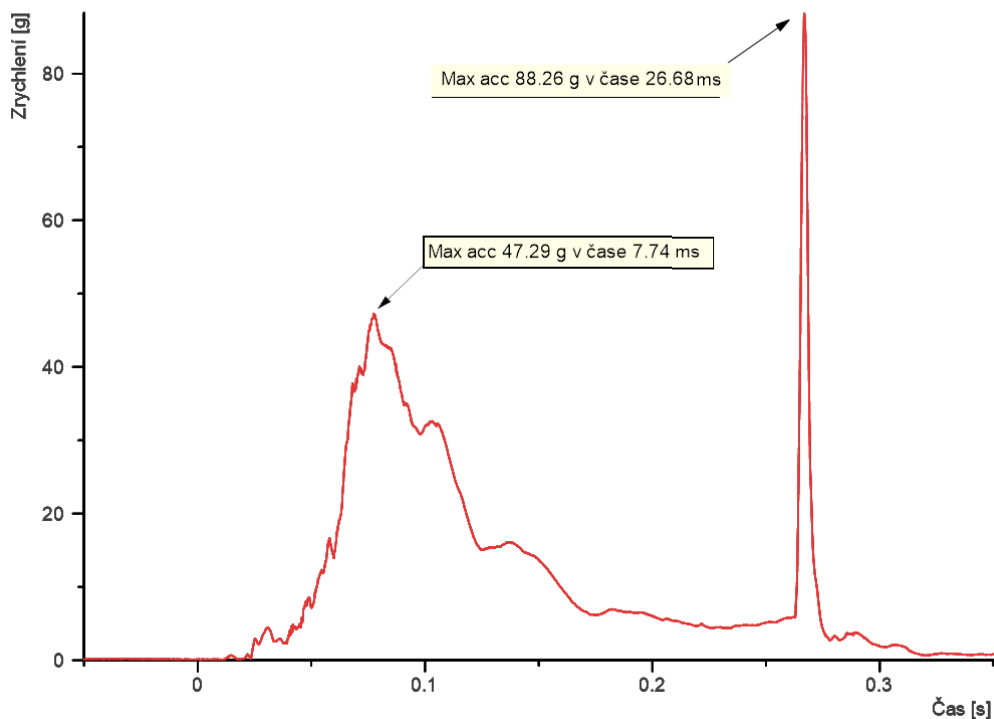
**posun kolenního kloubu pravé dolní končetiny

6.3.3 Data figurín z elektromobilu

Zpracování dat z figurín umístěných při nárazové zkoušce v elektromobilu proběhlo obdobně jako zpracování dat naměřených na figurínách ve spalovacím voze. Jedinou výjimkou zde tvořila data dětské posádky. Figuríny typu HYBRID III nahrazující děti ve věku 6 a 10 let byly

umístěny na zadní sedadla a data z nich byla korektně nahrána. Z tohoto důvodu jsem je pro úplnost a možnost porovnání působících zrychlení (na ně a na dospělé posádce) také zpracoval. Na obrázku 13 je v grafu znázorněn průběh zrychlení hlavy řidiče. V tabulce 7 níže jsou následně uvedeny veškeré vypočtené hodnoty biomechaniky posádky elektromobilu.

Průběh zrychlení působícího na hlavu řidiče elektrického vozu



Obrázek 13 – Graf průběhu zrychlení hlavy figuríny na pozici řidiče elektrického vozu s naměřenou maximální hodnotou

Tabulka 7 – Biomechanika posádky elektrického vozu

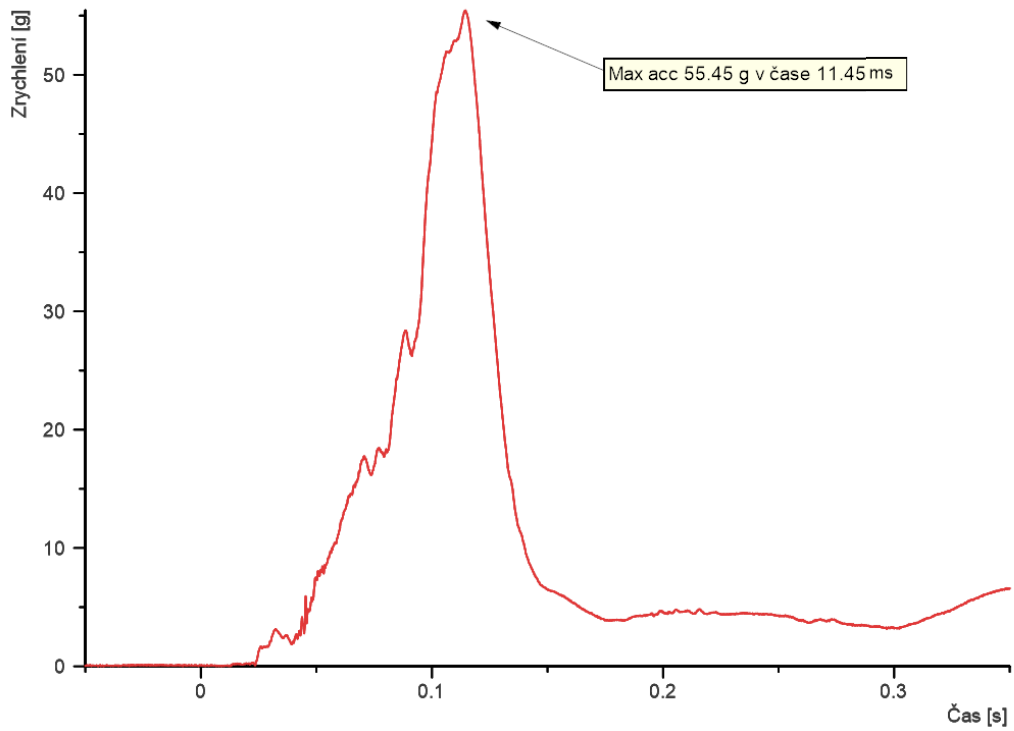
Kritérium	HIC ₁₅	a _{3ms}	ThCC	VC	Pkk _l *	Pkk _p **
Veličina	-	[g]	[mm]	[m/s]	[mm]	[mm]
Hodnoty řidiče	185,11	55,66	29,94	0,18	2,08	1,75
Hodnoty spolujezdce	303,44	54,38	27,93	0,14		
Hodnoty dítěte vlevo	296,54	52,95				
Hodnoty dítěte vpravo	291,63	55,07				

*posun kolenního kloubu levé dolní končetiny

**posun kolenního kloubu pravé dolní končetiny

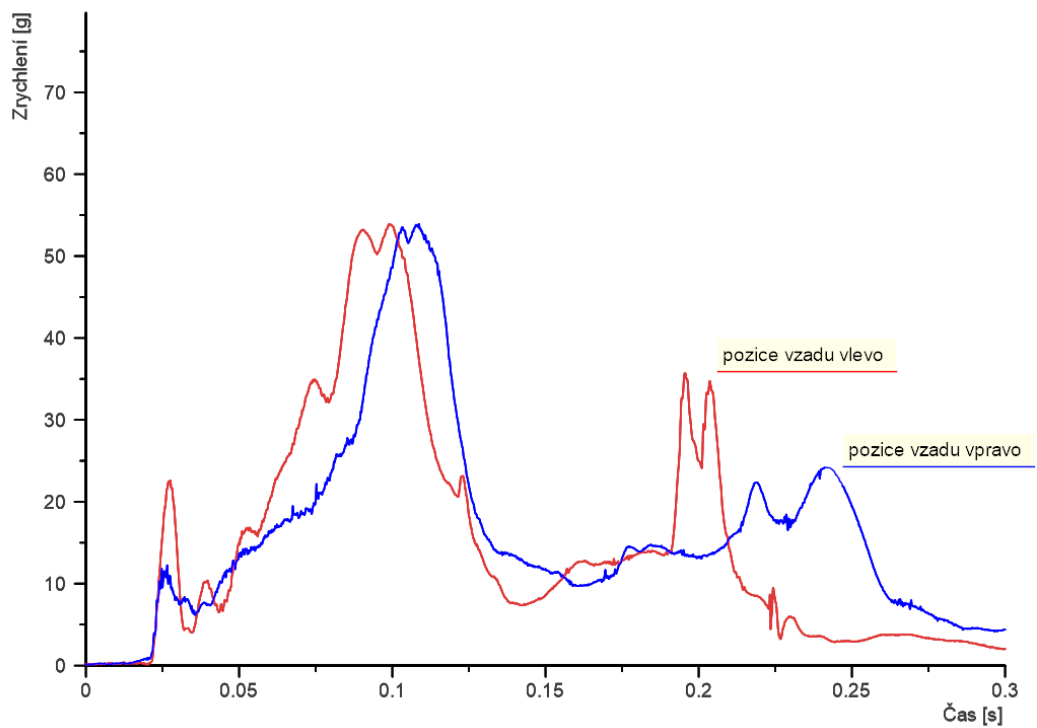
Pro úplnost hodnot je na obrázku 14 opět graficky znázorněno zrychlení působící na hlavu spolujezdce a v obrázku 15 následně zrychlení působící na hlavy obou dětských figurín usazených ve voze.

Průběh zrychlení působícího na hlavu spolujezdce elektrického vozu



Obrázek 14 – Graf průběhu zrychlení hlavy figuríny na pozici spolujezdce elektrického vozu s naměřenou maximální hodnotou

Průběh zrychlení působícího na hlavy dětské posádky elektrického vozu



Obrázek 15 – Graf průběhu zrychlení hlav dětských figurín na zadních sedadlech elektrického vozu

Při porovnání grafu řidiče s grafem spolujezdce (jak u spalovacího, tak elektrického vozidla) si můžeme všimnout, jak je čas nejvyšší hodnoty zrychlení ovlivněn faktem, že se jednalo o zkoušky s předsazenou bariérou na straně řidiče. Řidičovo maximum bylo vždy dosaženo přibližně o 3 až 4 ms dříve než vrcholové zrychlení u spolujezdce. Nejvíce patrný je tento vliv na obrázku 15. Zde jsou uvedena zrychlení hlav dětských figurín v jednom grafu, a tak je zde zpoždění dětské figuríny vpravo oproti dítěti nalevo lehce zpozorovatelné.

6.3.4 Porovnání hodnot

V tabulce 8 jsou názorně srovnány výsledky biomechaniky figurín osazených ve vozidlech během nárazových zkoušek ODB.

Tabulka 8 – Porovnání výsledků biomechaniky u obou vozidel

Kritérium	Veličina	Řidič		Spolujezdec		Porovnání	
		Pohon		Pohon		Řidič	Spol.
		Spalovací	Elektrický	Spalovací	Elektrický	Lepší	
HIC ₁₅	-	234,18	185,11	272,28	303,44	Ele.	Spal.
a _{3ms}	[g]	50,91	55,66	51,81	54,38	Spal.	Spal.
ThCC	[mm]	33,04	29,94	26,26	27,93	Ele.	Spal.
VC	[m/s]	0,21	0,18	0,09	0,14	Ele.	Spal.
Pkk _I *	[mm]	1,09	2,08			Spal.	
Pkk _p **	[mm]	0,26	1,75			Spal.	

Z tabulky je zřejmé, že naměřené hodnoty a vypočtená kritéria biomechaniky se od sebe u testovaných vozidel až na určité výjimky příliš neliší. Při prostém porovnání hodnot lepšího výsledku dosáhl vůz spalovací, ve kterém bylo na figurínách dospělé posádky usazené na přední řadě sedadel naměřeno nižších hodnot. Konkrétně bylo u tohoto vozu nižších sedm z deseti porovnávaných hodnot. Troufnu si však podotknout, že o tolik nižší hodnoty u posunu kolenních kloubů řidiče spalovacího automobilu mohly být způsobeny osazením kolenního airbagu. To je však pouze mou domněnkou, protože takové informace, jako je bezpečnostní výbava vozidel, nemám k dispozici.

6.3.5 Hodnocení ochrany cestujících

Naměřené a vypočtené hodnoty jsem nyní porovnal s mezními biomechanickými hodnotami a barevně je ohodnotil dle metodiky EuroNCAP pro čelní nárazovou zkoušku ODB za

poskytnutou ochranu cestujícím (viz Tabulka 9). Význam jednotlivého zabarvení je vysvětlen v tabulce 10.

Tabulka 9 – Hodnocení vybraných parametrů dle EuroNCAP obou zkoušených vozidel

Kritérium		HIC ₁₅	a _{3ms}	ThCC	VC	Pkk _I *	Pkk _p **
Veličina		-	[g]	[mm]	[m/s]	[mm]	[mm]
Spalovací vůz	Řidič	234,18	50,91	33,04	0,21	1,09	0,26
	Spolujezdec	272,28	51,81	26,26	0,09		
Elektromobil	Řidič	185,11	55,66	29,94	0,18	2,08	1,75
	Spolujezdec	303,44	54,38	27,93	0,14		

Tabulka 10 – Barevné hodnocení ochrany cestujících EuroNCAP

Dobrá	Přiměřená	Střední	Slabá	Špatná
-------	-----------	---------	-------	--------

Obě vozidla tedy prospěla v oblasti ochrany cestujících (ve vybraných parametrech) při zkoušce ODB velmi dobře. Kromě stlačení hrudníku (ThCC), které je však u většiny vozidel hodnoceno obdobně, obdržela za ostatní hodnoty nejvyšší možné hodnocení zelenou barvou.

V homologační nárazové zkoušce dle EHK 94, kde je zkoušeno vozidlo rychlostí o 8 km/h nižší, by tak dle těchto výsledků (ve vybraných parametrech) i přes vyšší hmotnost způsobenou maximální výbavou a motorizací obě mnou prověřovaná vozidla velmi pravděpodobně obstála. Konkrétní limitní hodnoty biomechaniky k úspěšné homologaci dle EHK 94 jsou uvedeny v odstavci 2.3.2 výše.

6.3.6 Diskuse

Zde jsem se zaměřil na určité zvláštnosti výsledků měření provedeném na obou vozech během zkoušek. Nejvíce mě upoutal zvláštní osamocený vrchol zrychlení hlavy řidiče elektrického vozu v obrázku 13. Zde se totiž nejprve v čase 7.74 ms objevuje očekávaný vrchol nárůstu zrychlení způsobený nárazem. V tomto čase dosáhlo zrychlení hlavy řidiče 47.29 g, tedy vcelku očekávané hodnoty kolem 50 g (v porovnání s ostatními figurínami). Tento vrchol byl tedy velmi podobný vrcholům zrychlení ostatních figurín jak v okamžiku, kdy nastal, tak jaké velikosti zde zrychlení dosáhlo. Takřka o 20 ms později se v grafu však objevuje osamocený vrchol s mnohem vyšším zrychlením. Zde dosáhlo zrychlení hlavy řidiče hodnoty 88.26 g. Toto zrychlení nemělo dlouhého trvání a jak jsem již poznamenal, jednalo se o osamocenou hodnotu (což je patrné z grafu na obrázku 13). Když by však mělo podobně vysoké zatížení

hlavy delšího trvání, velmi pravděpodobně by zde došlo k závažným poraněním hlavy řidiče tohoto vozu.

Dle umístění tohoto osamoceného vrcholu zrychlení na časové ose se lze domnívat, že mohlo být způsobeno zpětným rázem. Zvláštní je však skutečnost, jak vysoké hodnoty zde zrychlení dosáhlo. Tento fakt by spíše napovídal ke kontaktu hlavy figuríny s některou částí interiéru. Třetím možným vysvětlením je možnost krátkodobého selhání měřící techniky v daný moment, tedy prostá chyba měření. Ani k jednomu mému tvrzení však nemám hmatatelný důkaz, protože mi byla poskytnuta pouze data sensoriky figurín, a tak nemám k dispozici záznam z vysokorychlostní kamery, který by příčinu zmíněného osamoceného vrcholu jistě osvětlil. Z důvodu neznámé příčiny tohoto zmíněného nárůstu z něho tedy nelze odvozovat závěry o bezpečnosti elektrického vozu.

Obdobný vrchol zrychlení byl naměřen i při nárazu spalovacího vozu na hlavě spolujezdce. Zde k němu došlo opět kolem 25 ms, avšak naměřená hodnota u tohoto vrcholu dosáhla pouze přibližně 35 g. Tento vrchol však, jak je patrné z obrázku 12, nelze nazvat osamoceným, protože byl doprovázen několika dalšími vrcholy nižších hodnot. Srovnatelné druhé vrcholy se objevují kolem 20 a 25 ms i v grafu dětské posádky na obrázku 15. U těchto vrcholů bych se přikláněl k názoru, že byly zapříčiněny zpětným nárazem figurín do sedadel (hlavových opěrek), rámu dveří či B sloupku.

V grafu zrychlení hlavy řidiče spalovacího vozu v obrázku 11 byla naměřena jiná zajímavost. Zde došlo k naměření dvou vrcholů zrychlení v časové periodě od 7 do 10 ms, jejichž velikost se lišila pouze o cca 5 g. Dvojice vrcholů v takovémto čase mohla být způsobena ne zcela ideálním ponořením hlavy do airbagu, kde by první vrchol znamenal urychlení hlavy nárazem a druhý právě samotné nedokonalé zpomalení hlavy řidiče airbagem či dokonce náraz do samotného volantu, tedy na již zcela zasunutý sloupek řízení. I to jsou však pouze mé domněnky.

Celkově je z výsledků mnou provedeného srovnání zřejmé, že oba vozy jsou velmi podobné stavby, a tak není k podivu, že i jejich výsledky byly velmi obdobné. To vše z několika hlavních důvodů. Prvním je totožný výrobce obou vozů, tedy velmi podobná konstrukce karoserie u porovnatelných automobilů a shodný přístup automobilky k pasivní bezpečnosti svých vozidel. Dalším důvodem této podobnosti výsledků je též například fakt, že obě vozidla musela obstát v totožných homologačních zkouškách před samotným uvedením na trh, a tak jejich úroveň ochrany musí být na podobně vysoké úrovni.

7. Závěr

V práci jsem nejprve osvětlil pojem pasivní bezpečnost a připomenul, jaké prvky pasivní bezpečnosti se v současnosti v osobních automobilech vyskytují. A to jak již tradiční prvky používané několik desetiletí, tak i nejmodernější systémy vyvíjené či zdokonalované v posledních letech. Dále byly v práci objasněny pojmy jako biomechanická kritéria, bylo vysvětleno k čemu slouží vyhodnocování reálných dopravních nehod a rovněž laboratorních nárazových zkoušek či jsem ukázal, které figuríny se při nárazových zkouškách používají nejčastěji, co vše je na nich během nárazu snímáno a při jakých zkouškách se používají které druhy figurín. Poměrně velkou část své práce jsem také věnoval organizaci EuroNCAP, která stupeň pasivní bezpečnosti (a celkově bezpečnosti) automobilů v současnosti velmi ovlivňuje. Jak jsem uvedl, dle jejich metodiky jsou prověřována vozidla nárazovými zkouškami s přísnějšími parametry, nežli tomu je u homologačních zkoušek, a tak jsou z jejich výsledků patrné rozdíly v bezpečnosti již homologovaných vozidel uváděných na trh. Spotřebitel dle těchto rozdílů může ovlivnit svůj výběr vozu, což nutí výrobce k navyšování bezpečnosti svých automobilů. Organizace EuroNCAP také stále zvyšuje své požadavky na zisk nejlepšího hodnocení čímž se nově vyvíjené automobily též stávají stále bezpečnějšími. Výčet aktuálně prováděných testů, vždy s krátkým seznámením s danou zkouškou, by měl čtenářům mé práce přiblížit na co vše se nyní odborníci na bezpečnost soustřeďují.

Rovněž došlo k prostudování veškeré legislativy související s osobními automobily a stručnému popisu každého předpisu souvisejícího s jejich pasivní bezpečností. Dále jsem se zaměřil na specifika homologace elektromobilů a posléze na veškerá další specifika vztažená k tomuto druhu pohonu. Za zopakovaní stojí především specifika týkající se konkrétně pasivní bezpečnosti či rozdíly v konstrukci a vybavení (nebo naopak nevybavení) vozidla různými komponenty přímo souvisejícími s druhem jeho pohonu. Samotnou kategorií, které jsem se rovněž věnoval, byly baterie, především pak jejich ochrana a uložení ve vozidle.

Otázkami, které jsem se také pokusil zodpovědět, byla údržba elektromobilu při běžném provozu a nebezpečí samovolného vznícení elektrického vozu při dopravní nehodě. K potlačení obav ze vznícení elektromobilu způsobeného nárazem a poškozením baterií, myslím, ideálně posloužil mnou uvedený test provedený organizací DEKRA. Při tomto testu nárazem v běžně dosahovaných rychlostech do sloupu (simulujícímu sloup či strom podél komunikace) došlo k masivní deformaci baterie automobilu. I přes tuto skutečnost články akumulátoru zůstaly uzavřeny v obalu a ke vznícení nedošlo. Odborníci z DEKRY se navíc shodují, že poškození vzniklá na elektromobilu Nissan Leaf nárazem do sloupu byla srovnatelná s poškozeními, která by nastala i u spalovacího vozu.

V další části jsem prostudoval řešení pasivní bezpečnosti u elektrických vozů Mercedes-Benz, blíže pak u vybraného modelu EQC. Podrobně jsem nastudoval výsledky tohoto vozu ze zkoušek EuroNCAP a následně je porovnal s kategoriicky srovnatelným vozem stejného výrobce se spalovacím motorem. Z porovnání vyplynulo, že míra bezpečnosti elektrického vozu byla přinejmenším srovnatelná s vozem vybaveným spalovacím motorem. Dokonce elektromobil tento vůz (i přes skoro o 1 tunu vyšší hmotnost) ve většině parametrů ochrany cestujících lehce překonal, čímž byla poprvé vyvrácena veškerá tvrzení o nižší bezpečnosti vozidel vybavených elektromotorem.

Ke stejným názorům se navíc přidávají i odborníci z ADAC. A to jak ohledně vznícení způsobeného nehodou elektromobilu, tak ohledně nejméně srovnatelné ochrany cestujících v těchto automobilech. Pro opětovné potvrzení této skutečnosti jsem předložil jejich srovnání výsledků nárazové zkoušky ODB u vozů VW Up! a eUp! provedené v roce 2013. V tomto srovnání si opět dokonce o něco lépe vedl elektromobil.

V závěru práce jsem se pokusil o vlastní analýzu zkoušek ODB provedených na vozech Škoda Auto. Data k tomuto zpracování mi byla poskytnuta oddělením EKS právě firmy Škoda Auto. Jednalo se o anonymizované nefiltrované údaje ze snímačů figurín umístěných při zmíněných zkouškách ve vozidlech. Postupným zpracováním v programu NI DIAdem jsem je převedl na biomechanické hodnoty, se kterými jsem dále pracoval. Pro následné porovnání jsem vybral důležité hodnoty, jakými jsou zrychlení hlav cestujících a stlačení hrudníku. Pro doplnění jsem ještě zpracoval posuny kolenních kloubů u obou figurín na pozici řidiče. Z výsledků provedeného srovnání hodnot je následně patrné, že bezpečnost obou vozidel je velmi podobná, pouze s lehce nižšími hodnotami spalovacího modelu značky. Avšak jak jsem již poznamenal, dle velice nízkých hodnot posunů kolenních kloubů naměřených na figuríně řidiče spalovacího vozu, jsem si troufl odhadnout osazení kolenního airbagu v tomto voze. Tento prvek pravděpodobně v elektrickém voze osazen nebyl a ani možnost dalších rozdílů v bezpečnostní výbavě testovaných automobilů nelze díky anonymizaci nijak vyloučit. Celkovým výsledkem mnou provedeného srovnání je skutečnost, že oba automobily Škoda lze shodně označit jako velmi bezpečné, což potvrzuje i jejich více než dobré hodnocení ochrany dospělé posádky, které jsem provedl ve vybraných kritériích dle metodiky EuroNCAP.

Celkově myslím, že se mi povedlo důkladně nastudovat problematiku pasivní bezpečnosti a vyvrátit názory o nižší bezpečnosti elektromobilů. Jak již bylo několikrát zmíněno mnou i odborníky, elektromobil je nejméně stejně bezpečným dopravním prostředkem, jakým je automobil se spalovacím motorem.

Pevně věřím, že veškeré znalosti získané při psaní této bakalářské práce využiji v nadcházejících letech při navazujícím studiu, současně pak pro návrh a stavbu zmíněného lehkého městského elektromobilu a například i ve své diplomové práci.

Pro tvorbu textové části mé práce byl použit program MS Word a pro zpracování dat ze snímačů figurín v praktické části jsem využil programu NI DIAdem ve verzi 2020.

Seznam použitých zdrojů

- [1] VLK, František. Karosérie motorových vozidel: Ergonomika. Biomechanika. Pasivní bezpečnost. Kolize. Struktura. Materiály. Brno: VLK, 2000. 243 s. ISBN 8023852779.
- [2] „EHK/OSN Integrované české překlady předpisů,“ prosinec 2019. [Online]. Dostupné z: <http://mezinarodni-predpisy.tuv-sud.cz/cs/predpisy/ehk-osn-integrované-české-preklady/>
- [3] MIKULÍK, Jarmil. „Elektrická vozidla z pohledu homologace,“ prosinec 2019. [Online]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/data-ftp-user/konference/2014/emobilita/09-elektricka-vozidla-z-pohledu-homologace.pdf>
- [4] FIRST, Jiří. Zkoušení automobilů a motocyklů. Příručka pro konstruktéry. Praha: S&T CZ s.r.o., 2008. 348 s. ISBN 978-80-254-1805-5.
- [5] „Quick Reference Guide (2010 Version) to Federal Motor Vehicle Safety Standards and Regulations,“ únor 2020. [Online]. Dostupné z: <https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/fmvss-quickrefguide-hs811439.pdf>
- [6] „Předpis EHK/OSN č.81,“ únor 2020. [Online]. Dostupné z: [https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=42012X0713\(01\)](https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=42012X0713(01))
- [7] KOSTÍKOVÁ, Martina. „Návrh dolní končetiny testovací figuríny pro nárazové zkoušky,“ březen 2020. [Online]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=147961
- [8] „Pasivní prvky bezpečnosti,“ červen 2020. [Online]. Dostupné z: <https://www.bezpecnecesty.cz/cz/bezpecnost-automobilu/pasivni-prvky-bezpecnosti>
- [9] „The ratings explained,“ červen 2020. [Online]. Dostupné z: <https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/>
- [10] „Typová zkušebna,“ červen 2020. [Online]. Dostupné z: <https://dekra.cz/testovani/typova-zkusebna/>
- [11] „Crash testing,“ červen 2020. [Online]. Dostupné z: <https://www.dekra.com/en/crash-testing/>
- [12] „High Safety Level of Series-Produced Electric Cars Confirmed in DEKRA Crash Tests,“ červen 2020. [Online]. Dostupné z: <https://www.dekra.com/en/high-safety-level-of-series-produced-electric-cars-confirmed-in-dekra-crash-tests/>

- [13] „Děsivý crash test mimo zavedené normy. Slisovaný Leaf si vedl překvapivě dobře,“ červen 2020. [Online]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/desivy-crash-test-mimo-zavedene-normy-slisovany-nissan-leaf-si-ale-vedl-prekvapive-dobre>
- [14] „Proposal for guidelines on measures ensuring the audibility of hybrid and electric vehicles,“ červenec 2020. [Online]. Dostupné z: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2011/wp29/WP29-153-12e.pdf>
- [15] „Wie sicher sind Elektroautos bei Brand, Unfall oder Panne?“ červenec 2020 [Online]. Dostupné z: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/sicherheit-elektroauto/>
- [16] „E-Auto-Brand: So löscht die Feuerwehr,“ červenec 2020. [Online]. Dostupné z: <https://www.adac.de/der-adac/aktuelles/e-auto-brand/>
- [17] KOSEK, Roman. „Metodika oceňování elektromobilů a vozidel s hybridním pohonem,“ červenec 2020. [Online]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=137624
- [18] „Úvod do světa baterií,“ červenec 2020. [Online]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/inovace-cs/e-mobilita-cs/uvod-do-sveta-baterii/>
- [19] „Bezpečnost elektromobilů narůstá,“ červenec 2020. [Online]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/bezpecnost-elektromobilu-narusta_47189.html
- [20] „Euro NCAP 2019: Mercedes-Benz EQC – Pět hvězd pro elektrické SUV,“ červenec 2020. [Online]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/euro-ncap-2019-mercedes-benz-eqc-pet-hvezd-pro-elektricke-suv-130971>
- [21] „Mercedes-Benz EQC,“ červenec 2020. [Online]. Dostupné z: <https://www.euroncap.com/en/results/mercedes-benz/eqc/38095>
- [22] „Konstrukce elektromobilu,“ červenec 2020. [Online]. Dostupné z: https://www.devinn.cz/konstrukce_ele/
- [23] CELJAK, Ivo. „Konstrukce, technické systémy a provoz elektricky poháněných automobilů,“ červenec 2020. [Online]. Dostupné z: http://kzt.zf.jcu.cz/wp-content/uploads/2019/02/Skripta-Konstrukce-a-provoz-elektromobil%C5%AF_v4.pdf
- [24] „Aktivní kapota: měkčí dopad pro chodce,“ červenec 2020. [Online]. Dostupné z: https://www.autorevue.cz/aktivni-kapota-mekci-dopad-pro-chodce_1

- [25] „Mercedes-Benz GLB,“ červenec 2020. [Online]. Dostupné z:
<https://www.euroncap.com/en/results/mercedes-benz/glb/38858>
- [26] „E-Auto so sicher wie Benziner?“ červenec 2020. [Online]. Dostupné z:
https://www.adac.de/infotestrat/tests/crash-test/elektroauto/vw_eup.aspx
- [27] „VW Up!“ červenec 2020. [Online]. Dostupné z:
<https://www.euroncap.com/en/results/vw/up!/39809>

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Poloha částí karoserie na vozidle [8]	11
Obrázek 2 – Četnost nehod dle směru nárazu [1].....	13
Obrázek 3 – Figurína HYBRID III [4].....	15
Obrázek 4 – Figurína EuroSid 2 [4].....	17
Obrázek 5 – Homologační znak EKH [6]	23
Obrázek 6 – Zkouška dle předpisu EHK 25 [1].....	25
Obrázek 7 – Pohled na zdeformovanou baterii vozu po zkoušce [12].....	29
Obrázek 8 – Uložení baterií vozidel firmy Škoda Auto [18]	31
Obrázek 9 – Mercedes-Benz EQC [21]	34
Obrázek 10 - Procentuální hodnocení bezpečnosti EuroNCAP u vozu Mercedes-Benz GLB [25].....	39
Obrázek 11 - Graf průběhu zrychlení hlavy figuríny na pozici řidiče spalovacího vozu s naměřenou maximální hodnotou.....	40
Obrázek 12 - Graf průběhu zrychlení hlavy figuríny na pozici spolujezdce spalovacího vozu s naměřenou maximální hodnotou.....	41
Obrázek 13 - Graf průběhu zrychlení hlavy figuríny na pozici řidiče elektrického vozu s naměřenou maximální hodnotou.....	42
Obrázek 14 - Graf průběhu zrychlení hlavy figuríny na pozici spolujezdce elektrického vozu s naměřenou maximální hodnotou.....	43
Obrázek 15 - Graf průběhu zrychlení hlav dětských figurín na zadních sedadlech elektrického vozu.....	43

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Umístění snímačů na figuríně HYBRID III [4]	16
Tabulka 2 – Předpisy EHK týkající se pasivní bezpečnosti osobních automobilů [1] [2] [5]...	23
Tabulka 3 – Typy akumulátorů a jejich parametry [17].....	31
Tabulka 4 – Výsledky vozu Mercedes-Benz EQC v testech EuroNCAP [20] [21].....	36
Tabulka 5 – Porovnání výsledků modelů GLB a EQC v testech EuroNCAP [21] [25].....	38
Tabulka 6 – Biomechanika posádky spalovacího vozu	41
Tabulka 7 – Biomechanika posádky elektrického vozu	42
Tabulka 8 – Porovnání výsledků biomechaniky u obou vozidel	44
Tabulka 9 – Hodnocení vybraných parametrů dle EuroNCAP obou zkoušených vozidel	45
Tabulka 10 – Barevné hodnocení ochrany cestujících EuroNCAP	45