



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Michal Cenkner

**Návrh package a konstrukce lehkého městského
elektromobilu**

Diplomová práce

2022



K616..... Ústav dopravních systémů

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Michal Cenkner

Studijní program (obor/specializace) studenta:

navazující magisterský – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Návrh package a konstrukce lehkého městského elektromobilu**

Název tématu (anglicky): Design of package and frame of light city electric vehicle

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- V teoretické části práce vypracujte rešerši existujících konstrukčních řešení vozidel kategorie L7e, zaměřte se zejména na konstrukci podvozku a rámu.
- Na základě rešerše navrhnete package lehkého městského elektrického vozidla.
- Vypracujte materiálovou a designovou studii interiéru a exteriéru se zaměřením na malosériovou výrobu.
- Vytvořte návrh rámové konstrukce lehkého městského elektromobilu včetně pevnostního ověření.
- Analyzujte výsledky, podrobně je diskutujte, vypracujte závěr a doporučení pro další vývoj.



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucích práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Vlk, F.: Stavba motorových vozidel, Brno, 2003, ISBN 978-80-238-8757-0
- 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.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.**
Ing. Josef Svoboda

Datum zadání diplomové práce: **22. června 2021**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **16. května 2022**

a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia

b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Michal Cenker
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....22. června 2021

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych velmi rád poděkoval svým vedoucím, jmenovitě panu Ing. Josefu Svobodovi a doc. Ing. Petru Bouchnerovi, PhD. za odborné vedení a konzultování diplomové práce. Dále patří můj dík kolegům, kteří se rozhodli se mnou na projektu elektromobilu podílet. Na závěr bych rád poděkoval svým rodičům, přítelkyni a celé rodině za morální a materiální podporu během celé doby studia.

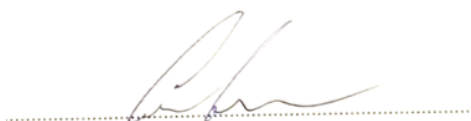
PROHLÁŠENÍ

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou 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 10. 08. 2020



podpis

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřená na komplexní řešení malého městského elektromobilu. V úvodu práce jsou podrobně rozebrána dvě konkurenční vozidla. Dále je řešen package vozidla s ohledem na funkčnost a legislativu. Následně je řešena konstrukce rámu vozidla s možností výsuvného bateriového boxu včetně pevnostní analýzy. Práce pokrývá i designovou a materiálovou studii.

Klíčová slova: městské vozidlo, elektrické vozidlo, konstrukce rámu, prostorový rám, bateriový box, design, package, ergonomie, statická analýza, skořepina, středplocha

ABSTRACT

The diploma thesis is focused on a complex solution of a small city electric car. In the introduction, two competing vehicles are analyzed in detail. The vehicle package is also addressed, focusing on functionality and legislation. Furthermore, the construction of the vehicle frame with the possibility of a retractable battery box, including strength analysis, is solved. The paper also covers design and materials study.

Keywords: urban vehicle, electric vehicle, frame construction, space frame, battery box, design, package, ergonomics, static analysis, shell, midsurface

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A VELIČIN	Chyba! Záložka není definována.
1 Úvod	11
2 Teorie návrhu automobilu	12
2.1 Funkce vozidla	12
2.1.1 Povinné funkce plynoucí z technických předpisů	12
2.1.2 Chtěné funkce a jejich vliv na konstrukci	13
2.2 Funkční celky vozidla	16
3 Vstupní požadavky pro návrh vozidla L7e	18
3.1 Definice cílů	18
3.1.1 Výchozí parametry pro návrh vozidla	18
3.1.2 Možnosti zlepšení	19
3.2 Koncepční řešení u konkurenčních vozidel	20
3.2.1 První konkurenční vozidlo Škoda CitigoE iV	20
3.2.2 Druhé konkurenční vozidlo Citroen Ami	24
3.2.3 Srovnání konkurenčních vozů a shrnutí poznatků	31
4 Řešení package	32
4.1 Výchozí parametry návrhu	32
4.2 Umístění battery packů	32
4.2.1 Baterie rozmístěné po celém vozidle	33
4.2.2 Baterie v podlaze	33
4.2.3 Baterie pod sedadly	34
4.2.4 Popis řešení vybraného boxu	35
4.3 Ergonomie	36
4.3.1 Umístění osob ve vozidle	37
4.3.2 Umístění ovladačů	41
4.3.3 Celkové rozměry místa řidiče	43

4.4	Výhledy	44
4.4.1	Fyziologie vidění	44
4.4.2	Požadavky na výhled	45
4.4.3	Čelní sklo	46
4.4.4	Ověření metodou šesti bodů	47
4.4.5	Ověření zakrytí binokulárního výhledu A-sloupky	47
4.5	Celkový package.....	48
5	Materiálová a designová studie	50
5.1	Designová studie	50
5.2	Materiály	51
5.2.1	Plasty	52
5.2.2	Termoplasty	52
5.2.3	Termosety	54
5.2.4	Materiály a 3D tisk.....	55
5.3	Použití materiálů v interiéru a v exteriéru.....	56
6	Konstrukční řešení podvozku a rámu	59
6.1	Rám	59
6.1.1	První verze rámu vozidla.....	59
6.1.2	Druhá verze rámu vozidla	59
6.1.3	Třetí verze rámu vozidla.....	60
6.1.4	Finální verze rámu vozidla	61
6.2	Podvozkové komponenty.....	63
6.2.1	Přední náprava.....	63
6.2.2	Zadní náprava	65
6.2.3	Odpružení	65
6.2.4	Kompletní technické řešení.....	66
7	Pevnostní analýza	68
7.1	Příprava modelu na statickou analýzu	68

7.1.1	Příprava geometrie rámu vozidla	68
7.1.2	Příprava sítě modelu	69
7.1.3	Zvolený materiál.....	70
7.1.4	Definice okrajových podmínek	70
7.2	Statické zatížení stojícího vozidla	70
7.2.1	Nastavení vazeb a počátečních podmínek	71
7.2.2	Výsledek statického zatížení.....	72
7.3	Zatížení vozidla brzdným zrychlením.....	73
7.3.1	Nastavení vazeb a počátečních podmínek	73
7.3.2	Výsledek zatížení brzdným zpomalením.....	74
7.4	Torzní tuhost.....	76
7.4.1	Nastavení vazeb a počátečních podmínek	76
7.4.2	Analýza výsledků a výpočet torzní tuhosti	76
8	Diskuze výsledků	78
9	Závěr.....	80
	POUŽITÉ ZDROJE.....	82
	SEZNAM OBRÁZKŮ	85
	SEZNAM TABULEK	88
	SEZNAM PŘÍLOH	88
	Příloha 1 – Rendery package vozidla	89

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ABS	Anti-lock Brake Systém
CAD	Computer Aided Design
ČSN	Česká technická norma
DIN	Deutsches Institut für Normung
EBV	Electronic Brakeforce Distribution
EHK	Evropská hospodářská komise
EHS	Evropské hospodářské společenství
ES	Evropské společenství
ESC	Electronic Stability Program
Euro NCUP	European New Car Assessment Programme
FDM	fused deposition modeling
HHC	Hill Hold Control
ISO	International Organization for Standardization
LCD	Liquid crystal display
LiFePO	lithium železofosfát
OSN	Organizace spojených národů
PK	pozemní komunikace
RMT	Resin transfer molding
SAE	Society of Automotive Engineers
SLA	Stereolitografic
TPM	Tyre Pressure Monitoring System
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

k	[N·mm ⁻¹]	tuhost
d	[mm]	průměr drátu pružiny
n		počet závitů
r	[mm]	střední průměr pružiny
s	[mm]	stlačení pružiny
a	[m·s ⁻²]	zrychlení
M _B	[N·mm]	brzdny moment
f		součinitel smykového tření
R	[mm]	poloměr kola
F _n	[N]	zatížení čtvrtiny vozidla
M	[N·mm]	kroucí moment
c _T	[kN/°]	torzní tuhost
F _K	[N]	hnací síla
O _F	[N]	valivý odpor
O _V	[N]	odpor vzduchu
O _S	[N]	odpor stoupání
O _Z	[N]	odpor zrychlení
F	[N]	reakce od vozovky
e	[mm]	předsazení reakce ve směru jízdy
f _v		součinitel valivého odporu
v _r	[m·s]	výsledná náporová rychlost
ρ	[kg·m ⁻³]	měrná hmotnost
S _x	[m ²]	plocha průmětu
G	[N]	tíha
α	[°]	úhel natočení
m _r	[kg]	hmotnost rotujících hmot
J	[kg·m ²]	moment setrvačnosti
ε	[ot. ·min ⁻¹]	úhlová rychlost
E _k	[J]	kinetická energie
m _{ef}	[kg]	efektivní hmotnost
θ		součinitel vlivu rotujících hmot

1 Úvod

V dnešní době jsou na dopravu kladeny stále větší nároky. Doprava ve městech houstne a zvyšují se i celkové přepravní výkony. Zároveň jsou kladeny stále vyšší požadavky na cestovní komfort a s ním spojenou rychlost přepravy.

Odvětví, které se díky světové pandemii těší velkému růstu po celém světě, jsou doručovací služby. Počet malých vozidel rozvážejících jídlo nebo jiné zásilky v ulicích stále roste. Z těchto důvodů jsou ve velkých městech stále oblíbenější malá kompaktní vozidla. Jedná se o kategorii mikroaut, konkrétně těžké quadricykly (L7e). Tato vozidla nabývají na svojí oblíbenosti díky kompaktním rozměrům, hbitosti v městském provozu a vcelku vysoké maximální rychlosti. Navíc bývají v porovnání s vozidly z kategorie M poměrně levná i s elektrickým pohonem.

Hlavním cílem této práce je navázat na práci bakalářskou, a rozvinout řešené téma konstrukce městského elektromobilu. Záměrem je vytvořit ucelený koncept elektrického vozidla, podle kterého bude možné automobil kategorie L7e zkonstruovat na Fakultě dopravní ČVUT. Následné využití vozidlo nalezne při testování nových pohonů a technologií nebo měření jízdních cyklů a dynamiky. Velký důraz při řešení celkového konceptu je kladen na umístění a snadnou manipulaci s bateriemi. Bateriový box by měl být bez problémů vyjímatelný. Vozidlo by mělo být dvoumístné s kompaktní karoserií. Další nároky jsou kladeny na technické řešení pohonu vozidla. Koncepce by měla počítat s motorem vpředu a pohonem předních kol.

V úvodní kapitole je rozebrána teorie důležitá pro návrh automobilu. Jsou zde rozebrány vyžadované funkce vozidla jak z pohledu předpisů, tak z pohledu uživatelů. Poté následuje sumarizace výchozích parametrů a definování cílů návrhu. Na jejich základě jsou vybrána dvě konkurenční vozidla pro detailní rozbor.

Samotnému návrhu konstrukce karoserie předchází tvorba detailního package vozidla. Při návrhu jsou uvažovány veškeré požadavky na ergonomii. Poté následuje designová studie a analýza materiálů používaných pro malosériovou výrobu.

Na základě vytvořeného package a navržených rozměrů jednotlivých součástí vozidla je navrženo konstrukční řešení prostorového rámu s ohledem na dostupné technologie výroby. Dále je navrženo konstrukční řešení jednotlivých komponentů podvozku.

Z důvodu ověření správnosti navrženého řešení je na závěr konstrukce rámu vozidla podrobena pevnostní analýze. Budou vybrány extrémní zátěžové stavy, které budou simulovány a vyhodnoceny pomocí konečněprvkového rozhraní softwaru Ansys.

2 Teorie návrhu automobilu

V dnešní době je na trhu již nespočet automobilových značek a každá vyrábí řadu modelů napříč všemi třídami. Aby vozidlo vyniklo a získalo si své zákazníky, musí mít jasný záměr a cíl. Před samotným návrhem automobilu je nutné definovat mnoho proměnných s ohledem na funkčnost jednotlivých subsystémů, ale i vozidla jako celku. Následující kapitola pojednává o základních povinných i chtěných funkcích důležitých pro návrh konceptu vozidla se zaměřením primárně na kategorii vozidel třídy L.

2.1 Funkce vozidla

Jednotlivé obecné požadavky na vozidlo lze rozdělit na čtyři základní kategorie:

- funkční – zajišťuje prostor pro řidiče a pro přepravu osob nebo nákladu,
- provozní – zajištění potřebného přepravního výkonu, snížení nákladů na údržbu, zajištění spolehlivosti, dlouhé životnosti a bezpečnosti,
- výrobní – jednoduchost výroby, dostupnost použitých materiálů a energetická nenáročnost, zajištění dostatku náhradních dílů,
- dopady na okolí – dopady na dopravní infrastrukturu, ekologické dopady. [1]

Funkční a provozní požadavky úzce souvisí s bezpečností účastníků provozu ve vozidle, ale i mimo něj. Hlavní tři pilíře bezpečnosti tvoří člověk, vozidlo a infrastruktura. U vozidla můžeme bezpečnost dále rozdělit na provozní (vozidlo v pohybu) a mimoprovozní (vozidlo v klidu). Z funkčního hlediska musí být vozidlo v klidu zajištěno proti rozjezdu, samovolnému vzplanutí nebo odcizení. Provozní bezpečnost pak zajišťují prvky aktivní a pasivní bezpečnosti. Pod aktivní bezpečnost spadá bezpečnost při jízdě, bezporuchovost, zajištění dobrého výhledu a stálého ovládání. Prvky pasivní bezpečnosti chrání při nárazu posádku i ostatní účastníky provozu mimo vozidlo. Po nárazu pak zajišťuje snadné vyproštění, snižuje rizika požáru a minimalizuje pravděpodobnost dalších nehod. [1]

2.1.1 Povinné funkce plynoucí z technických předpisů

Pro rozdělení a kontrolu nad silničními vozidly vznikly kategorie, na které se dále vážou jednotlivé technické předpisy. Základním úkolem výrobce je, aby vozidlo prošlo takzvaným procesem homologace – tedy aby splnilo veškeré technické podmínky stanovené pro provoz na PK.

Homologaci vozidel v České republice definuje zákon č. 56/2001 Sb. „O technických podmínkách provozu silničních vozidel na pozemních komunikacích“ a vyhláška č. 341/2002

Sb. „O technické způsobilosti a technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích“. Technické požadavky dále upravuje celá řada předpisů EHK/OSN a směrnic EHS/ES. Požadavky na motorová vozidla jsou uvedeny také v českých normách ČSN a ISO normách.

V předpisech EHK/OSN je pro kategorii L definováno například osvětlení vozidel, nároky na brzdění nebo na zpětná zrcátka. Z ekologického hlediska je omezeno například množství exhalací nebo maximální vnější hluk vozidel. [2]

2.1.2 Chtěné funkce a jejich vliv na konstrukci

Mezi chtěné funkce patří dobrá ovladatelnost, cestovní komfort a dostatečné úložné prostory. Dobrou ovladatelnost zajišťuje především konstrukční řešení podvozkových částí. Cestovní komfort a dostatečný prostor pro zavazadla naopak zajišťuje propracovaný package vozidla. Do chtěných funkcí dále patří bezpečnost, jelikož ne u všech kategorií vozidel je bezpečnosti dáváno tolik pozornosti, kolik by bylo vhodné.

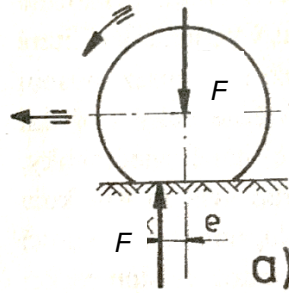
Do chtěných funkcí elektrického vozidla je také vhodné zařadit dojezd. Na dojezd vozidla má vliv mnoho faktorů. Jedním z největších je celkový jízdní odpor, u kterého předpokládáme, že odpovídá hnací síle F_K , kterou spočítáme podle vzorce:

$$F_K = O_f + O_v + O_s + O_z [N] \quad (2.1)$$

kde O_f představuje valivý odpor, O_v odpor vzduchu, O_s odpor stoupání a O_z odpor zrychlení.

Valivý odpor O_f vzniká v místě kontaktu pneumatiky a vozovky. Při kontaktu pneumatiky a vozovky dochází k deformaci na pneumatice do roviny vozovky. Reakce od vozovky $F [N]$ je stejně velká jako zatížení pneumatiky, ovšem je posunuta po směru jízdy o hodnotu $e [mm]$ (viz obrázek 1). Velikost valivého odporu závisí na tlaku v pneumatice a rychlosti kola (u rychlostí do 80 km/h u osobního vozidla zanedbáváme). Největší vliv na valivý odpor má však povrch vozovky, který přímo ovlivňuje součinitel valivého odporu $f_v [-]$. Pro porovnání f_v se při jízdě na asfaltu pohybuje mezi 0,01 - 0,02 a při jízdě na sněhu 0,2 - 0,4. [3]

$$O_f = F \cdot \frac{e}{r_d} = F \cdot f_v \quad (2.2)$$

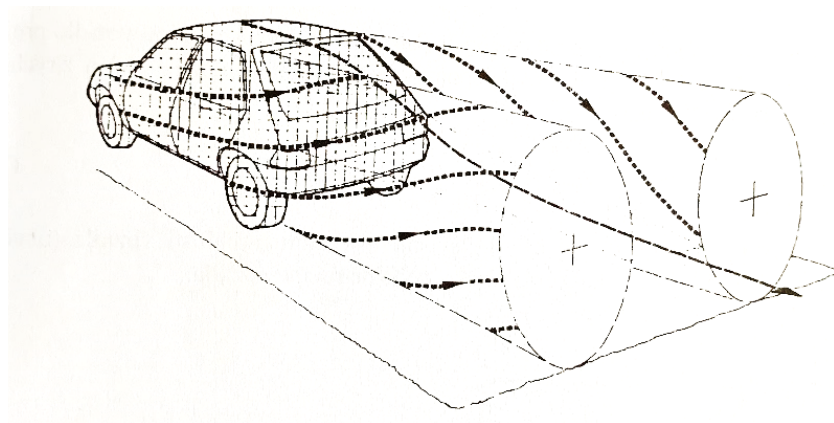


Obrázek 1 - valivý odpor na kolo vozidla [3]

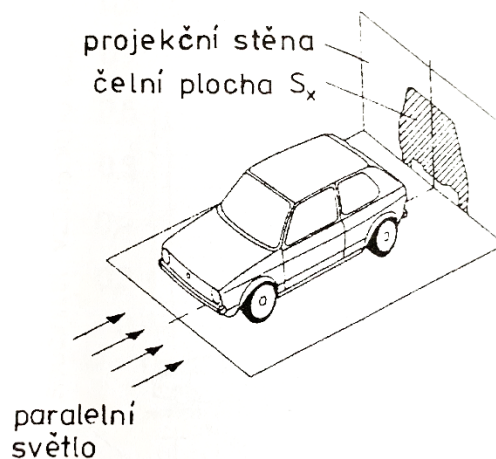
Odpor vzduchu O_v vzniká z proudění vzduchu kolem vozidla při jeho pohybu. Vzdušné víry, které se tvoří za vozidlem vlivem proudění vzduchu kolem karoserie, vytváří podtlak za zadní částí automobilu, který vozidlo brzdí (viz obrázek 2). Dále působí vzduch na automobil tlakem v přední části (vozidlo před sebou vzduch hrne) a třecí tečnou silou na povrchu karoserie při obtékání. Celkový odpor vzduchu se určuje pomocí aerodynamického vztahu:

$$O_v = c_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S_x \cdot v_r^2 \quad (2.3)$$

kde v_r [m/s] je výsledná náporová rychlost (při klidném vzduchu rychlost vozidla), ρ [kg/m³] je měrná hmotnost vzduchu a c_x je součinitel aerodynamického odporu. S_x [m²] představuje plochu průmětu čelní plochy vozidla (viz obrázek 3). Snahou u návrhu tvaru karoserie vozidla je snížení součinitele c_x . Hodnotu součinitele aerodynamického odporu výrazně ovlivňuje tvar předě a zádě vozidla a zakrytování podvozkových částí. [3] Se snížením odporu vzduchu přímo souvisí snížení spotřeby vozidla a aerodynamického hluku při jízdě, a tím navýšení jízdního komfortu. [3]



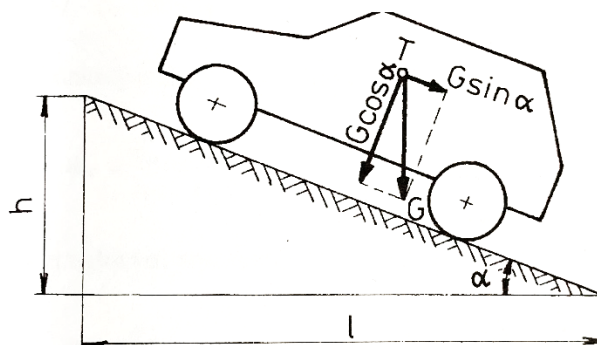
Obrázek 2 - aerodynamické víry za vozidlem [3]



Obrázek 3 - forma reprezentace čelní plochy [3]

Odpor stoupání O_s určuje tíha vozidla G [N] působící v těžišti vozidla (viz obrázek 4) a úhel stoupání (klesání) α [°] který svírá vozovka s vodorovnou rovinou a vypočítá se podle vzorce: [3]

$$O_s = G \cdot \sin \alpha \quad (2.4)$$



Obrázek 4 - vyjádření odporu stoupání [3]

Odpor zrychlení vychází z působení setrvačné síly při zrychlení vozidla. Urychlovací síla tak musí být stejně velká jako síla setrvačná.

$$F_a = -F = m \cdot a \text{ [N]} \quad (2.5)$$

Při rozjezdu je také nutné urychlit rotující hmoty (kola, hřídele, ozubená kola v převodovce). K hmotnosti vozidla tak musíme připočítat váhu rotujících hmot m_r [kg]. Při výpočtu také uvažujeme moment setrvačnosti rotačních součástí J [kg · m²] a rychlost otáčení ε [ot./min]. Hmotu m_r určíme ze vztahu pro kinematickou energii:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \varepsilon^2 = \frac{1}{2} \cdot m_r \cdot v^2 \rightarrow m_r = J \cdot \frac{\varepsilon^2}{v^2} \quad (2.6)$$

Výrazná závislost druhou mocninou převodu je též mezi rychlostí vozidla v [m/s] a úhlovou rychlostí rotujících součástí ε . Dle zařazeného rychlostního stupně se tento převod výrazně mění. Zvýšení efektivní hmotnosti vozidla se určuje součinitelem vlivu rotujících hmot θ : [4]

$$m_{ef} = (1 + \theta) \quad (2.7)$$

U přímého záběru mezi motorem a koly bez převodových kol je součinitel $\theta = 7 \%$. Osobní automobily standardně dosahují na 4. rychlostní stupeň $\theta = 70 \%$ a nákladní automobily jsou schopné na 8. rychlostní stupeň dosáhnout $\theta = 270 \%$. [4] Pro návrh pohonu elektromobilu bez vícestupňové převodovky je velmi důležité vybrat správný převodový poměr.

Dojezd u elektrického vozidla také významně ovlivňuje kapacita trakční baterie. S rostoucí kapacitou akumulátorů zpravidla roste i jejich hmotnost a objem jak samotné baterie, tak i ochranného boxu.

Mezi největší výzvy při návrhu vozidla patří nalezení optimálního vyvážení mezi chtěnými a povinnými funkcemi. Komplikace může nastat například při návrhu bezpečnostních systémů nebo bezpečnostní konstrukce, kdy s těmito funkcemi roste hmotnost vozidla. Právě hmotnost vozidla může být však omezena maximální hodnotou přípustnou pro zvolenou kategorii. Růstu hmotnosti se zvyšováním bezpečnosti lze předejít například použitím moderních kompozitních materiálů s vysokou pevností nebo pevnostních ocelí. To se ovšem může negativně projevit na finální ceně vozidla, která může být zvláště u malých vozidel rozhodující. [4]

2.2 Funkční celky vozidla

Pro potřeby této práce je vozidlo rozděleno na jednotlivé funkční subsystémy, které jsou dále rozvedeny.

Za základní konstrukční celky považujeme hnací soustavu, podvozek a karoserii. Samotnou karoserii pak můžeme dále dělit na nosnou konstrukci, která zaobaluje prostor pro přežití, a přepravní prostor. U některých funkčních částí však není zařazení úplně jednoduché, např. kolo můžeme zařadit jak do hnací soustavy, tak do podvozkové soustavy. [1]

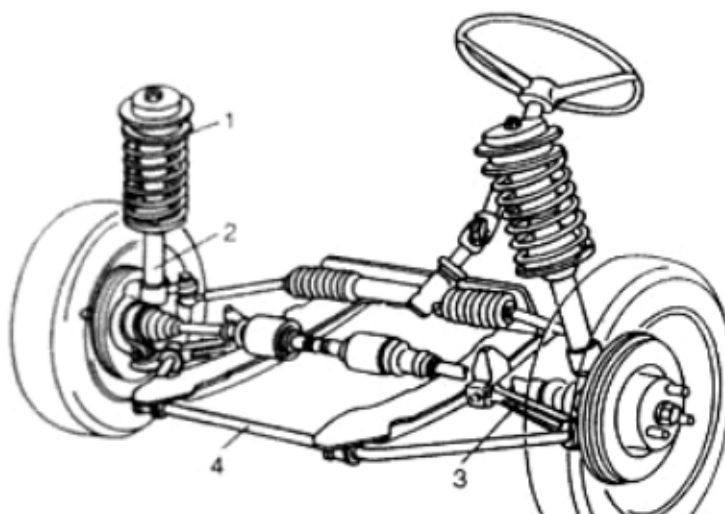
Hnací soustava

Hlavním úkolem hnací soustavy je přeměna energie na rotační pohyb a následný přenos sil na vozovku. Hnací soustavu tak můžeme považovat již od zásobníku energie, přes motor na poloosy a následně na kola.

Podvozek

Podvozek vede a nese vozidlo. Slouží k řízení, zajišťuje stabilitu, stará se o tlumení rázů od jízdy a nerovností na vozovce. Pomocí podvozkových komponentů je možné přesně definovat

geometrii kola a řízení, které pak umožňuje snadnou ovladatelnost. Mezi základní díly podvozku patří pružící a tlumící soustava, systém řízení, ramena a těhlice podvozku. V rámci podvozku hraje důležitou roli i kolo jako takové. [1]



Obrázek 5 - zavěšení typu McPherson (1 - pero, 2 - tlumící jednotka, 3, trojúhelníkové rameno, 4 - příčný stabilizátor) [26]

Karoserie

Karoserie spojuje všechny výše zmíněné funkční celky. Svoji funkci ve vozidle splní tím, že poskytne dostatek prostoru pro posádku a pro případný náklad. Základními úkoly karoserie je ochrana posádky a nákladu a dalších částí vozidla náchylných na vnější vlivy (nečistoty, povětrnostní podmínky apod.). Zároveň tvoří základní nosnou část. Karoserie má také velký vliv na bezpečnost. Při jízdě je také potřeba zachovat dostatečný komfort, který je pro řidiče přímo spojen s aktivní bezpečností. Z pohledu pasivní bezpečnosti jsou na karoserii kladeny ještě větší nároky. Vhodnou konstrukcí karoserie dochází při nehodě k pohlcení velkého množství kinetické energie. Na úkor nevratného poškození karoserie, konkrétně navržených deformačních zón, je zajištěna ochrana prostoru pro přepravu posádky. Právě požadavky na pasivní bezpečnost karoserií stanovují homologační předpisy EHK – OSN. [1][19]

3 Vstupní požadavky pro návrh vozidla L7e

Na základě výrobních záměrů je v první části kapitoly řešena koncepce uspořádání a hlavní parametry vozidla. Mezi hlavní parametry patří typ motoru a s ním související převody, základní rozměry, přípustná hmotnost, účel využití vozidla a další. Po stanovení všech zásadních parametrů dochází k tvorbě tzv. package. Jedná se o výkres prostorového rozvržení karoserie. Package se většinou zhotovuje ve 2D pohledu z boku vozidla na rovině vedoucí osou symetrie řidiče. [1] Takto zvolený pohled umožňuje detailní rozkreslení pozice sedění osob ve vozidle, rozmístění ergonomických prvků, výhledů z vozidla nebo 2D obrys nákladového prostoru.

3.1 Definice cílů

Záměrem práce je navrhnout rám vozidla spadajícího do kategorie L7e. Při návrhu je potřeba dbát hlavně na funkčnost s ohledem na technologický postup výroby. Jednou z metod ověření funkčnosti koncepce je právě tvorba package a umístění všech velkých, nebo důležitých funkčních prvků. Co se koncepce týká, je cílem dvoumístné elektrické vozidlo s možností uložení 64 kg baterií. Samotný bateriový box, v němž budou baterie uloženy, by měl být snadno vyjímatelný z důvodu testování výměnného zařízení. Tento koncept je zaměřený na provoz malého elektromobilu po městě s velkým celodenním vytížením. S možností výměny boxu během jednotek minut odpadá nepříjemná a zdlouhavá fáze nabíjení, která se stále pohybuje okolo půl hodiny a více.

Využití by si pak toto vozidlo našlo například ve službách. Jedním z parametrů, jenž je tak podstatný, je také maximalizace úložného prostoru při zachování minimálních rozměrů vozidla.

3.1.1 Výchozí parametry pro návrh vozidla

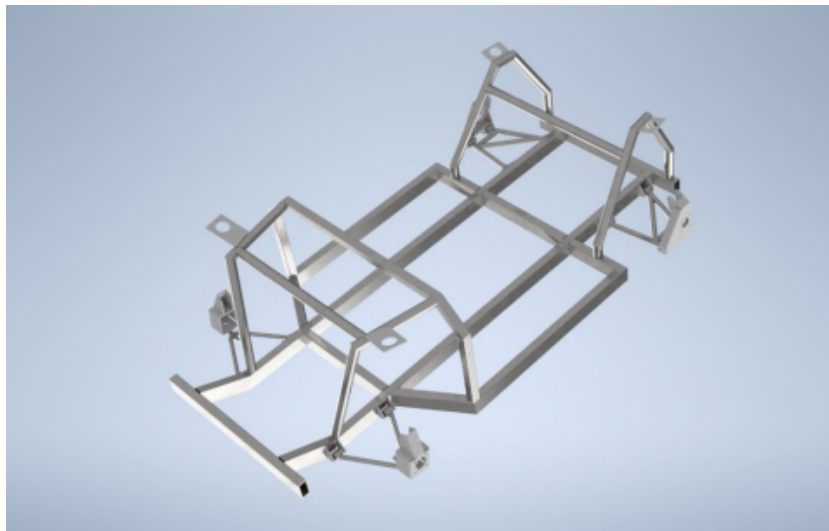
Jako odrazový můstek pro tvorbu rámu vozidla posloužily závěry z autorovy bakalářské práce, která se věnovala úpravám na podvozku vozidla Tabby EVO (obrázek 6).

V první fázi byla řešena geometrie zavěšení přední nápravy vozidla. Získané hodnoty nastavení zavěšení, které byly popsány jako výchozí s potenciálem pro úpravy, jsou popsány v tabulce 1.

Tabulka 1 - nastavení geometrie přední nápravy

Prvek nastavení	Hodnota
Sbíhavost kol	0°
Příklon rejdového čepu	14,7°
Záklon rejdového čepu	8°
Závlek kola	39,83 mm
Odklon kola	0°

V rámci práce bylo počítáno s umístěním baterií do prostoru mezi hlavní podélné nosníky. K tomuto účelu byl rám taky patřičně upravený. Největší změnou bylo použití nosníků o průřezu 70 x 40 mm. Od tohoto řešení bylo očekáváno snížení těžiště a úspora místa. Je však patrné, že u takového konceptu by byl bateriový box vystavován přímo případným rázům zespondu od vozovky. Tento návrh by si tak žádalo použití odolného boxu a případné použití spodních deformačních zón.



Obrázek 6 - rám vozidla řešený v bakalářské práci

Rozvor kol byl zachován na hodnotě cca 1660 mm a šířka podvozkové konstrukce byla také zachována na hodnotě 1440 mm z výchozího vozidla Tabby EVO.

3.1.2 Možnosti zlepšení

Řešení rámu je potřeba doplnit o horní rám nad prostor pro přežití. V tomto stavu rám nevyhovuje technickému požadavku na kompaktní karoserii, která by měla být přístupnou

pouze ze tří stran. Rám podvozku by tak měl zasahovat až nad posádku jako je tomu zvykem u celorámových karoserií.

3.2 Koncepční řešení u konkurenčních vozidel

Pro porovnání byla vybrána dvě konkurenční vozidla, na nichž byl proveden detailní rozbor koncepce a celkového řešení. Ve výběru šlo zároveň o porovnání vozidla z kategorie L7e a z kategorie M. Tyto dvě kategorie mají zcela rozdílné technické požadavky. Porovnání proběhlo se zaměřením na řešení celkového package, hodnocení bezpečnosti, komfortu a celkového technického řešení.

3.2.1 První konkurenční vozidlo Škoda CitigoE iV

První vybrané vozidlo je záměrně z jiné kategorie než vozidlo řešené. Jedná se o osobní automobil Škoda CitigoE iV (obrázek 7). Vozidlo je sourozencem elektrifikovaných vozů z koncernu VW Group Seat Mii s Volkswagen Up! [7]. Elektrická škodovka spadá do kategorie M1, podkategorie motorových vozidel pro přepravu maximálně osmi osob a jejich zavazadel dle EHK 13. [1] Jedná se o kategorii, do které spadají takzvaná plnohodnotná vozidla. Samotné CitigoE iV bylo zařazeno do výběru díky jeho kompaktním rozměrům. Přestože se jedná pouze o přestavěné vozidlo s původně spalovacím motorem, je tento vůz stále nejmenším elektromobilem z portfolia automobilky Škoda Auto. Bohužel výroba a prodej byla (zatím bez náhrady) ukončena v roce 2020.



Obrázek 7 - vozidlo Škoda CitigoE iV [8]

3.2.1.1 Technické specifikace

Výroba Škody Citigo, původně se spalovacím motorem, začala již v roce 2011. V roce 2019 pak byla představena elektrifikovaná verze. Vozidlo je vybaveno Li-ion baterií s kapacitou 36,8 kWh a s 60 Ah. Reálná využitelnost činí 32,3 kWh. Baterie je celkem poskládána

ze 168 článků. [8] Dle WLTP (normovaný jízdní cyklus) je udáván dojezd 265 km při spotřebě 14,8 kWh/100 km. Jedním z faktorů takto vysoké spotřeby může být vysoký součinitel aerodynamického odporu c_x , který je roven hodnotě 0,325. Reálná průměrná spotřeba naměřená na trase dlouhé 1100 km činí 16,4 kWh/100 km. [8] Zajímavým údajem u elektrického vozidla může být též reálný dojezd naměřený v zimě při klidné jízdě výhradně mimo dálnici kolem 200 km. [7][8]

O pohon elektromobilu Škoda CitigoE iV se stará asynchronní AC elektromotor s permanentními magnety o výkonu 61 kW s kroutícím momentem 212 Nm. [8] Zrychlení z 0-100 km/h je udáváno za 12,3 s. Důvodem je pohotovostní hmotnost vozidla, která je oproti vozidlu s konvenčním spalovacím motorem vyšší o 310 kg a celkově dosahuje hodnoty 1235 kg. Omezovač ve vozidle je nastaven na 130 km/h, a umožňuje tak pohodlnou a plynulou jízdu v dálničním režimu.

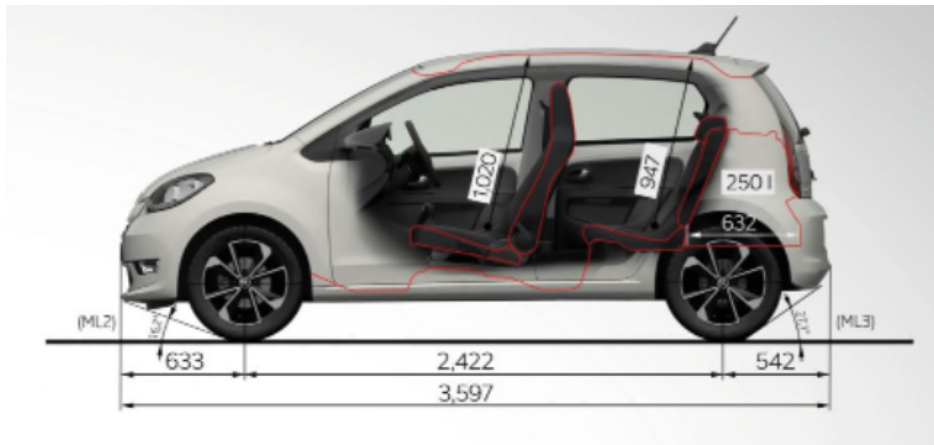
Co se týká nabíjení, elektromobil je vybaven palubní dvoufázovou nabíječkou (7,2 kW/2 x 16 A). Při nabíjení z domácí dvoufázové zásuvky 230 V je možné vozidlo z nuly do plna dobít za 15 h. Pomocí třífázové zásuvky se čas nabíjení zkracuje cca na třetinu. [8][9]

Řízení ve vozidle je řešeno přímočarou hřebenovou převodkou. Na přední nápravě je použito zavěšení McPherson s trojúhelníkovými rameny a příčným zkrutným stabilizátorem. Zadní náprava je řešena jednoduchou klikou s vlečenými rameny. Díky tomuto řešení činí průměr otáčení pouze 9,8 m.

3.2.1.2 Package vozidla

Jak již bylo zmíněno, koncepce vychází z vozidla se spalovacím motorem. Konkrétně elektrická verze vychází ze Škody Citigo s pěti dveřmi. Vnější rozměry karoserie činí 3 597 x 1 645 x 1 481 mm (délka x šířka x výška). Vnitřní rozměry jsou zobrazeny na obrázku 8. Kvůli původně spalovací koncepci vozidla bylo nutné umístit bateriový box do podlahy, a částečně také pod zadní sedadla místo palivové nádrže. Díky vytvarování boxu do popsáného prostoru nebylo nutné měnit geometrii sezení posádky. Elektromotor stejně tak nahrazuje původní spalovací pohonné ústrojí bez větších změn. Jedinou výraznou změnou je podlahový díl karoserie, na který se montuje baterie o celkových vnějších rozměrech 1,1 x 1,7 x 0,3 m a dva kabelové svazky, jež se starají o propojení baterie s pohonem a se zásuvkou nabíjení. [8]

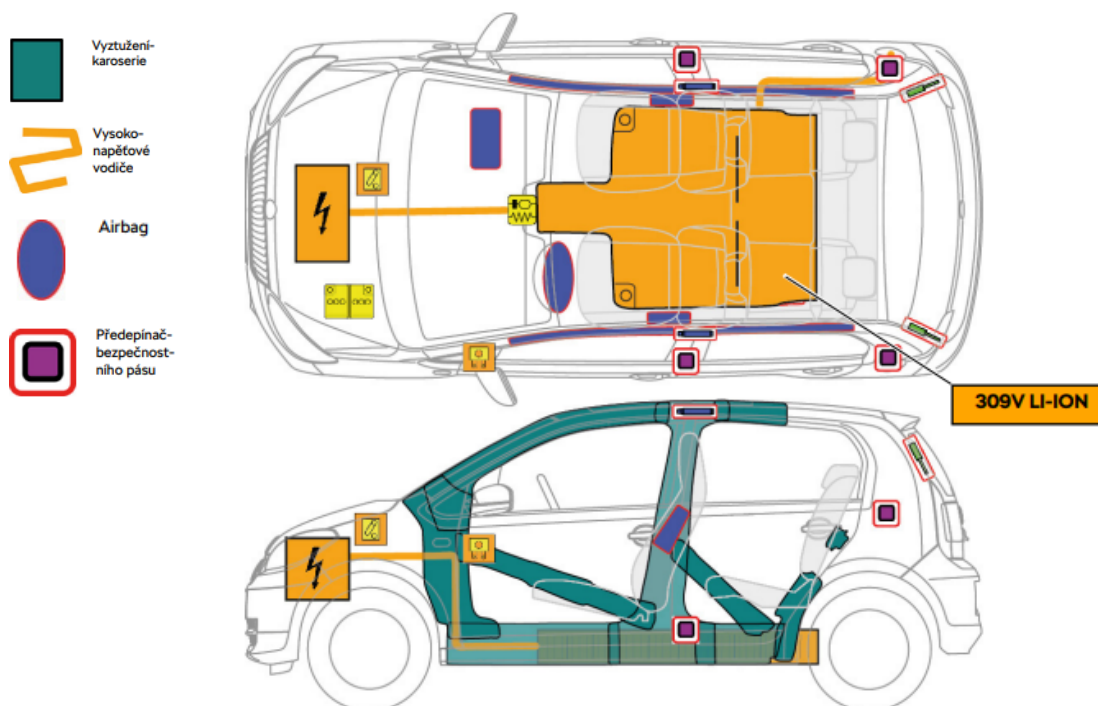
Koncepce vozidla nabízí prostor pro celkem čtyři osoby díky pětidveřovému provedení a rozvoru kol 2422 mm. Objem kufru je díky prostoru v kabině menší a dosahuje hodnoty 250 l. Dělená zadní sedadla je možné sklopit, a navýšit tak objem až na 923 l. [9]



Obrázek 8 - řešení package vozu Škoda CitigoE iV [9]

3.2.1.3 Řešení bezpečnosti

Škoda je jako již tradičně orientována na bezpečnost. K základní výbavě patří z pohledu aktivní bezpečnosti systémy ESC, ABS EBV, HHC a TPM. Vozidlo je také vybaveno základním asistentem jízdy v pruzích (Lane Assist). Volant a přední sedadla jsou výškově nastavitelná. Z pohledu pasivní bezpečnosti se ve vozidle při čelním nárazu aktivují velkoobjemové airbagy na předních sedadlech, a zároveň dochází k předepnutí tříbodových bezpečnostních pásů. V případě bočního nárazu jsou zde pro ochranu hlavy i trupu posádky na předních sedadlech takzvané airbagy Head-Thorax. Na zadních sedadlech jsou k dispozici systémy ISOFIX a Top Tether pro bezpečné ukotvení dětské autosedačky. [8] Vozidlo je také již povinně vybaveno systémem e-call s integrovanou SIM kartou.



Obrázek 9 - změny na konstrukci karoserie elektrické Škody Citigo [10]

Na karoserii vozidlo došlo k výrazným změnám spojených se zástavbou elektrického pohonu (viz obrázek 9). Z boku vozidla byla přidána řada výztuh karoserie. Vyztuženy byly prahy, A-sloupky, B-sloupky a oblouk střechy. Oproti verzi vozidla se spalovacím motorem jsou zde také masivnější výztuhy dveří a zesílené zámky. Cílem těchto úprav je zvýšení bezpečnosti posádky, ale také ochrana bateriového boxu v případě bočního nárazu.

3.2.1.4 Rozbor konstrukce karoserie

Trio VW e-Up!, Škoda CitigoE iV a Seat Mii stojí na společné platformě. Jedná se v dnešní době o nejčastěji používanou konstrukci samonosné karoserie. Toto konstrukční řešení nemá samostatný rám, ale motor a hnací ústrojí jsou připevněny přímo na karoserii. Takto řešená konstrukce karoserie si musí poradit také s namáháním působícím při jízdě vozidla. Velikou výhodou samonosné karoserie je její nízká hmotnost. [1]

Samotná karoserie je tvořena soustavou příčníků a podélníků. Důležitou nosnou funkci tvoří také příčka mezi motorem a přepravním prostorem, podlahový díl, prahy, střešní oblouky a zadní čelo. Torzní tuhost karoserie zajišťuje rám kolem víka kufru pátých dveří. U elektrifikované varianty je tuhost navýšena výztuhami na bocích karoserie, ale také samotným bateriovým boxem přimontovaným na karoserii. Karoserie je tvořena kompletně z oceli. Na části, kde je dost místa pro deformační zónu, a je tak možné použít dostatek materiálu, jsou použity klasické konstrukční oceli, případně vysokopevnostní oceli. V částech karoserie, kde není dost místa pro deformační zónu (typicky boky karoserie), se používají ultrapevnostní, případně tvrzené oceli. Tyto materiály mají za úkol zachovat tvar a energii z nárazu roznést do podlahy a střechy vozidla.

3.2.1.5 Testování bezpečnosti

V crash testu pořádaném společností Euro NCAP v roce 2019 získalo vozidlo Škoda CitigoE iV celkem tři hvězdy. To je způsobeno primárně změnou podmínek a absencí asistentů pro ochranu ostatních účastníků provozu, jako je například aktivní kapota. V kategorii ochrany posádky získalo vozidlo 81 % a v kategorii ochrany dětské posádky 83 %.

Formou crash testů bylo testováno konstrukčně identické vozidlo VW Up!. Při čelních nárazech se ukázalo, že ochrana hrudníku je dostačující, což je stěžejní kritérium. Při bočním nárazu došlo k úplné ochraně všech důležitých částí těla a vozidlo získalo maximální počet bodů. [11]



Obrázek 10 – crashtest plná bariéra při 50 km/h [9]

Jak je zobrazeno na obrázku 10, při rychlosti 50 km/h do pevné bariéry se stoprocentním přesahem došlo k deformacím pouze na přední části vozidla. Deformace nepokračovaly do A-sloupku a nedošlo ani k porušení čelního skla. Veškerou energii pohltily přední podélníky, výztuha nárazníku, kapota a motor. Airbag řidiče, společně s předepnutím bezpečnostního pásu, pohltil veškerou kinetickou energii těla a nedošlo tak ke kontaktu s žádnou tuhou částí karoserie.

3.2.1.6 Hodnocení vozidla

Škoda CitigoE iV je hodnocena jako malé, hbité a obratné vozidlo, ideální do města, díky dostatečnému výkonu a točivému momentu. Nastavení podvozku a vyšší světlá výška o 5 mm oproti verzi se spalovacím motorem výborně překonává nerovnosti a díky nízkému těžišti vozidlo vyniká stabilitou. Celková koncepce vozidla je více než jednoduchá. Nemá problém s převozem čtyř osob a v případě sklopení zadních sedadel ani s převozem většího nákladu. S dojezdem lehce nad 200 km a s cenovkou do půl milionu korun bylo elektrické Citigo hodnoceno jako ideální dopravní prostředek na krátké vzdálenosti. [8][13][14]

3.2.2 Druhé konkurenční vozidlo Citroen Ami

Jako druhé konkurenční vozidlo byl vybrán Citroen Ami (obrázek 11). Jedná se o dvoumístné vozidlo z kategorie L7e, tudíž o přímého konkurenta navrhovaného vozidla. Navíc je také čistě elektrický. Do výběru bylo toto vozidlo zařazeno díky jeho řešení. Ami je přímo orientovaný na potřeby zákazníka a jednoduchost. Dalším faktorem je, že se jedná o velmi aktuální vozidlo uvedené na trh v půlce roku 2020.

Citroen Ami vznikl také z důvodu, že podle francouzské legislativy je možné vozidla této kategorie, s rychlostí do 45 km/h, řídit od čtrnácti let s řidičským průkazem kategorie AM. Navíc osoby narozené před rokem 1988 mohou podobná vozidla řídit bez řidičského průkazu.



Obrázek 11 - Citroen Ami [15]

3.2.2.1 Technické specifikace

I přes to, že Citroen Ami spadá do kategorie L7e, a je tak omezen na výkonu horní hranicí 15 kW, jeho výkon dosahuje pouze 6 kW. Tento výkon je však dostačující, protože vozidlo váží pouze 425 kg bez baterií a s bateriemi o 60 kg více. Elektromotor je umístěný v přední části vozidla napříč a pohání přední nápravu.

Baterie ve vozidle jsou Lithium-iontové s kapacitou 5,5 kWh. Tato kapacita napomáhá hodnotě udávaného dojezdu 75 km. Velkou výhodou představuje rychlost nabíjení. Z nuly je možné elektromobil dobít do plna za 3 hodiny klasickou domácí zásuvkou 230 V.

Přední poháněná náprava má zavěšení typu McPherson. Zadní zavěšení je řešeno pomocí nezávislých klikových ramen. Kvůli absenci stabilizátorů není vozidlo dle recenzí v zatáčkách tak stabilní, ale díky symetrickému tvaru jinak nerovnosti překonává dobře. Při rychlosti do 45 km/h se dá podvozek označit za pohodlný. Velkou výhodou tohoto vozidla určeného primárně pro městský provoz je malý poloměr otáčení, který má hodnotu pouhých 3,6 m, a tak nemá problém s otočením v rámci většiny místních komunikací bez nutnosti couvání. [16][17]

3.2.2.2 Package vozidla

Package tohoto vozidla je řešený velice jednoduše. Bateriový box zabírá celý prostor pod sedadly. Samotná sedadla jsou tedy dvě, z toho pouze sedadlo řidiče je posuvné. Sedadlo spolujezdce je v úplné zadní pozici a počítá se s využitím prostoru před spolujezdcem pro drobný náklad.



Obrázek 12 - řešení package u užitkové verze Citroenu Ami [18]

Posádka ve vozidle sedí nezvykle daleko od čelního skla (cca 1,5 m). Za to může koncept karoserie, která je naprosto symetrická, a tak jsou čelní i zadní okno skoro kolmé. Z koncepce vozidla je patrné, že symetričností šlo o to ušetřit co nejvíce na výrobních nákladech. Vozidlo má naprosto stejný přední a zadní díl, který se liší pouze barvou světel. Boční díly jsou také naprosto symetrické, a to včetně dveří a uchycení pantů. Dveře řidiče se tak otevírají proti směru jízdy a dveře spolujezdce klasickým způsobem. Okna nejsou klasicky stahovací, ale pouze se polovina vyklápí nahoru jako u Citroenu 2CV. [16]

V interiéru není k dispozici prakticky žádná výbava. Citroen Ami disponuje pouze digitálním ukazatelem rychlosti, šesti ovládacími tlačítky, jednou páčkou pod volantem a držákem na telefon.

Citroen Ami byl představen také v užitkové verzi (obrázek 12), ve které nemá sedadlo spolujezdce. Místo něj je do tohoto vozidla o rozměrech 2 410 x 1 390 x 1 520 mm (délka x šířka x výška) možné přidat modulární box pro variabilní využití vzniklého prostoru s ložnou plochou až 400 litrů. Hmotnost nákladu, kterou je možné do vozidla naložit, činí 140 kg. [18]

3.2.2.3 Řešení bezpečnosti

Citroen Ami spadá do kategorie quadricyklů. Proto se na něj nevztahují stejná pravidla jako na plnohodnotná silniční vozidla z kategorie M. Ami je navíc naprosto jednoduché vozidlo, které útočí na co nejnižší cenu. Z pohledu bezpečnosti tak nemá bohužel ani airbagy, ani žádné deformační zóny. Jediné, čím Ami disponuje, jsou třibodové bezpečnostní pásy. Z pohledu bezpečnosti vyniká vysoko postavenými sedadly a velkými prosklenými plochami včetně střechy. Díky tomu je z vozidla dobrý výhled a snadno se s ním parkuje. [19]

3.2.2.4 Rozbor konstrukce karoserie

Karoserie vozidla je řešena spíše s ohledem na váhu než na pevnost. Celá konstrukce je řešena pomocí svařených ocelových profilů. Jedná se tak o rámovou karoserii, tvořenou převážně svařenými jekly, osazenou plastovou kapotáží.



Obrázek 13 - řešení konstrukce rámu karosérie Aixam [22]

V dané kategorii se výjimečně vyskytuje řešení pomocí tažených hliníkových profilů, které je elegantnější. Příkladem nasazení tohoto řešení jsou aktuální modely Aixam. Část karoserie označovaná jako prostor pro přežití je tvořena pouze taženými hliníkovými profily. (viz obrázek 13) Ve své třídě se jedná o originální a moderní řešení. Toto řešení má pozitivní vliv na pevnost a torzní tuhost karoserie. Největší výhodou, kterou toto řešení přináší, je pak nízká hmotnost konstrukce, díky které spadá vozidlo stále do kategorie lehkých quadrimobilů (L6e do 350 kg). [21][22]

3.2.2.5 Testování bezpečnosti

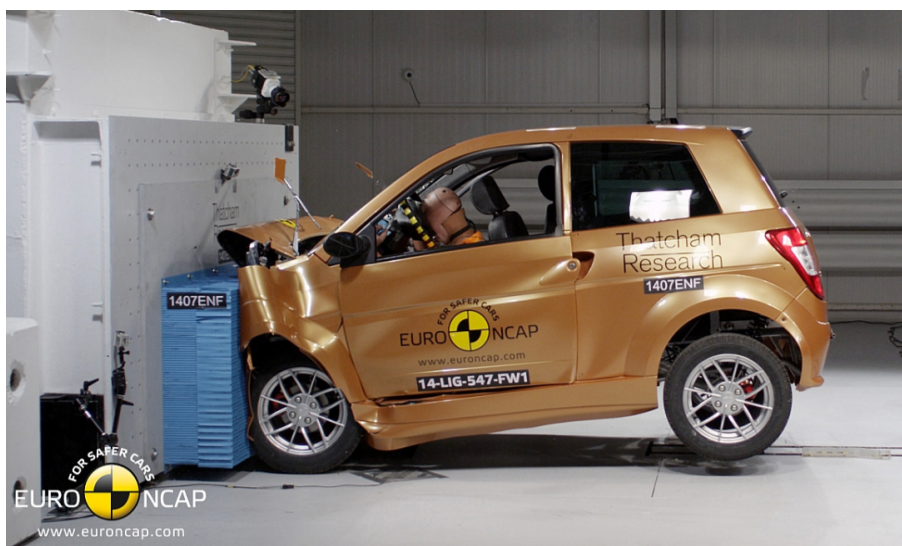
Tato kapitola je zaměřena obecně na testování bezpečnosti kategorie mikroaut z kategorie L7e. Společnost Euro NCAP zatím prováděla testy této kategorie pouze v letech 2014 a 2016. Citroen Ami tak na testování bezpečnosti stále čeká. Celkem probíhaly dva bezpečnostní testy, přičemž v prvním testu naráželo vozidlo do deformovatelné bariéry se stoprocentním přesahem. V druhém testu narážela do boku vozu mobilní bariéra. Nárazová rychlost obou testů byla 50 km/h. Podle společnosti Euro NCAP jsou vozidla této kategorie zapletena nejčastěji do těchto dvou typů nehod. [20]

Ligier Ixo

První řešené vozidlo je Ligier Ixo. V tomto případě se nejedná o elektromobil. Maximální rychlostí 70 km/h značně překonává rozebírané Ami, ale více se blíží řešenému vozidlu. Konstrukce karoserie Ligieru je řešená podobně jako u Citroenu trubkovým rámem s kompaktní karoserií.

U čelního nárazu (obrázek 14) došlo k značnému poškození konstrukce vozidla. Zásadní kritiku sklidily také bezpečnostní pásy. Při nárazu došlo k posunutí sedadla a bylo velmi pravděpodobné uškrcení řidiče. Dalším bezpečnostním problémem byl volant, u něhož došlo při nárazu k posunutí směrem k řidiči, což je nežádoucí. Za čelní náraz si Ligier Ixo vysloužil pouhé 2 body ze 16 možných. [20]

U bočního nárazu si vedl jen nepatrně lépe, co se týká bodového ohodnocení. 7,9 bodů ze 16 obdržel kvůli vylomení dveří z rámu a za zlomený středový sloupek. Při vylomení sloupku zároveň došlo k uvolnění sedadla řidiče, který tak přišel o jakoukoli oporu.



Obrázek 14 - čelní náraz vozidla Ligier - na obrázku je patrný ničím nezpomalený střet hlavy řidiče a volantu [20]

Tazzari Zero

Zástupcem za elektrické quadrimobily byl zvolen Tazzari Zero. Tento vůz disponuje stejně jako Citroen Ami, co se bezpečnostních prvků týká, pouze třibodovými bezpečnostními pásy. U Tazzari, na rozdíl od Ligieru, jsou na konstrukci karoserie použité též hliníkové odlitky, jež by v ideálním případě měly zvyšovat tuhost konstrukce. Zbytek karoserie je řešený obdobně jako u většiny vozů z dané kategorie trubkovým rámem. Tazzari je schopné dosáhnout až 100 km/h, což je 2x více, než jakou rychlostí byla tato zkouška prováděna.

Při čelním nárazu došlo k přetržení bezpečnostního pásu, jak je vidět na obrázku 15. Osobě ve vozidle tak nic nebránilo v kontaktu s volantem v plné rychlosti. Při testu došlo navíc k vniknutí předního bateriového boxu do kabiny, což by mohlo mít za následek při nárazu ve vyšší rychlosti vážné poranění nohou. Za takto fatální chyby Tazzari Zero získal pouze 4 body z 16.

Při bočním nárazu došlo stejně jako u předchozího vozidla k oddělení dveří od zbytku karoserie. Dle společnosti Euro NCAP by tato chyba mohla vést v kombinaci s přetrženým pásem k tomu, že řidič při nárazu opustí vozidlo. Za boční náraz Tazzari získalo 8 bodů z 16. [20]



Obrázek 15 - čelní náraz vozidla Tazzari Zero - detail na přetržený bezpečnostní pás [18]

3.2.2.6 Shrnutí testování bezpečnosti napříč mikroauty

Z porovnání výsledků dvou zmíněných vozidel je patrné, že bezpečnost v dané kategorii není absolutní prioritou. Naopak mezi těžkými quadrimobily dochází často k fatálním bezpečnostním selháním.

Společnost Euro NCAP otestovala dohromady pouze osm vozidel spadajících do kategorie nazvané Quadricycles and Microcars [23] za celou historii působení. V roce 2014 poprvé otestovala rozebíraná vozidla Ligier IXO a Tazzari Zero a dále Club Car a Renault Twizy. V roce 2016 se mezi testovaná vozidla přidal Chatenet CH30, Aixam Crossover GTR, Bajaj Qute a Microcar M.GO Family. Hodnocení bezpečnosti všech osmi vozidel je shrnuto v tabulce číslo 2.

Tabulka 2 - srovnání vozidel z kategorie L7e [21]

Vozidlo	Pohon	Počet hvězd	Čelní náraz [body]	Boční náraz [body]	Celkové hodnocení [body]	Celkové hodnocení [%]
Ligier IXO	Spalovací	☆☆☆☆☆	2	7,9	9,9	22
Club Car	Elektrický	☆☆☆☆☆	2	9	11	23
Tazzari Zero	Elektrický	★☆☆☆☆	4	8	12	31
Renault Twizy	Elektrický	★★☆☆☆	6	7	13	39
Microcar M.GO	Spalovací	★☆☆☆☆	4	6	10	28
Bajaj Qute	Spalovací	★☆☆☆☆	4	6	10	28
Aixam Crossover GTR	Spalovací	★☆☆☆☆	2	10	12	25
Chatenet CH30	Spalovací	★★☆☆☆	6	6	12	38

Dosáhnout v rámci hodnocení výsledku alespoň dvou hvězd se povedlo pouze vozidlům Renault Twizy a Chatenet CH30. U vozidla Renault Twizy se o tento výsledek zasloužila přítomnost dobře fungujícího airbagu. Dalším faktorem, který hrál ve prospěch Renaultu, byla dobrá konstrukce volantové tyče. Chatenet si odnesl stejné bodové hodnocení z čelního nárazu, a to nedisponoval airbagem. U tohoto vozidla měla velký vliv na bodové hodnocení stabilita a tuhost konstrukce karoserie.

3.2.2.7 Hodnocení druhého konkurenčního vozidla

Malé vozidlo Citroen Ami je hodnoceno jako vozidlo vhodné do města. Rozhodně vyniká svojí hbitostí díky elektrickému motoru a dobrou ovladatelností. Dojezd vozidla je také označován jako dostačující a vyhovující. Kriticky je hodnocena absence možnosti rychlonabíjení, jelikož Ami disponuje pouze klasickou nabíječkou o výkonu 220 V. Kladné hodnocení si získává pro svoji jednoduchost z pohledu designu ale i z pohledu funkčnosti. Z pohledu bezpečnosti se na Citroen Ami nelze dívat jako na bezpečné vozidlo, ale v městském provozu poskytne větší

pocit bezpečí než jednostopé dopravní prostředky. Před povětrnostními vlivy ochrání spolehlivě. [19][24]

3.2.3 Srovnání konkurenčních vozů a shrnutí poznatků

Ačkoliv se jedná o vozidla z jiných kategorií, jak Škoda CitigoE iV, tak Citroen Ami mají stejnou koncepci řešení pohonu. Motor je v obou případech umístěn v přední části a poháněná náprava je přední. Baterie mají oba vozy v podlaze, a to v prostoru pod sedadly. V rámci celku se samozřejmě liší z důvodu rozdílné kategorie i v dalších aspektech. Ami má nižší výkon, nižší dojezd a mnohem nižší hmotnost. U obou vozidel je ale podobný záměr. Mělo by se jednat o vozidla převážně do městského provozu s nulovými lokálními emisemi. Škoda má určitě velkou výhodu spojenou s vyšší maximální rychlostí a s tím spojeným pohodlnějším cestováním i v meziměstském režimu. Velkou výhodou je také o dvě místa větší prostor pro posádku. Citroen má však velkou výhodu díky kompaktnějším rozměrům a mnohem nižší pořizovací ceně. Koncepční řešení Citroenu se navíc zaměřuje na mladé řidiče možností řízení této kategorie v domácké Francii již od čtrnácti let.

4 Řešení package

Při návrhu package vozidla byly zohledněny jak normy, tak i doporučení pro konkrétní kategorii. Rozhodující je typ vozidla, předpokládaná velikost vozidla a počet přepravovaných osob. Vozidlo je uvažováno jako dvoumístné, třídvéřové, s rozvorem 1780 mm a rozchodem 1427 mm. Rozměry vozidla tak nepřesáhnou normované rozměry.

4.1 Výchozí parametry návrhu

Vybraná kategorie rozměry nijak přísně nelimituje, ale je dobré držet se rozměrů vozidel stejné koncepce. Konečné základní rozměry však budou vycházet primárně z rozmístění osob, nákladu, baterií a pohonné jednotky ve vozidle. V následující tabulce číslo 3 jsou porovnaná vozidla spadající také do kategorie L7e. Do výběru byly zařazeny pouze elektromobily kvůli podobnému problému s rozložením hmotnosti.

Tabulka 3 - srovnání vnějších rozměrů vozidel podobné koncepce

Vozidlo	Délka (rozvor) [mm]	Šířka (rozchod) [mm]	Výška [mm]
Citroen Ami	2410 (1728)	1390 (1210)	1520
Tazzari Zero City	2795 (-)	1500 (-)	1450
Aixam e City pack	2762 (1795)	1500 (1345)	-
Microlino	2519 (-)	1473 (-)	1510

Rozměrově se konkurenční vozy navzájem liší jen minimálně. Na šířku je největší odchylka pouze 110 mm a na délku 380 mm. Z rozměrů je patrné, že i v minulosti řešený rám zapadá do koncepce v dané kategorii, a lze se tak od něj odrazit.

4.2 Umístění battery packů

Při návrhu package bylo vhodné začít od prvku, který je nenahraditelný v rámci pohonného ústrojí, má velkou hmotnost a zároveň nezanedbatelné rozměry. Baterie poskládané do boxu byly první komponent, u kterého bylo důležité promyslet umístění. Pozice baterií by měla mít logiku v rámci layoutu vozidla a také kvůli snadnému přístupu a pasivní bezpečnosti.

Články LiFePO₄ pro stavbu battery boxů mají každý 2 kg. Celkem bylo uvažováno 32 článků. Ačkoliv se hmotnost baterií nepočítá do normované hmotnosti (hmotnost samotných baterií uvažujeme jako hmotnost paliva u konvenčního spalovacího motoru), určitě není pro řešení vozidla zanedbatelná. [25] Hmotnost baterií má velký vliv na polohu těžiště. Z toho důvodu je vhodné umístit baterie symetricky a co nejnižše. Pro rozložení hmotnosti přesně mezi přední a zadní kola je také vhodné umístit boxy do poloviny délky rozvoru.

Při návrhu bylo nutné uvažovat snadnou vyjímatelnost boxů, jelikož jedním ze základních uvažovaných parametrů byla právě rychlá vyměnitelnost boxu za nový. S tímto požadavkem také souvisí rychlý přístup bez zdlouhavého odstraňování krytů a dalších dílů karoserie.

V následujících podkapitolách jsou rozebrány jednotlivé varianty umístění baterií ve vozidle.

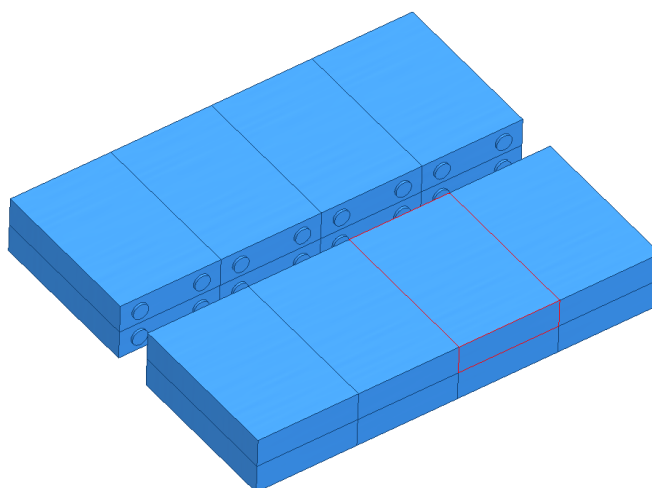
4.2.1 Baterie rozmístěné po celém vozidle

Varianta s rozmístěním menších battery packů po celém vozidle má jednu velkou výhodu. Pomocí menších či větších boxů lze prakticky ideálně vyvážit celé vozidlo. Toto řešení s sebou nese zásadní problém s bezpečností. Počet míst, která obsahují baterie, zároveň zvyšuje počet míst, které je nutné chránit při nárazu. Negativní vliv může mít toto řešení i na hmotnost. S počtem jednotlivých boxů roste i potřebná plocha obalu a složitosti spojené s propojováním baterií.

4.2.2 Baterie v podlaze

Pro ideální rozložení hmotnosti se přímo nabízelo rozmístit baterie do podlahy mezi jednotlivá kola pod prostor pro posádku. Při správné konstrukci by se jednalo o ideální řešení. Váha by byla rozložena nízko a na velké ploše. Battery box, jenž bývá chráněný tuhým obalem, by zároveň zvyšoval tuhost karoserie. V případě vyměnitelného boxu bylo následně nutné uvažovat absenci spodní ochrany v případě vyjímání boxů ze spodní strany. Veškeré vnější vlivy by poté měly přímý dopad na samotný box, který by tak musel být schopen odolávat všem rázům ale i vodě a vlhkosti.

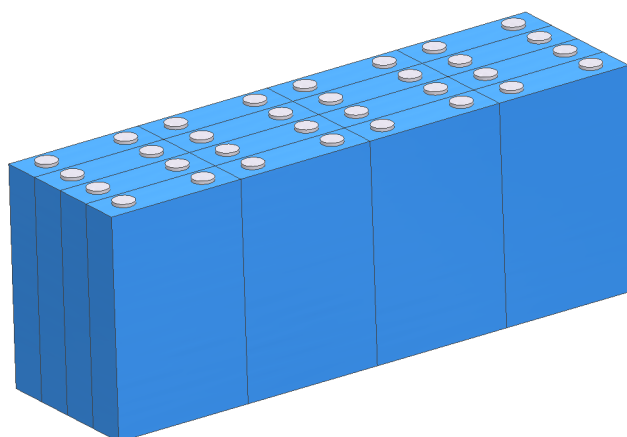
V případě použití boxů v podlaze s potenciálním přístupem z boku bylo možné uvažovat spodní ochranu také pomocí nosníků rámu podvozku. Jednalo by se pak o řešení připomínající jakýsi sendvič, kdy by byl box umístěný mezi dvě vrstvy nosníků. Zároveň by se také mohl z velké části podílet na tuhosti konstrukce. Do těchto boxů bylo vhodné umístit baterie na plochu ve dvou vrstvách (obrázek 16). Velikost jednoho boxu by následně byla přibližně 522 x 454 x 74 mm. Nevýhodou by mohlo být zvýšení pozice pasažérů ve vozidle. S tím souvisí i zvýšení karoserie vozidla a teoretický nárůst hodnoty koeficientu aerodynamického odporu.



Obrázek 16 - rozmístění baterií v boxu u varianty v podlaze

4.2.3 Baterie pod sedadly

Další variantou bylo umístění kvádrových battery boxů pod sedadla. Toto řešení nezaručilo umístění boxu přímo v těžišti, jelikož velmi záleželo právě na pozici sedadla u daného vozidla. Prostor byl také omezen výškovou normou upravující pozici sedadla u osobního automobilu. Velkou výhodou tohoto řešení byla ochrana prostoru na battery box samotným rámem ze spodní strany a pomocí dveří z obou boků. Eliminováni by se tak nároky na pevnost a voděodolnost. Z pohledu přístupu byl záměr takový, že po otevření dveří lze bateriový box vysunout stejným stylem jako takový „šuplík“ podobné konstrukce jako u druhé varianty boxů v podlaze.

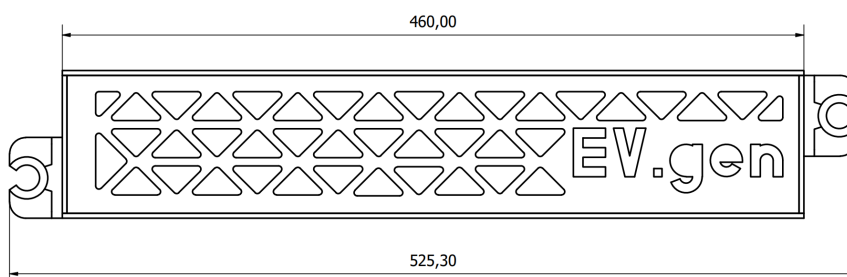


Obrázek 17 - umístění baterií v boxu v prostoru pod sedadly

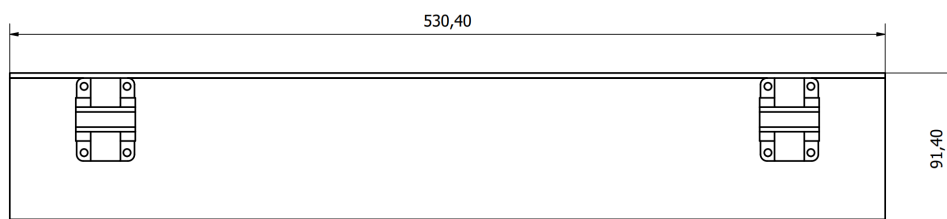
Při použití dvou battery boxů s navrženými rozměry 180 x 230 x 600 mm (obrázek 17) bylo vhodné umístit boxy symetricky (z každé strany jeden) a na výšku. Boxy by tak bylo možné v závislosti na konstrukčním řešení vysouvat buď oba z pravé strany průchodem skrz celé vozidlo, nebo každý box zvlášť z příslušné strany.

4.2.4 Popis řešení vybraného boxu

Z výše zmíněných variant byla vybrána dvojice boxů umístěných v prostoru podlahy. Jednalo se o variantu výsuvných boxů přístupných z obou stran. Hlavními výhodami řešení bylo snížení nároků na ochranu boxu konstrukcí a snadná možnost rychlé výměny. Nad variantou umístění boxů pod sedadly měla tato varianta velikou výhodu díky následnému vyvážení celého vozidla. Posádka ve vozidle této velikosti sedí blíže zadní nápravě, a bylo tak vhodné boxy umístit do přední části podvozku. Základní rozměry uvažovaného bateriového boxu jsou na obrázcích 18 a 19.

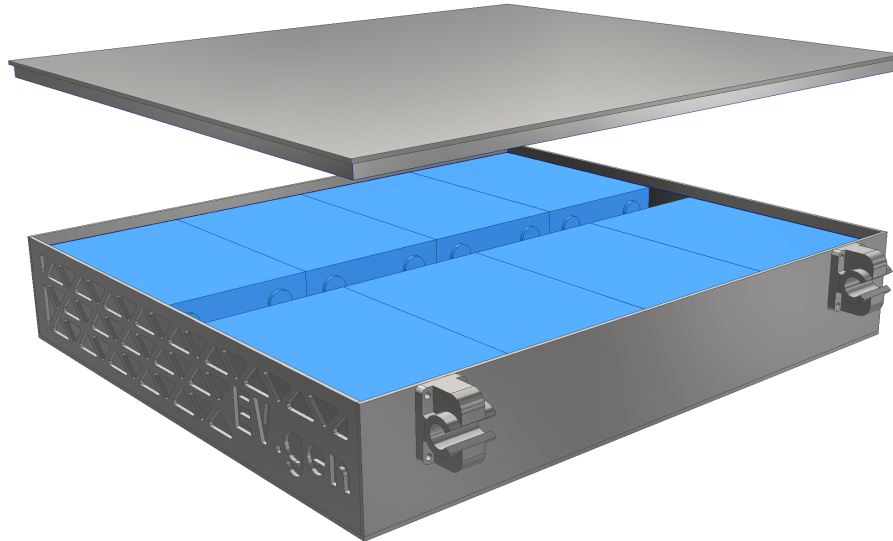


Obrázek 18 - čelní strana navrženého bateriového boxu



Obrázek 19 - boční strana navrženého bateriového boxu

Konstrukce samotného boxu byla navržena jako kompaktní hliníkový obal z plechu o tloušťce 1 mm. Do boxu není nutné dle výrobce bateriových článků přidávat větrací otvory. Samotné baterie se nepřehřívají ani při maximální proudové zátěži. Pro celkovou dodatečnou ochranu byla druhá vrstva obalu navržena z ocelového plechu o tloušťce 3 mm s odlehčením v podobě otvorů viz obrázek 20). Víko boxu je uvažováno z horní strany řešené stejnou dvouvrstvou metodou a navrženým spojováním pomocí šroubů ze všech čtyř stran po obvodu boxu. K základním rozměrům jednotlivých baterií byl přidán prostor mezi články na umístění ovládacích modulů a propojovacích kabelů.



Obrázek 20 - návrh bateriového boxu – vizualizace

Vzhledem k počítaným rozměrům se jednalo o velmi kompaktní dvojici boxů. Při nynějším umístění boxů pouze do přední poloviny rámu vozidla bylo možné počítat s prostorem pro druhou dvojici boxů do budoucna. Zdvojení použitých baterií by přineslo zdvojnásobení teoretického dojezdu při zachování stejného napětí. V rámci vozidla by tato úprava nevyžadovala žádné zásadní zásahy do rámové konstrukce.

4.3 Ergonomie

V následující kapitole je rozebrána ergonomie osob ve vozidle a s tím související geometrie sedění a rozmístění ovladačů.

Ergonomie je vědní obor, který vznikl spojením dalších vědních oborů, jako je průmyslová antropologie, fyziologie práce, bezpečnosti práce, psychologie a hygieny. Tento vědní obor se zabývá spojením konstrukce strojů s fyzickými a psychickými vlastnostmi a schopnostmi člověka. Cílem je vytvořit optimální pracovní prostředí s využitím pracovní kapacity člověka a zároveň zabránit nepříznivým vlivům na zdraví člověka při práci. [26]

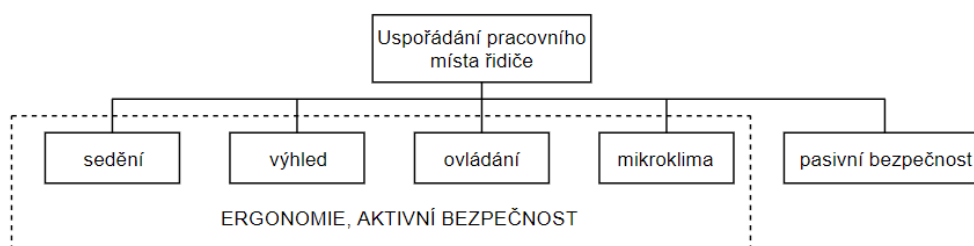
Při návrhu karoserie vozidla je z pohledu ergonomie zásadní řešit hlavně:

- zajištění správného řešení sedění osob ve vozidle s ohledem na rozměrové odchylky ve fyziologii člověka (geometrie sedění),
- rozmístění ovládacích prvků ve vozidle a ověření jejich tvarů,
- zajištění fyziologicky správného podepření těla,
- definice a vyhodnocení ovládacích sil a kontrola vykonávaných pohybů při řízení vozidla,
- ověření vhodnosti tvaru a umístění kontrolních přístrojů,

- zajištění dobrého výhledu a signalizace,
- snížení celkového vlivu hluku a vibrací od vozidla a okolí,
- zajištění pasivní bezpečnosti osob ve vozidle. [5]

Ergonomie přímo souvisí s pasivní bezpečností, jelikož správně navržená karoserie zajišťuje pro člověka minimalizaci využívání jeho biologických rezerv. Karoserie navíc přímo ovlivňuje takzvanou operační bezpečnost jízdy, kam patří vjemová, pozorovací a ovládací bezpečnost. Nepřímo navíc konstrukce karoserie ovlivňuje kondiční bezpečnost. Kondiční bezpečnost lze popsat jako stav, kdy konstrukce karoserie pozitivně stimuluje pohodlí řidiče během jízdy. Pohodlí řidiče přímo ovlivňuje rychlost a intenzitu nástupu únavových jevů.

Celkově je řízení velmi náročné pro celé tělo zvláště při dlouhých jízdách. Pozice rukou je na volantu vůči tělu výš než při běžné práci. Navíc při používání manuální převodovky ve vozidle musí pravá ruka vykonávat další pohyb. Nohy jsou také více natažené a musí působit tlakem na pedály ovladačů. Řidič je často nucen setrvat v jedné poloze dlouhou dobu. Při dlouhodobém řízení vozidla často dochází ke vzniku křečí v nohou, bolestem zad a krční páteře. [27]



Obrázek 21 - vlivy na geometrii sedění řidiče vozidla [5]

Místo působnosti řidiče tak musí být koncipováno s ohledem primárně na pozici sedění, ovládání a výhled z vozidla (viz diagram na obrázku 21). Od pozice řidiče se často odvozuje celá geometrie interiéru vozidla. Společně s technickými podmínkami pak konstrukce sedadel určuje rozmístění osob ve vozidle. [5]

4.3.1 Umístění osob ve vozidle

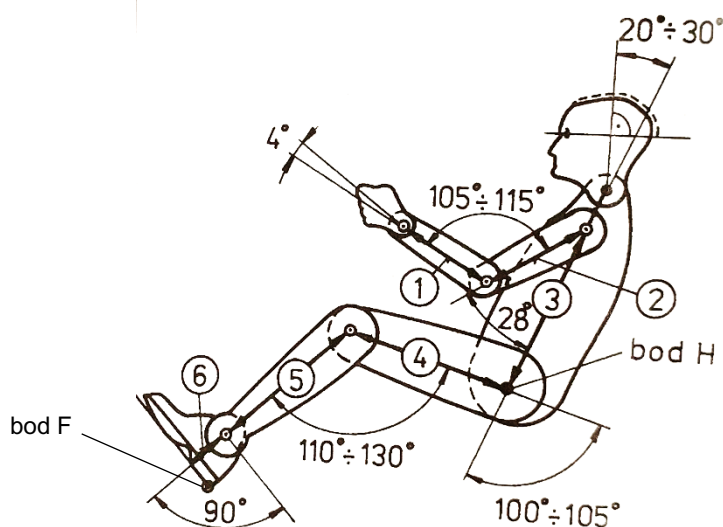
Poloha řidiče ve vozidle (geometrie sedění) nejvíce ovlivňuje rozmístění všech osob ve vozidle. Ta je jednoznačně určena polohou sedadla, základních ovládacích prvků ve vozidle jako jsou pedály a volant. Pozice spolucestujících není v první fázi návrhu rozhodující a může se měnit i během jízdy.

Pro návrh geometrie sezení a pak i následné ověření správnosti se využívá dvourozměrná šablona podle české normy ČSN 30 0725 nebo podle německé normy VDI 2780 dle doporučení SAE J 833a. [5]

Pro účely měření se pak používá řada trojrozměrných figurín podle funkce. U figuríny je důležité, aby nesla všechny antropometrické znaky sedícího člověka. Figurína se používá zatěžkavací a vychází z průměru populace řidičů v USA. Konkrétní figurína je nastavena na rozměry dospělého muže 50 % velikostní skupiny. Dle potřeby je možné nastavení od 5 % do 95 % velikostní skupiny. Její účel spočívá v ověření pracovního místa řidiče, parametrů sezení a umístění osob ve vozidle.

Pomocí figuríny lze definovat bod H. Na figuríně je bod H definován bodem otáčení trupu a stehna (poloha kyčelního kloubu). Pro řešení pozice bodu H se také definuje vtažný bod označovaný jako R. Bod R odpovídá bodu H v zadní nejnižší pozici, jakou sedadlo dovoluje. Pro určení bodu R slouží pozice sezení u 95 % muže velikostní skupiny.

Dalším důležitým bodem při řešení geometrie sezení je bod F. Jedná se o patní bod a definuje místo dotyku paty s podlahou. Po nastavení bodu F by mělo docházet ke kontaktu chodidla figuríny a pedálu akcelérátoru. Při nastavování bodu F může také dojít ke stlačení pedálu, a to až do maximální dolní polohy definované výrobcem. [5]



Obrázek 22 - doporučené rozměry sezení podle normy VDI 2780 [5]

Norma VDI 2780 udává na rozdíl od české normy hodnoty tělesných rozměrů pro 5 % ženu a 95 % muže (z konkrétních velikostních skupin). Toto rozpětí ideálně pokrývá značnou část populace. Další výhodou proti normě ČSN 30 0725 spočívá i v zahrnutí horních končetin do popisu. V rámci normy jsou také popsány rozmezí pohodlných úhlů mezi jednotlivými

končetinami. Velmi důležité jsou rozpětí úhlů v rámci nohou. Pokud nejsou zachovány doporučené hodnoty, je zde riziko křečí dolních končetin (viz obr. 22 a tab. 4).

Tabulka 4 - doporučené rozměry figuríny podle VDI 2780 [5]

Část těla viz obr. 22	5 % žena [mm]	95 % muž [mm]
1	210	264
2	236	301
3	401	493
4	357	452
5	418	535
6	102	120
Celková výška	1500	1849

Rozměry v tabulce 4 byly použity pro tvorbu dvou zkušebních figurín v programu Inventor. Vzhledem k tomu, že německá norma definuje pouze délky jednotlivých částí těla, byly pro tvorbu figuríny použity dostupné poloměry jednotlivých kloubů uvažovaných pro tvorbu 2D figuríny dle normy ČSN 30 0725. Vzájemná vzdálenost dolních končetin byla převzata z maximální hodnoty nastavitelné trojrozměrné figuríny 424 mm.



Obrázek 23 - 3D figurína 95 % muže vytvořená podle normy VDI 2780

Pro potřeby vozidla byly vytvořeny figuríny o dvou velikostech. Vzhledem k rozdílným geometriím sedění byly sledovány úhly mezi jednotlivými končetinami pro zachování pohodlného posezu za volantem.

V této fázi bylo nutné učinit výběr sedadel. Od použitých sedadel se pak dále bude odvíjet celý rozsah výškového i dopředného posuvu. Pro stavbu vozidla byla poskytnuta sedadla z vozu Škoda Rapid (obrázek 24). Sedadla disponují hlavovou opěrkou s nastavitelnou výškou a možností změny úhlu opěry. Sedadlo je navíc možné podélně posouvat až o 230 mm a výškově nastavovat v rozmezí 0 až 100 mm.



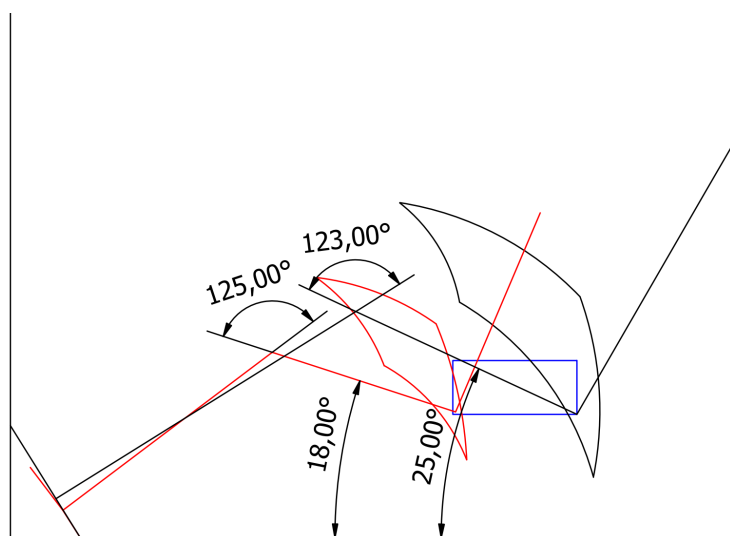
Obrázek 24 - sedadlo Škoda Rapid použité jako výchozí

Hodnoty jednotlivých úhlů pro muže o výšce 1849 mm a ženu 1500 mm jsou v následující tabulce číslo 5 společně se souřadnicemi bodu H. Proti normovaným rozměrům vzniklo pouze pár drobných odlišností vzniklých předpokládaným použitím volantu bez možnosti nastavení.

Tabulka 5 - umístění normovaných osob ve vozidle, porovnání s rozmezím pro VDI 2780 doplněné o ČSN 30 0724

Hodnota	Rozmezí	Žena 5 %	Muž 95 %
Úhel stehna a holeně [°]	95 - 135	125	123
Úhel stehna a trupu [°]	95 - 105	95	100
Úhel trupu a paže [°]	28	28	35
Úhel paže a předloktí [°]	105 - 115	115	120
Úhel stehna vůči vodorovné rovině [°]	5 - 25	18	25
Výška bodu H od bodu F [mm]	180 - 300	232	228
Vzdálenost bodu H od bodu F [mm]	-	825	1050

Další metodou pro posouzení správnosti návrhu geometrie sezení s navrženým sedadlem je takzvaný diagram využitelných polí pro seřízení sedadla. V diagramu (obrázek 25) jsou vyneseny rozsahy pohodlných ohybů kloubů pro dvě řešené velikosti postavy. Muž větší než 95 % populace je vynesena černou barvou a žena větší než 5 % populace je vynesena červenou barvou. Pro obě postavy jsou odpovídajícími barvami vyneseny extrémní stavy pomocí obalových křivek vzniklých pohybem bodu H. Pomocí modrého obdélníku je zde vynesena rozsah nastavitelnosti sedadla.



Obrázek 25 – rozmezí pohybu bodů H pro dvě velikosti postavy a s vyznačením nastavitelnosti sedadla

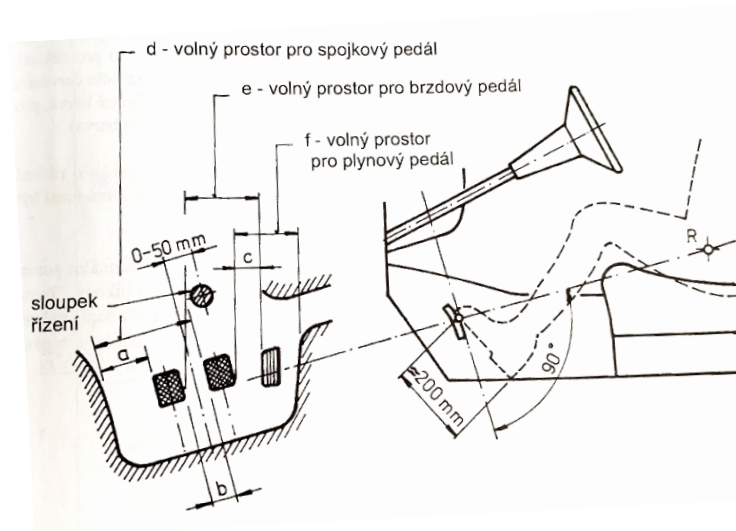
4.3.2 Umístění ovladačů

Ovladačem je myšleno zařízení, které umožňuje řidiči přímo či nepřímou změnu stavu vozidla.

Při umísťování ovládacích a kontrolních prvků ve vozidle musí být v první řadě brána v potaz dosažitelnost, ale také jednoduchá poznatelnost a ovladatelnost. U ovladačů, které řidič standardně nehledá pohledem, je potřeba zajistit jejich snadnou polohovou identifikaci. Důležitá je stálá poloha vůči sedadlu. Dále je důležitá snadná tvarová identifikovatelnost a vzájemná vzdálenost jednotlivých ovladačů. Samotná poloha pedálů, volantu, řadící páky a sedadla řidiče je upravena normou DIN 73 001, ČSN 30 0734 normy ISO a předpisy EHK/OSN. [2][5]

U pedálové soustavy jsou limity na:

- umístění pedálů vůči sedadlu,
- vzájemné vzdálenosti pedálů,
- umístění pedálových ploch v rozmezí pohodlných úhlů mezi částmi těla (obrázek 26).

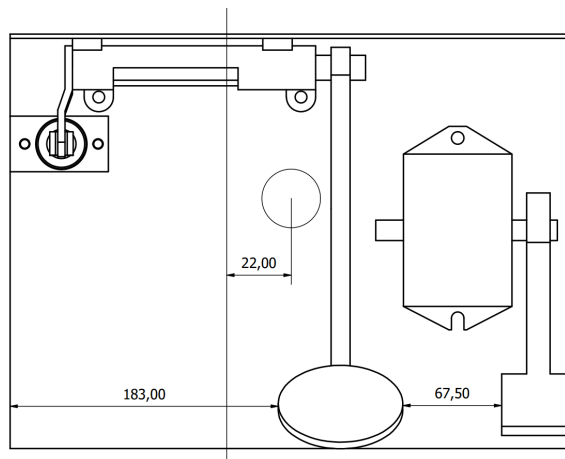


Obrázek 26 - rozmístění pedálů a sloupku řízení podle normy ČSN 30 0734 - $a = 120 \text{ mm}$, $b = \text{min. } 100 \text{ mm}$, $c = \text{min. } 60 \text{ mm}$, $d = \text{min. } 160 \text{ mm}$, $e = \text{min. } 150 \text{ mm}$, $f = \text{min. } 140 \text{ mm}$ [5]

Při umísťování pedálů a volantu do interiéru vozidla byla určitou polehčující okolností absence spojkového pedálu, jelikož má řešené vozidlo elektrický pohon a jednostupňový převod. Pedál akcelérátoru byl převzat ze sady dodávané s motorem od výrobce Motoenergy. Tím byla zajištěna jeho kompatibilita s motorem a řídicí jednotkou v principu plug-and-play.

Řešení brzdového pedálu podléhalo více kritériím. V rámci zachování jednoduchosti bylo záměrem brzdový pedál převzít z existujícího vozidla a zajistit tak jeho funkčnost a snadnou propojitelnost také s odpovídajícím hlavním brzdovým válcem. Podmínka byla na pedál bez posilovače, kvůli jednoduchosti a úspoře místa. Volba nakonec padla na pedál z vozidla Trabant 601. Pedál z tohoto vozidla je ideální alternativou, jelikož je konstruován pro vozidlo podobné váhové kategorie a je již v základu bez posilovače. Funkci posilovače zde nahrazuje jeho délka a průměr válečku v hlavním brzdovém válci.

Výsledné řešení pedálové soustavy je zobrazeno formou výkresu na obrázku 27 a 3D model řešení je na obrázku 28.



Obrázek 27 - rozmístění pedálů (zleva pedál brzdy, pedál akcelérátoru) a volantové tyče



Obrázek 28 - vizualizace pedálové soustavy

Co se týká volantu, byl převzat z vozidla Aixam (modelová řada vyráběná do roku 2010). Volant byl převzat kompletně s celým řízením. Toto řízení bylo zvoleno primárně díky jeho kompaktním rozměrům a hmotnosti. Dalším důležitým faktorem byla dostupnost. Jedná se o řízení bez posilovače, jenž není v kategorii L7 vyžadován, a zároveň bez volantového airbagu.

4.3.3 Celkové rozměry místa řidiče

Z pohledu legislativy bylo potřeba dodržet minimální definované rozměry kolem místa sedění řidiče. Konkrétní rozměry upravuje norma ČSN 30 0724 pro vozidla kategorie M. Vzdálenost od sedáku sedadla po stropnici činí $h = 1100$ mm, měří se pod úhlem 8° a prochází bodem R. Hodnota $e = 180$ mm musí být dodržena mezi dolním okrajem volantu a nezátíženým horním okrajem sedadla v horní poloze. Od osy pracovního místa řidiče musí být volný pracovní prostor nalevo $b_1 = \text{min. } 350$ mm a napravo $b_2 = \text{min. } 400$ mm.

Tabulka 6 - rozměry místa pro řidiče

	Norma [mm]	Reálný prostor [mm]
h	1100	980
e	180	180
b ₁	350	418
b ₂	400	425

Do tabulky číslo 6 bylo zaznamenáno porovnání normovaných rozměrů s reálným prostorem ve vozidle. Hodnoty byly odměřeny z 3D modelu vytvořeného v programu Inventor. Nesplnění normy pro hodnotu h si lze vyložit tím, že se u sedadel předpokládá větší sklon opěradla, než je definovaný úhel pro odečítání. Výška prostoru nad hlavou bude však dále ověřena.

4.4 Výhledy

Z pohledu aktivní bezpečnosti je pro řidiče jedním z nejdůležitějších faktorů výhled z vozidla. Pro řidiče jsou při jízdě nejdůležitější optické vjemy. Kvalita výhledu z vozidla je sledována nejen ve směru jízdy, ale i do stran a dozadu. Z místa řidiče je možné volným přímým pohledem vidět pouze dopředu a zčásti do stran. Výhled dozadu a do stran se pak neobejde bez otočení hlavy, případně celého těla. Z tohoto důvodu je snaha o zvětšení zorného pole pomocí výhledů zprostředkovaných odrazem.

Snahou při návrhu automobilu je poskytnout řidiči co největší výhledové plochy a zajistit tak ničím nerušený výhled z vozidla. To často koliduje s požadavky na pevnost karoserie a její pasivní bezpečnost. [2][5]

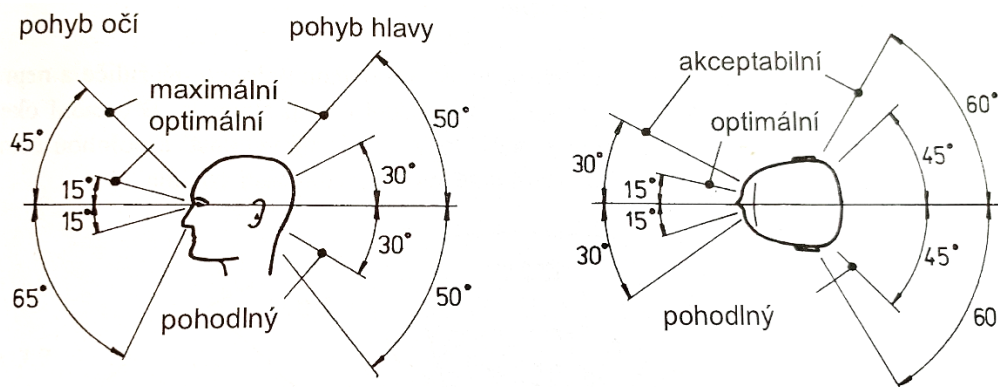
4.4.1 Fyziologie vidění

S problematikou výhledů z vozidla úzce souvisí fyziologie vidění. Na začátek je dobré si definovat několik základních pojmů a poznatků o lidském vidění pro další popis.

Problematiku vidění rozdělujeme na tři základní oblasti:

- Zorné pole – představuje oblast viditelnou při volném pohledu kdy se oko ani hlava nepohybují. Střed vidění při volném pohledu je označován jako fixační bod.
- Pohledové pole – představuje část prostoru viditelnou pomocí sférického pohybu očí.
- Rozhledové pole – představuje část prostoru viditelnou kombinací pohybu očí a hlavy.

Zorné pole môže dosahovať až 180°. Část této oblasti je však viditelná vždy pouze jedním okem (tzv. monokulární vidění). Oblast viditelná oběma očima v jeden moment se nazývá binokulární vidění a dosahuje až 120°. Znárodnění pohybu očí a hlavy je na obrázku 29. [5]

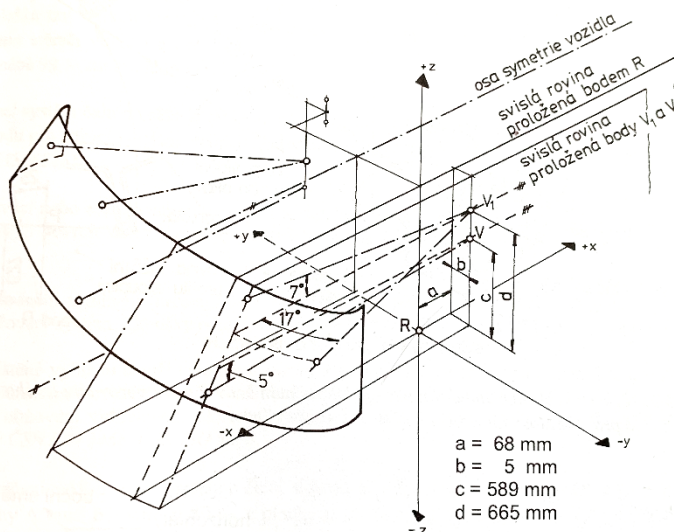


Obrázek 29 - rozsahy pohybu očí a hlavy [5]

4.4.2 Požadavky na výhled

Výhled řidiče z vozidla musí splňovat požadavky vyhlášky č.102/1995 Sb. a zároveň technické požadavky EHK – OSN.

Při hodnocení výhledu z vozidla je definováno šest bodů na ploše čelního skla vzniklých pomocí dvojice V bodů. Body V vychází z polohy definovaného bodu R. V předpisu jsou definované výšky obou V bodů a úhly přímek vycházejících z V bodů, jak je znázorněno na obr. 30.



Obrázek 30 - ověření výhledu průmětem šesti bodů [5]

Druhá podmínka pro ověření výhledu spočívá v měření úhlu zakrytí binokulárního výhledu A-sloupky. Je měřena jak z místa řidiče, tak z místa spolujezdce. Sedadlo je pro potřeby

zkoušky seřizeno do zadní polohy a jako výchozí je opět brán bod R. I u této zkoušky se vychází z výškových V bodů, kdy je pro ně definována souřadnice v závislosti na sklon opěradla. V následující tabulce jsou zaznamenány souřadnice V bodů pro konkrétní hodnotu nastavení sedadla z kapitoly 4.3.1, která činí 30°:

Tabulka 7 - souřadnice V bodů pro sklon opěradla 30° [2]

Bod V	Souřadnice k R [mm]		
	x	y	z
V ₁	112	-5	651
V ₂	112	-5	575

Z každého definovaného bodu V vychází dvojice bodů P. Jedná se o průmět středu otáčení hlavy do roviny očí. Společně s body E jsou body P rozhodující pro určení binokulárního zakrytí. Samotné body E přímo definují polohy očí dle obr. 31. Body E₁ a E₂ definují krajní polohy levého oka a body E₃ a E₄ definují pozice oka pravého.

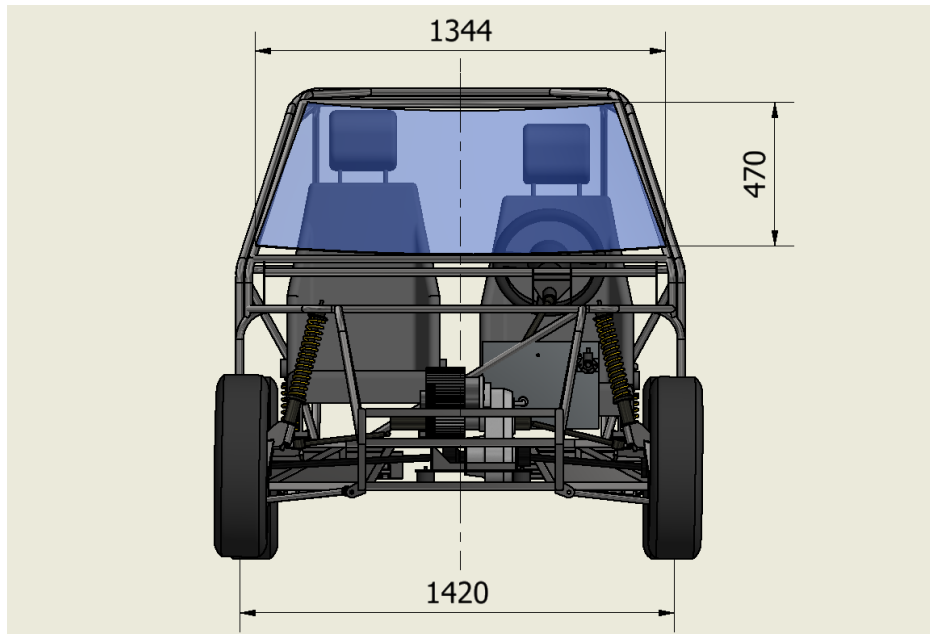
Tabulka 8 - souřadnice bodů P pro sklon opěradla 30° [2]

Bod P	Souřadnice k R [mm]		
	x	y	z
P ₁	78	-20	613
P ₂	106	47	613

V tabulce 8 jsou zaznamenány hodnoty výchozích P bodů s korekcemi vzhledem na sklon opěradla a na horizontální posun sedadla. Pro stanovení bodů E se otáčí kolem příslušného bodu P, dokud přímka spojující zadní okraj sloupku s bodem E₁ a úsečka spojující E₁ a E₂ nejsou navzájem kolmé. Stejný postup i pro druhou dvojici E bodů. Úhel zakrytí binokulárního vidění se pak měří pro levou stranu mezi řešenou přímkou a spojnicí předního okraje sloupku s bodem E₂. Samotné měření pak vzniká po říznutí sloupků dvěma rovinami pod úhlem vzhledem k vodorovné rovině o 2° směrem nahoru a 5° směrem dolů. Odečtený úhel zakrytí pak nesmí přesáhnout předepsanou hodnotu 6°.

4.4.3 Čelní sklo

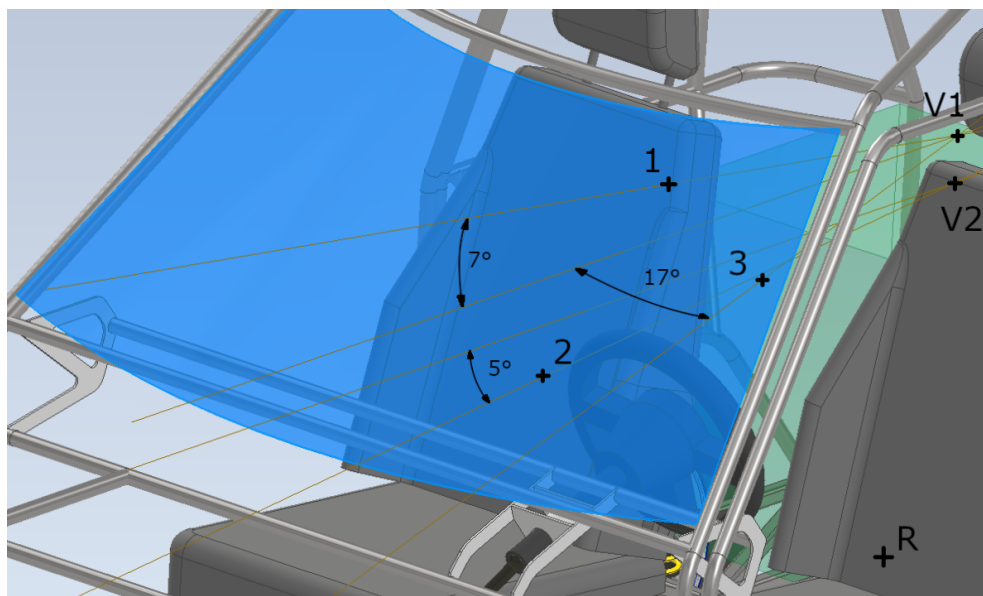
Pro použití na řešeném vozidle bylo vybráno čelní sklo z vozu Škoda Fabia první generace. Následující ověření výhledů tak budou probíhat právě na něm. Při výběru hrála hlavní roli šířka skla v nejšířším bodě (obrázek 31), která se přímo shoduje s šířkou řešeného vozidla. Následně byl však změněn úhel naklonění pro naše potřeby.



Obrázek 31 - model čelního skla v rámci vozidla

4.4.4 Ověření metodou šesti bodů

Metodou průmětu šesti bodů na rovinu čelního skla byl ověřen výhled z vozidla. Grafické řešení je znázorněno na obr. 32 a je patrné, že konstrukce bez problémů obstála. Z důvodu symetrie modelu a pozice sedadel řidiče a spolujezdce byly promítány pouze body tři.

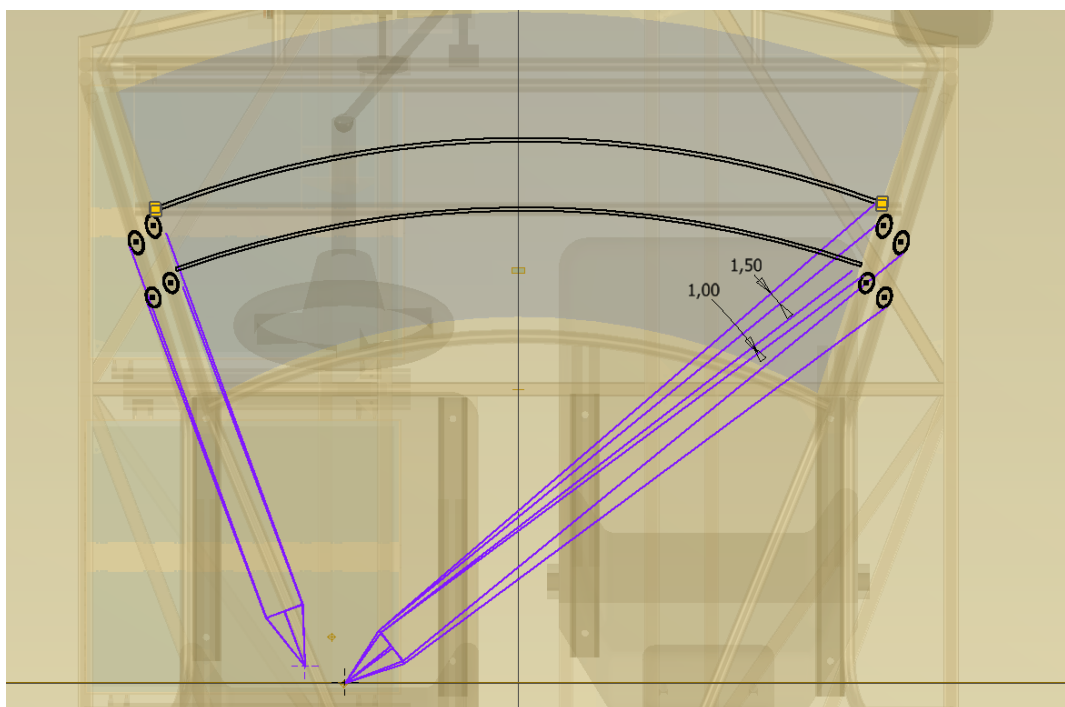


Obrázek 32 - ověření výhledů metodou šesti bodů

4.4.5 Ověření zakrytí binokulárního výhledu A-sloupky

Ověření výhledu bylo provedeno také metodou, při které se pomocí dvou rovin zkoumá zakrytí binokulárního vidění. U roviny A, odkloněné oproti vodorovné rovině o 2° směrem nahoru,

vzniklo zakrytí pouze 1° u levého sloupku. U roviny B, odkloněné od vodorovné roviny směrem dolů o 5° , pak bylo zakrytí taktéž pouze $1,5^\circ$ na levé straně, což je naprosto vyhovující. Grafické ověření je znázorněno na obrázku 33.



Obrázek 33 - ověření zakrytí binokulárního výhledu A-sloupky

V rámci ověření bylo počítáno pouze s ocelovými profily, které tvoří A-sloupek. Po navržení kapotáže, konstrukce dveří a krytů A-sloupků bude potřeba výhledy znovu ověřit.

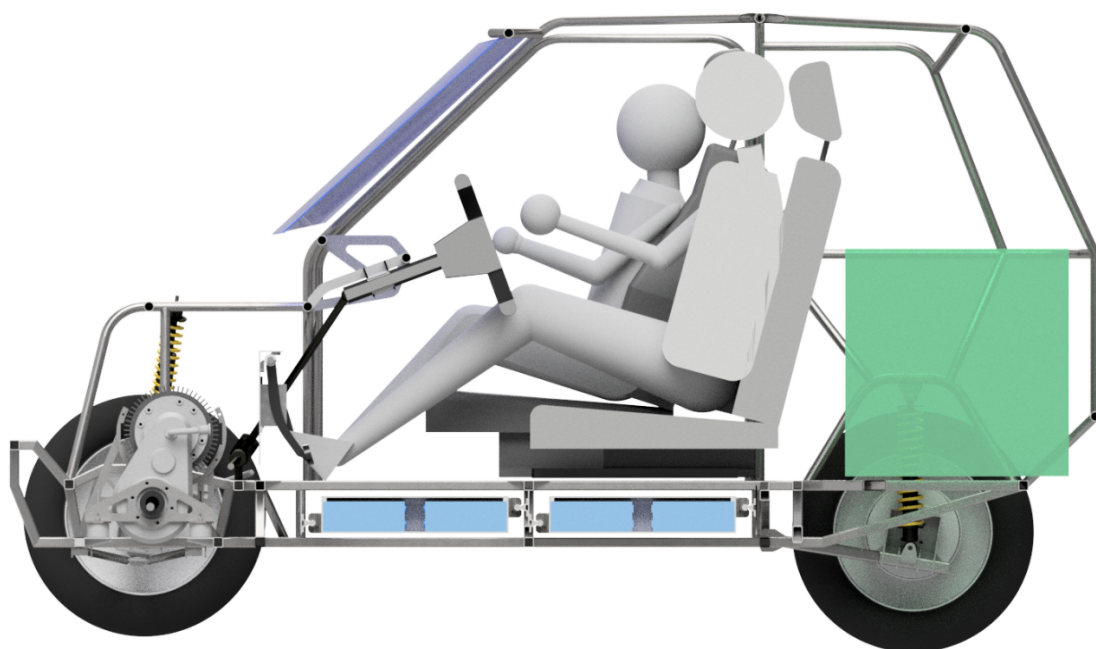
4.5 Celkový package

Na obrázku 34 a v příloze 1 je zobrazen celkový package řešeného vozidla. Pro zobrazení všech konstrukčních prvků a řešených celků byl zvolen pohled v řezu. Řez byl proveden svislou podélnou rovinou procházející bodem R. Okótovaný výkres základních rozměrů package je v příloze 6.

Ve vozidle jsou umístěny dvě figuríny řešené v kapitole 4.3.1. Tomu odpovídají také sedadla, co se výšky a posunu týká. Pod podlahou jsou umístěny pro názornost celkem čtyři bateriové boxy, i když v aktuální verzi je počítáno pouze se dvěma. Jednotlivé články jsou znázorněné modrou barvou.

Na velikost nákladového prostoru (na obrázku 34 znázorněný zelenou barvou) byly kladeny minimální nároky. Finální velikost prostoru pro přepravu nákladu tak byla odvozena až po vyřešení všech ostatních konstrukčních prvků a funkčních celků. Zjištění objemu vzniklého prostoru pro náklad proběhlo pomocí modelu kvádrů o maximálních možných rozměrech 960

x 550 x 560 mm umístěného do prostoru za sedadla. Celkový vzniklý objem činil 277 l. Pro příklad, Škoda Fabia první generace ve verzi hatchback disponuje objemem zavazadlového prostoru srovnatelných 260 l. [29] Rozměry základny kvádrů navíc odpovídaly rozměrům dvou termoboxů na přepravu pizzy. Klasický termobox má rozměry základny 480 x 500 mm. [30] Díky tomu by bylo vozidlo vhodné k nasazení do provozu v rámci dovozkových služeb, což bylo jedno z uvažovaných využití.



Obrázek 34 - render celkového package vozidla

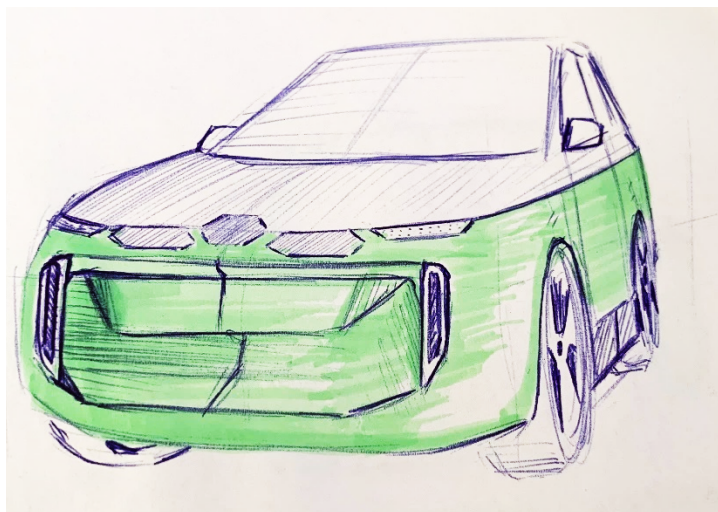
5 Materiálová a designová studie

Následující kapitola je zaměřena na řešení designové vize vozidla a následný rozbor materiálů vhodných na výrobu komponentů v interiéru a exteriéru. Účelem této kapitoly je vytvořit návodný materiál pro pozdější fázi výroby vozidla.

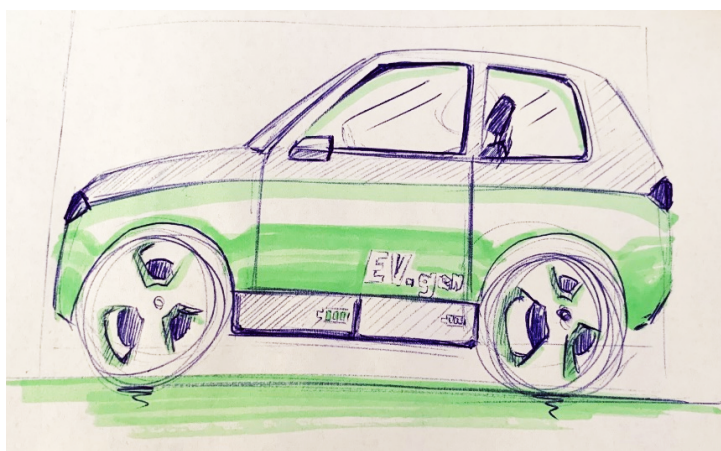
5.1 Designová studie

Pro zaobalení celého řešeného vozidla do jednoho uzavřeného celku byla vytvořena designová studie. Tvorba designu byla v rané fázi vhodným nástrojem, jak dát řešenému projektu tvary, od kterých se pak následně lze odrazit při tvorbě rámu i package.

Samotná designová studie prošla mnoha iteracemi kvůli zásadním změnám na rámu a na ostatních funkčních celcích. Na následujících skicách (obrázky 35 a 36) je vyobrazen návrh poslední verze designu vozidla.



Obrázek 35 - skica vozidla, pohled na přední roh



Obrázek 36 - skica vozidla, pohled z boku

Pro vyšší realističnost návrhu byl dále vytvořen 3D model v programu Blender. Pro základ tvorby 3D vizualizace byly převzaty základní geometrické charakteristiky ze softwaru Inventor. Toto řešení bylo zvoleno z důvodu zachování realističtějších rozměrů. V rámci tvorby modelu byl kladen důraz na zachování všech důležitých řešených prvků na vozidle.



Obrázek 37 - render 3D modelu vozidla, pohled na přední roh

Render 3D modelu je zobrazen na obrázku 37. Byla zvolena dvoubarevná kombinace s modrou barvou na hlavních svislých panelech karoserie a s bílou barvou na kapotě, střeše a bočních krytech baterií.

5.2 Materiály

Při návrhu vozidla je v rané fázi dobré definovat použití materiálů na jednotlivé komponenty interiéru a exteriéru. Materiál použitý na tvorbu jednotlivých exteriérových panelů (např. kapota, nárazník, kryty světel), ale i interiérových komponentů (např. palubní deska, mřížky ventilace, kryt palubních přístrojů) se bude zásadně lišit požadovanými vlastnostmi a tím i použitými materiály.

U vozidel řešené kategorie L7e je většinou použita konstrukční ocel třídy 11 nebo slitiny hliníku na tvorbu prostorového rámu karoserie. Tento rám se dále pokrývá panely z lehkých a odolných materiálů. V dnešní době se používají primárně plasty, méně často pak kompozitní materiály jako laminát či karbon.

V rámci této práce je také potřeba odlišit vhodnost použití materiálů z hlediska velkosériové výroby a kusové prototypové výroby. [5]

5.2.1 Plasty

Plasty se v automobilovém průmyslu používají stále více. Největší oblibu mají plasty v interiéru, ale dnes již není výjimkou použití plastů i na karosářské díly, jako jsou nárazníky nebo kapoty. Plasty jsou vhodné primárně díky nízké hmotnosti, vysoké pevnosti a dobrému tlumení hluku z důvodu velkého vlastního útlumu. Mezi nevýhody plastů patří jejich křehkost, nákladná výroba z finanční i technologické stránky a obtížná opravitelnost. I z těchto důvodů jsou plasty stále preferovány spíše na komponenty interiéru. [5][6]

5.2.2 Termoplasty

Termoplasty patří mezi materiály, které lze tepelně tvářit. Z tohoto důvodu je potřeba nevystavovat tyto materiály v provozu vyšším teplotám, než je jejich bod tání. Dále bude následovat rozbor používaných termoplastů v automobilovém průmyslu se zaměřením na jejich výrobní postup a použití.

ABS (akrylonitril-butadien-styren) – je druh termoplastu spadající mezi styrenové plasty. Jedná se o amorfní terpolymer. Díky akrylonitrilové složce má vysokou odolnost proti chemickým vlivům a díky butadienu i vysokou houževnatost při zachování pevnosti. Mezi jeho nevýhody patří nemožnost stabilizace proti UV záření a z toho důvodu potřebná dodatečná ochrana.

Výroba z materiálu ABS probíhá metodou vstřikování. Jedná se o nejpoužívanější technologii při zpracování termoplastů. Princip vstřikování vychází z teorie tlakového lití, avšak za výrazně nižších teplot. Vstřikováním se vyrábějí jak velkoplošné, tak malé díly od 0,1 g až po několik kilogramů. Celkový proces výroby umožňuje snadnou výrobu namáhaných a tvarově složitých odlitků. Proces výroby zajišťuje velkou tvarovou a rozměrovou přesnost, dle použité formy i výbornou kvalitu povrchu a velmi rychlou výrobu v krátkých cyklech.

Technologie vstřikování termoplastů spočívá ve vstříknutí potřebné dávky zpracované taveniny do připravené kovové formy. K natlačení dojde pomocí šneku nebo pístu z plastifikační komory, kde se vlivem topných těles a účinku tření nataví a poté je dopravena do uzavřené dutiny formy, kde zchlazením ztuhne.

Pro uskutečnění technologie vstřikování jsou používány mnohonásobně větší stroje, než je výrobek samotný. I samotné formy dosahují hmotnosti několika tun. S tím souvisí vysoké pořizovací náklady. Z těchto důvodů je metoda vstřikování plastů vhodná spíše pro velkosériovou výrobu.

PE (polyethylen) – je termoplast spadající mezi polyolefiny. Je to ve své podstatě semikrystalický termoplast. Jedná se o nenavlhavý plast, který má výborné elektroizolační

vlastnosti. Za běžných podmínek je odolný vůči vodě, kyselinám, zásadám, solím a rozpouštědlům. Polyethylen je náchylný na pevnostní namáhání, avšak má velkou odolnost vůči rázům. Nejčastěji se používá například na ochranné pláště kabelů, tenkostěnné výrobky nebo palivové nádrže. Výroba je prováděna vstřikováním.

PP (polypropylen) – je další zástupce polyolefinů a zároveň semikrystalických termoplastů. Vlastnosti jsou téměř totožné s polyethylenem, avšak má menší odolnost proti mrazu, naproti tomu je ale více tvarově stálý i za vyšších teplot. Z polypropylenu se vyrábí duté předměty, dále například rozvody topení, mřížky nebo nárazníky (viz obrázek 38).



Obrázek 38 - příklad použití polypropylenu [6]

PA (polyamid) – spadá také mezi semikrystalické termoplasty. Vzhledem k chemickému složení přijímá velmi snadno vodu. Dobře odolává rozpouštědlům, ale v silných kyselinách je rozpustný. Materiál není příliš odolný v tahu. Konstrukční vlastnosti lze zlepšit pomocí příměsí skelných a uhlíkových vláken. Primární využití nachází v mechanických částech a kluzných pouzdech. Po vyztužení je možné také použití na pedály nebo kryty motorů.

PMMA (polymethylmethakrylát) – patří mezi akrylátové plasty. V technické praxi je známý jako organické sklo díky jeho výborným optickým vlastnostem. Používá se na kryty koncových světel (viz obrázek 39), ochranné lišty nárazníků a u sportovních automobilů na zasklívání karoserií. Co se vlastností týká, jedná se o polární plast s výbornými mechanickými vlastnostmi. Nevyniká v odolnosti proti kyselinám a rozpouštědlům, ale je výborný proti povětrnostním podmínkám a UV záření.

PC (polykarbonát) – z chemického hlediska se jedná o polyester s dobrými chemickými vlastnostmi, který je zároveň dokonale průhledný. V automobilovém průmyslu se používá na přední kryty světel a výjimečně i na boční, zadní nebo střešní okna.



Obrázek 39 - příklad použití polymethylmethakrylátu [6]

V automobilovém průmyslu je používána celá řada dalších termoplastů. Za zmínku stojí **PS (polystyren)**, **PVC (polyvinylchlorid)** nebo třeba **PUR (polyuretan)**, který se používá jako tuhá, polotuhá nebo měkká pěna, na izolaci hluku karoserie, věnce volantu nebo výplně sedadel. [5][6]

5.2.3 Termosety

Termosety, známé také pod pojmem reaktoplasty, patří mezi materiály teplem tvrditelné. Pomocí nevratné chemické reakce dojde k vytvrzení. Dodáním tepla nebo chemického vytvrzovacího prostředku dochází z lineárního viskózního stavu do síťovaného stavu.

PF (fenol-formaldehydové pryskyřice) – jsou zpracovávány na lisovací hmoty a vytvrzují se většinou teplem. Používají se primárně s plnivem ve formě dřevité moučky, tkaniny nebo vláken. Dobře odolávají povětrnostním podmínkám.

EP (epoxidové pryskyřice) – jsou značně reaktivní s velkým množstvím sloučenin. Z toho důvodu mají velmi dobrou přilnavost, protože kontakt s jinou látkou vede k sesíťování makromolekul. Epoxidové pryskyřice se vyznačují minimálním smrštěním při vytvrzování a po vytvrzení nabývají chemické odolnosti. Z důvodu výše zmíněných vlastností se používají primárně jako lepidla. Stále častěji se však používají jako zalévací nebo lisovací pojiva při výrobě kompozitů. V kombinaci s epoxydovou pryskyřicí se nejčastěji používají skelná vlákna nebo uhlíková vlákna.

UP (polyesterové pryskyřice) – jsou nenasycené polyestery rozpuštěné v reaktivním monomeru. K vytvrzení dojde po přidání iniciátorů a urychlovače. [6]

Při výrobě kompozitních dílů z polyesterové pryskyřice a skelného vlákna se používají různé metody. Nejčastěji se laminace provádí ručně (viz obrázek 40), jedná se o metodu, kdy se na jednotlivé vrstvy skelného vlákna v takzvaných rohožích nanáší polyesterová pryskyřice pomocí válečku. Tato metoda je časově velice náročná, a proto se používá převážně pro výrobu jednotek kusů, případně malosériovou výrobu. Výhodou této metody je vysoký podíl

skla kolem 35 % a možnost tvorby tvarů, kterých není možné dosáhnout pomocí automatizované výroby. Další výhodou je možnost přesně definovat směr vláken v každé vrstvě, a tak docílit požadovaných vlastností.



Obrázek 40 - postup vrstvení skelných rohoží při ruční laminaci [32]

Další metodou je RMT (Resin transfer molding), kdy se pryskyřice vstříkuje pod tlakem do uzavřené formy na připravenou skelnou rohož. Výsledný výrobek je pak lehčí díky menšímu výslednému množství pryskyřice, ale zároveň také méně pevný kvůli snížení podílu skla pro tuto metodu na přibližně 25 %.

Metoda často používaná pro výrobu křehkých, lehkých, převážně pohledových dílů např. do interiéru vozidel se nazývá vakuově-vypěňovací. Při této metodě dochází k ručnímu nanášení pryskyřice na skelné vlákno. Po nanesení se nechá výrobek v uzavřené formě ve vakuu vytvrdnout. [31][32]

5.2.4 Materiály a 3D tisk

Stále používanější metodou při malosériové výrobě a pro prototypové účely je 3D tisk. V případě potřeby výroby jednoho kusu nebo malosériové výroby se nevyplatí investovat do velice nákladných vstřikovacích forem.

5.2.4.1 Typy 3D tiskáren

Nejrozšířenějším typem 3D tiskáren jsou v dnešní době tiskárny typu FDM (fused deposition modeling), jež používají takzvanou tiskovou strunu. Tiskárna na základě vstupního kódu vrství na tiskovou plochu materiál po jednotlivých vrstvách.

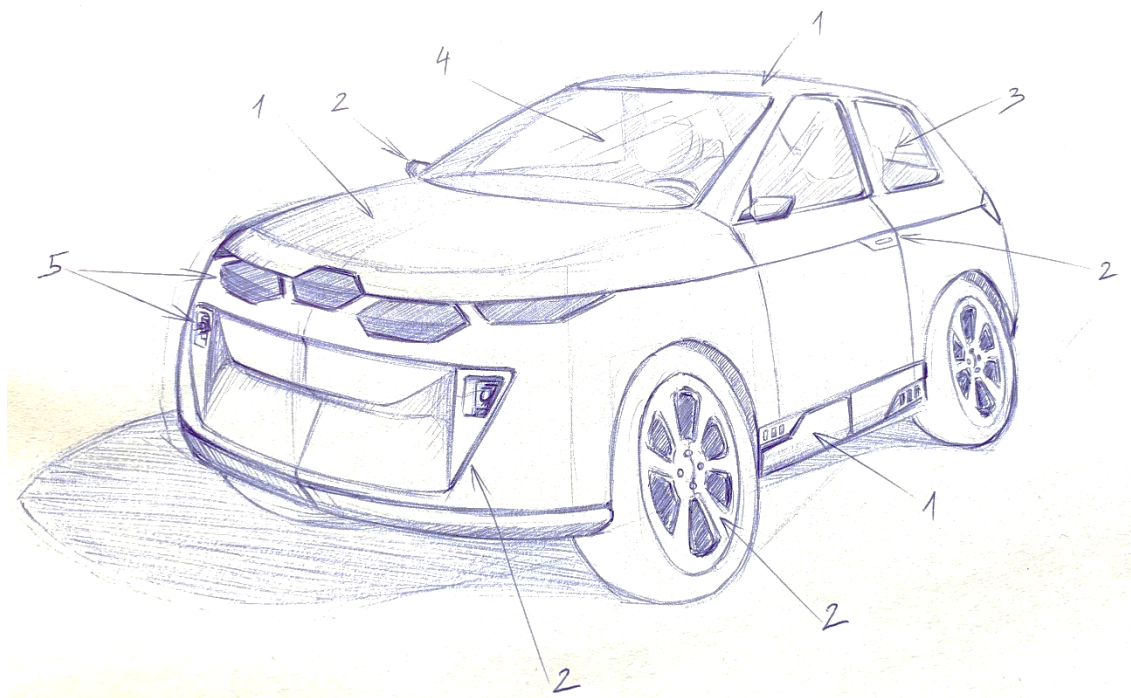
Materiálů pro 3D tisk je nepřeborné množství. Nejrozšířenější materiály pro tisk metodou FDM jsou **ABS**, **PLA** a **PETG**. **ABS** vyniká vysokou houževnatostí výtisku a dobře odolává změnám teplot. Proto se hodí pro použití jak v interiéru, tak v exteriéru. Nevýhodou tohoto materiálu

je jeho náchylnost na rozdíly teplot při tisku, vlivem kterých se krouží a praská. Navíc při zahřívání vylučuje jedovaté zplodiny. Materiál **PLA (polylactic acid)** je naopak velmi jednoduchý materiál na 3D tisk, a díky tomu je v dnešní době často využíván na prototypovou výrobu. Jedná se o biologicky odbouratelný materiál na bázi kukuřičného nebo bramborového škrobu. **PETG (polyethylen tereftalát)** je materiál, který spojuje výhody předchozích dvou popsaných materiálů. Poměrně snadno se tiskne a je podobně houževnatý jako ABS. Výhodou je jeho recyklovatelnost, ale nevýhodou může být složitější nastavení tiskárny.

U tištěných předmětů metodou FDM může vzniknout nevýhoda kvůli nutnosti časově náročné povrchové úpravy pohledových dílů. To řeší poměrně nová metoda 3D tisku, jež používá fotopolymeraci. Tato metoda se nazývá stereolitografie (SLA). U metody SLA jsou postupně vytvrzovány polymery pomocí ozáření, většinou UV zářením. Jedná se o jednu z nejpřesnějších a nejrychlejších metod 3D tisku. Jedná se však o poměrně nákladnou metodu, což se projevuje v nákladech a nákladech na polymerní pryskyřice týká. Díly jsou také poměrně křehké. Zároveň je potřeba odborná znalost technologie a materiálů při tisku zmíněnou metodou. [33][34]

5.3 Použití materiálů v interiéru a v exteriéru

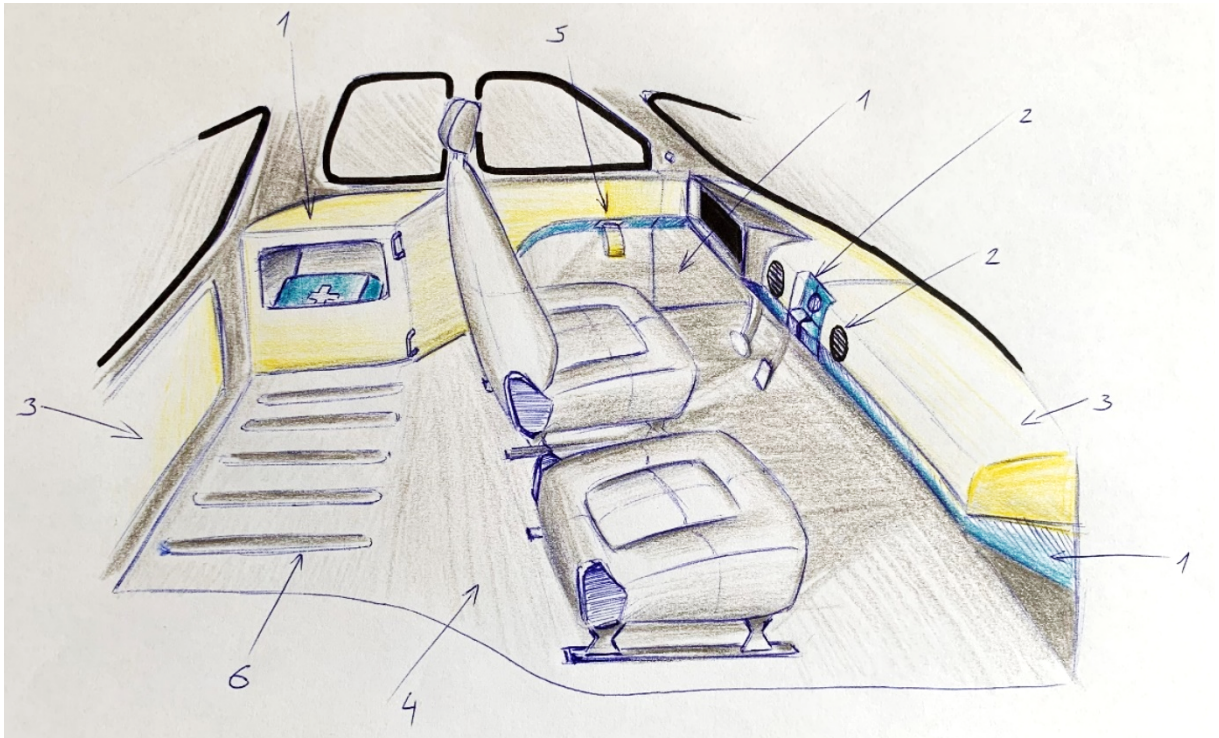
Na obrázku 41 je zobrazena skica exteriéru vozidla se všemi důležitými funkčními prvky karoserie. Pro představu o různorodosti použitých materiálů je pod obrázkem seznam všech navržených materiálů a s tím souvisejících metod výroby.



Obrázek 41 - skica exteriéru s odkazovými šipkami na použité materiály

- 1- Velké panely karoserie. Výroba pomocí ruční laminace – materiál UP
- 2- Drobné karosářské doplňky. Výroba na tiskárně typu FDM – materiál ABS nebo PETG
- 3- Boční a zadní okno. Výroba z desky materiálu PMMA
- 4- Čelní sklo. Lepené čelní sklo převzaté z vozu Škoda Fabia první generace
- 5- Kryty potkávacích a dálkových světlometů. Výroba z polymerní pryskyřice na tiskárně typu SLA
- 6- Těsnění kolem bočního a zadního okna, kolem dveří atd. Materiál PUR

Na obrázku 42 je skica interiéru řešeného vozidla se zaměřením na pokrytí všech zásadních funkčních celků a technických prvků. V rámci skici byla použita sedadla a pedály, které jsou již jasně definovány. U zbylých prvků se jedná o navrhovaná řešení. Celý navržený interiér se snaží o naplnění veškerých budoucích potřeb pasažérů. Ve středu palubní desky je zabudovaný držák na mobilní telefon s přípravou na bezdrátové nabíjení. Dalším prvkem je dvojice výsuvných držáků nápojů. Po stranách centrálního prvku je umístěna dvojice výdechů topení pro zajištění vnitřního mikroklima. Za volantem je umístěný LCD display informující řidiče o aktuálním stavu vozidla včetně rychlosti. Pro otevírání a zavírání dveří slouží textilní madlo umístěné na dveřích. Zavazadlový prostor je pokryt, stejně jako zbytek podlahy vozidla, zátěžovým kobercem. Pro dodatečnou ochranu podlahy jsou přidány podélné lišty z nerezové oceli. Pro zamezení pohybu nákladu jsou na stranách nákladového prostoru připravena ocelová oka pro napnutí ochranné sítě. Nevyužitý prostor nad zadními koly byl vybaven kapsami pro umístění povinné výbavy.



Obrázek 42 - skica interiéru s odkazovanými šípkami na použité materiály

- 1- Panely výplně dveří, kryt zadního kola, kostra palubní desky. - Výroba pomocí ruční laminace – materiál UP
- 2- Mřížky ventilace a multifunkční držák na mobilní telefon a nápoje. Výroba na tiskárně typu FDM – materiál ABS nebo PETG
- 3- Kryt vrchní části palubní desky a víka kufru. Polstrování pomocí PUR pěny a následné očalounění.
- 4- Zátěžový koberec na podlaze. Materiál PS
- 5- Textilní madlo dveří. Materiál PS
- 6- Lišty na podlaze v zavazadlovém prostoru z nerezové oceli

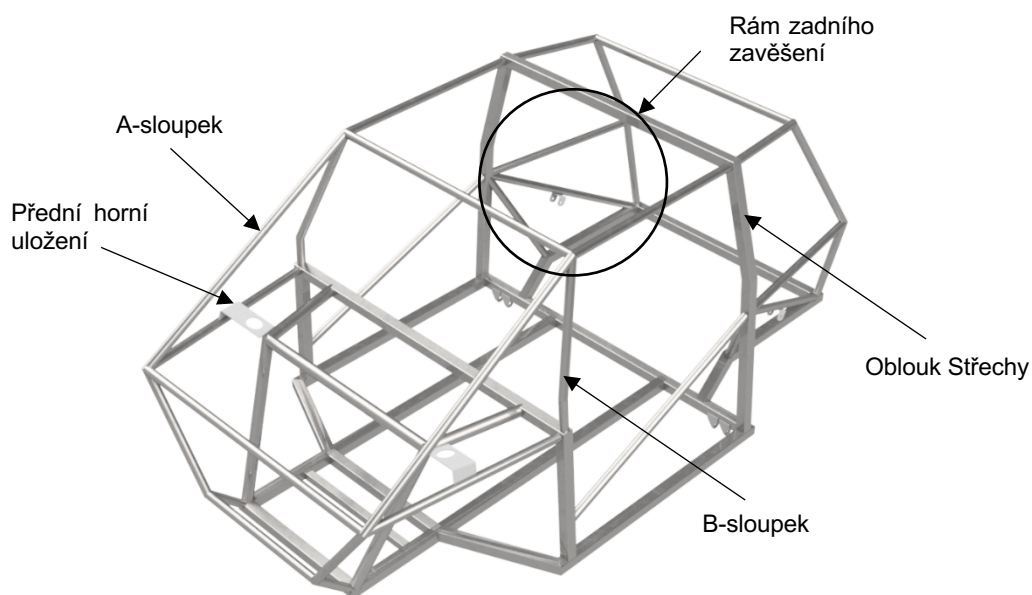
6 Konstrukční řešení podvozku a rámu

V této kapitole jsou rozebrány jednotlivé konstrukční celky vozidla a jejich návrh.

6.1 Rám

6.1.1 První verze rámu vozidla

Při návrhu rámu vozidla bylo původním cílem převzít již hotovou základní platformu vytvořenou v rámci bakalářské práce a pouze přidat konstrukci střechy, a vytvořit tak kompletní prostorový rám. Již tento první krok se neobešel bez předělání zadního rámu pro zavěšení podvozku. Tak, jak byla konstrukce původně zamýšlena, navíc bránila v osazení sedadel do potřebné pozice (viz kapitola 4.3.1). Muselo tak dojít k odstranění příčné rozpěry mezi oblouky zadního zavěšení. Myšlenka byla taková, že hlavní oblouk střechy by tvořil jeklový oblouk v zadní části vozidla a z něj by se dále větvila celá zadní část.



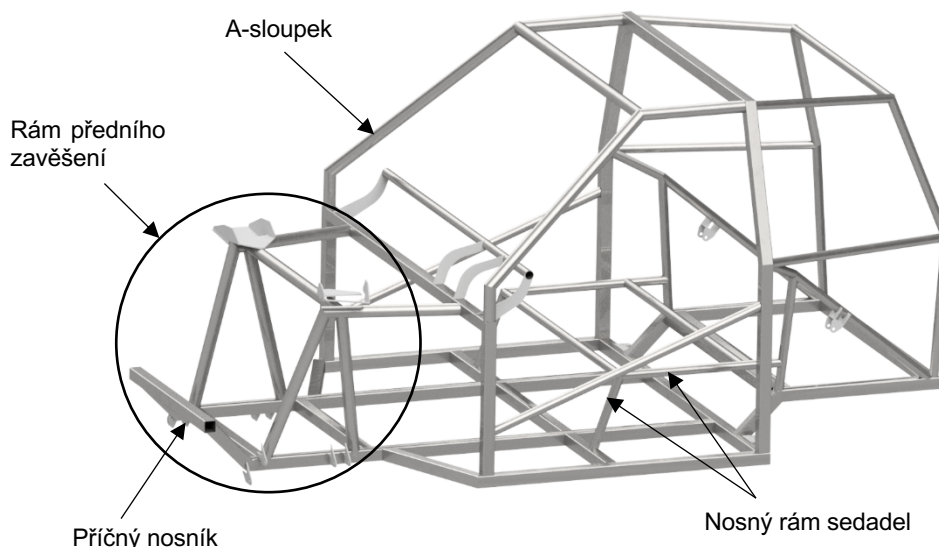
Obrázek 43 - první verze navrhovaného rámu

Na obrázku 43 je také vidět řešení přední části, kdy k původní konstrukci přibyla konstrukce nová, která měla za úkol propojení plechu předního horního uložení a lépe tak roznášet síly. Na přední část byly také přidány nové A-sloupky, které měli za úkol ovlivnit tvar karoserie.

6.1.2 Druhá verze rámu vozidla

U druhé verze rámu vozidla (obrázek 44) již bylo od dlouhých A-sloupků upuštěno kvůli jejich negativnímu vlivu na výhled. Tím, že se tak z původních B-sloupků staly A-sloupky, bylo

potřeba také upravit jejich úhel sklonu. Bylo navíc upuštěno od zdvojené přední konstrukce a místo ní byla uvažována vyztužená verze původní konstrukce. Přední horní uložení tlumičů taktéž prošlo vyztužením. Při návrhu se rám opět vrátil k původní konstrukci předku, tvořenému příčným nosníkem na dvou šikmých podélnících.



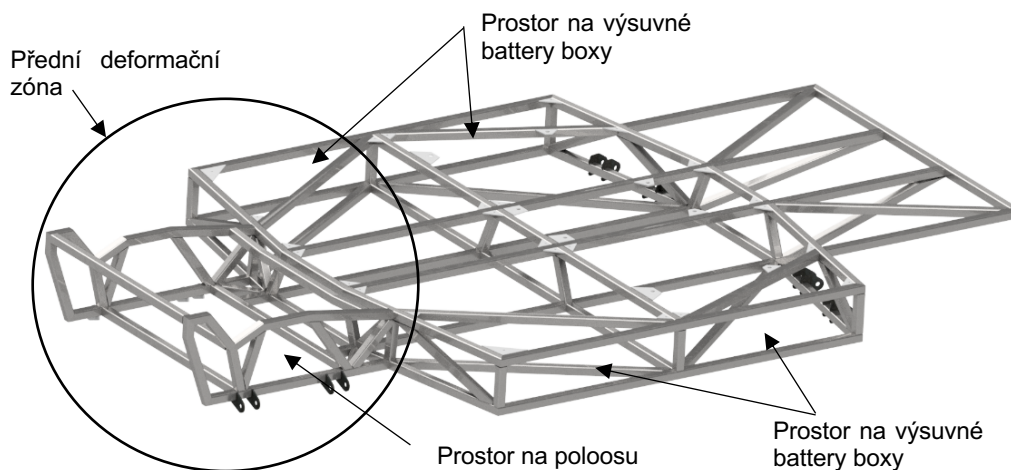
Obrázek 44 - druhá verze navrhovaného rámu

Oproti první verzi navíc přibyla konstrukce palubní desky a nosný rám sedadel. V této fázi návrhu bylo počítáno s umístěním bateriových boxů pod sedadla. Rám zadního zavěšení také prošel částečnými úpravami z důvodu použití jiných disků kol a pneumatik, než bylo původně zamýšleno. Při propružení by tak u první verze docházelo ke kontaktu pneumatiky s rámem.

6.1.3 Třetí verze rámu vozidla

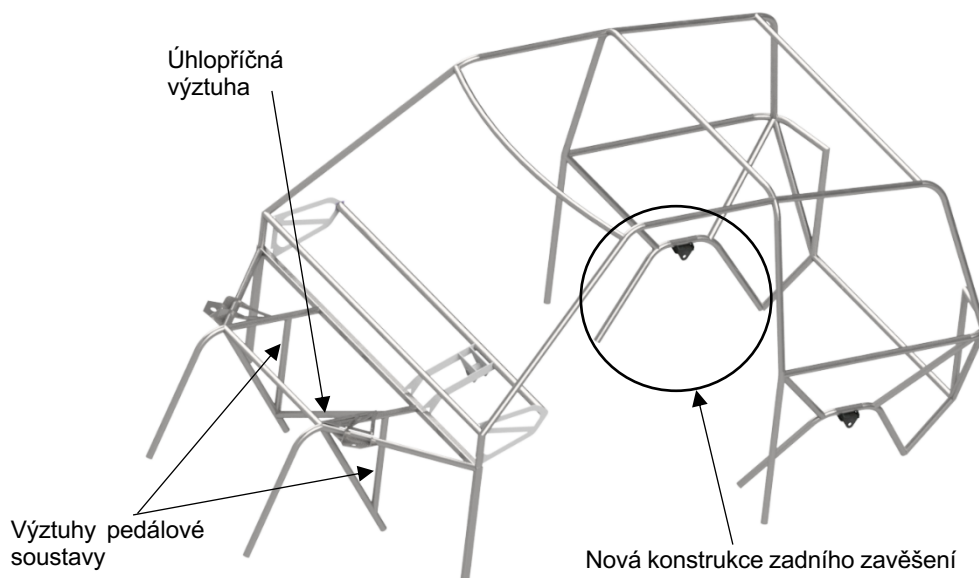
V další verzi rámu bylo přistoupeno k úplnému přehodnocení řešení konstrukce. Z důvodu lepšího vyvážení byly baterie přesunuty do podlahy. Kvůli ochraně baterií byl rám navrhnut jako spojení dvou vrstev. Vzniklá spodní část rámu (obrázek 45) byla řešena formou příhradové konstrukce. Ta spočívá ve tvorbě trojúhelníků z konstrukčních profilů. Zároveň došlo k použití jiných profilů, kdy místo původních čtvercových 40x40 mm byly použity 25x25 mm se zachováním tloušťky stěny 2 mm. Rám byl na délku prodloužen o cca 120 mm. Tímto konstrukčním řešením byl zajištěn prostor pro další dvojici bateriových boxů v případě potřeby.

Kompletně příhradově byla také navržena konstrukce předních podélníků, a to s cílem absorbovat co nejvíce kinetické energie při případném nárazu vozidla. Zároveň bylo nutné zachovat prostor v podélníkové konstrukci pro volný průchod a pohyb poloos mezi motorem a koly.



Obrázek 45 - spodní příhradový rám z třetí verze rámu vozidla

Horní část rámu prošla také řadou změn. Stejně jako na spodní konstrukci byl změněn průměr použitých trubek z 40 mm na 25 mm. Na obrázku 46 je vyznačena změna zadního rámu zavěšení. Dále byla přidána výztuha v přední části pro upevnění pedálové soustavy a stěny motorového prostoru s úhlopříčnou výztuhou proti vniknutí motoru do kabiny při případné havárii.

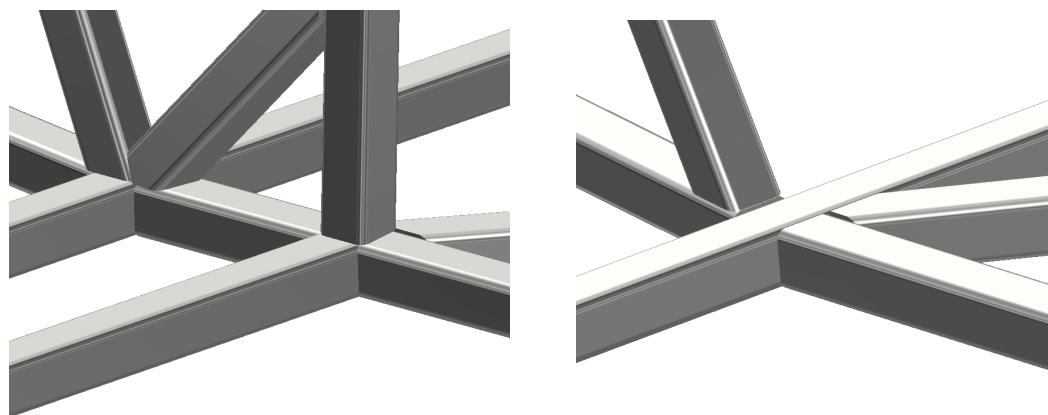


Obrázek 46 - vrchní rám z třetí verze rámu vozidla

6.1.4 Finální verze rámu vozidla

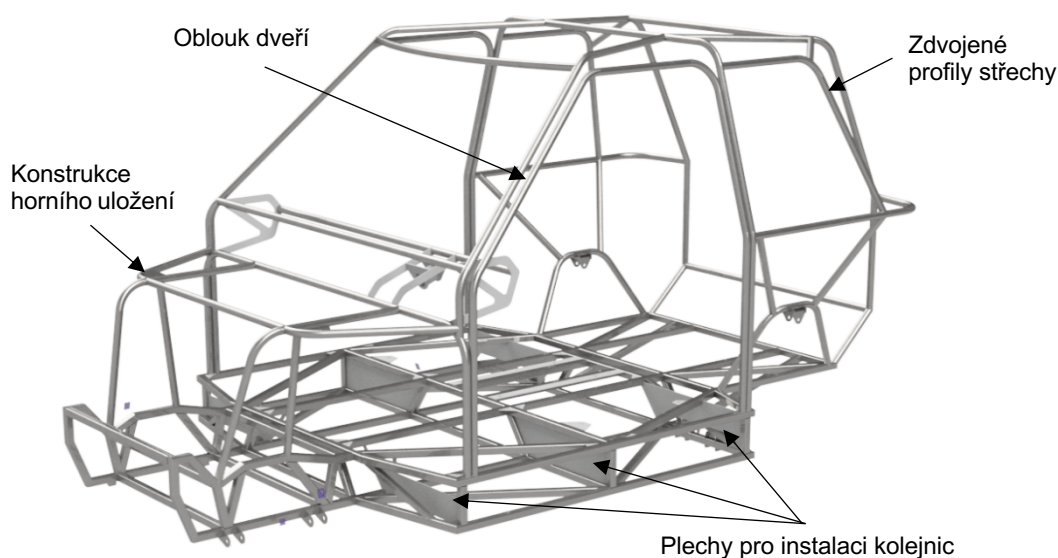
Finální konstrukce přímo vycházela z třetí verze rámu. Úpravy byly však provedeny na celém rámu. Rám byl celkově optimalizován s ohledem na použité technologie při výrobě. Na rámu byly eliminovány složité uzly, kde se v některých místech stýkalo až sedm nosníků. Napojení úhlopříčných výztuh byla vždy vedena kousek vedle hlavního křížení (obrázek 47). Konstrukce

byla také přiměřeně zjednodušena s ohledem na zachování pevnosti. Jednalo se primárně o rozšíření středního páteřního rámu. Pro zvýšení pevnosti rámu a možnosti uchycení kolejnic výsuvných bateriových boxů, byly přidány do konstrukce tři plechy na každou stranu rámu.



Obrázek 47 - příklad optimalizace uzlu před (vlevo) a po (vpravo)

Nejvýraznější změny proběhly na horní části rámu (viz obrázek 48). Přední konstrukce horního uložení tlumičů byla řešena mnohem robustněji. Při návrhu horní části rámu bylo také úplně upuštěno od čtvercových profilů. V celku jednoduchá konstrukce u třetí verze byla doplněna o rám kolem dveří, u kterého se počítá s navařením na stávající rám po skoro celém obvodu. Vzniklo tak i zdvojení profilů tvořících střechu. Toto řešení by mělo mít za následek zvýšenou ochranu v případě převrácení vozidla.



Obrázek 48 - finální verze navrhovaného rámu

Z pohledu hmotnosti navrhovaného rámu, pokud počítáme konstrukční ocel třídy 11 373, byla například u verze 2 hmotnost dle programu Inventor 91 kg. U finální verze se i přes nárůst počtu jednotlivých profilů hmotnost zvýšila o pouhých 10 kg.

6.2 Podvozkové komponenty

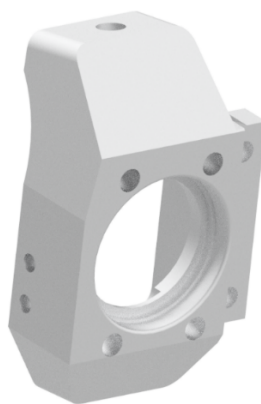
V dalším postupu budou rozebrány jednotlivé komponenty podvozku, které byly v rámci práce řešeny. Z důvodu výroby atypického rámu bylo potřeba řadu komponentů navrhnout úplně od začátku. Některé komponenty pro tuto kategorii vozidel se vůbec neprodávají, a jiné by bylo třeba složitě upravovat.

6.2.1 Přední náprava

Při návrhu přední nápravy bylo vycházeno z původní geometrie (viz Tabulka 1). Dále jsou řešeny jednotlivé komponenty přední nápravy jako těhlice a rameno.

6.2.1.1 Těhlice

Původní těhlice (obrázek 49), které byly k dispozici, byly z mnoha důvodů nevyhovující. Při skládání přední nápravy s danou těhlicí by bylo zapotřebí upravit spodní kuželovou díru na rozměr odpovídajícího kulového čepu ramene. To se z hlediska proveditelnosti ukázalo jako technologicky náročné zejména kvůli problematickému upnutí do obráběcího stroje. Další problém byl v tom, že těhlice byly zřejmě původně zamýšleny pro použití na lichoběžníkové zavěšení místo plánovaného McPherson.

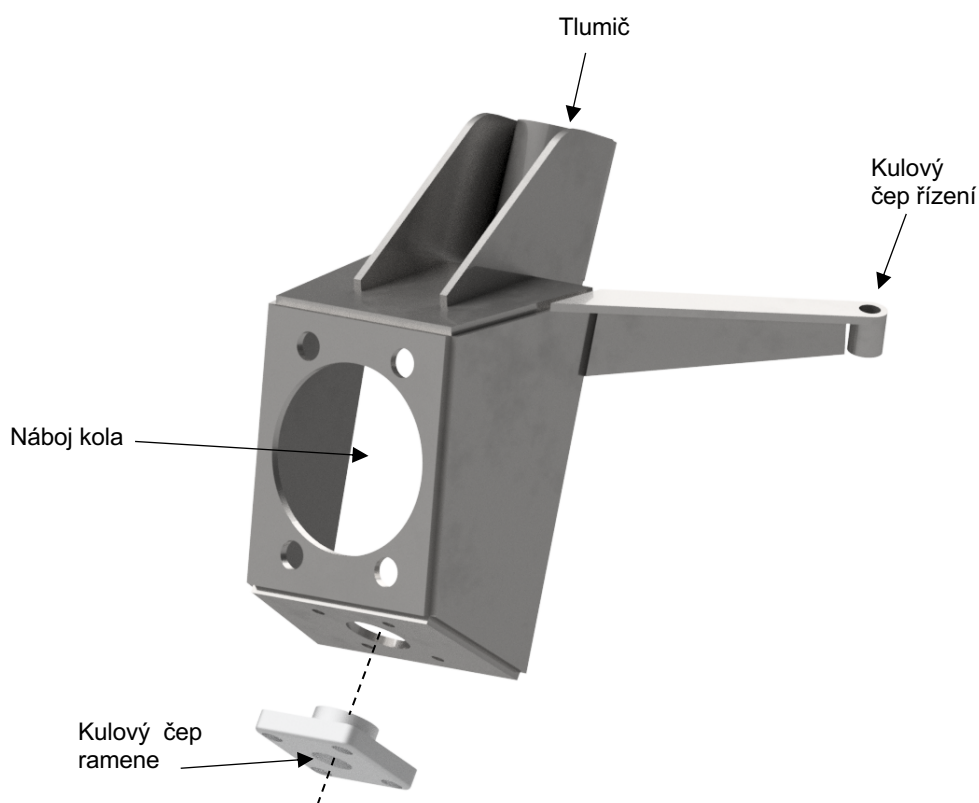


Obrázek 49 - původní těhlice pro použití na vozidle

Tím vznikla potřeba na dvě vcelku zásadní nápravy. Muselo tak dojít ke kompletnímu přepracování těhlice jako takové. Výsledný návrh řešení je zobrazen na obrázku 50. Provedení těhlice bylo uvažováno z ocelového plechu o tloušťce 4 mm. Při návrhu těhlice bylo rovnou počítáno s pákou řízení pro zasazení kulového čepu řízení.

Řešení kuželové díry kulového čepu ramene bylo navrženo jako přídavný, snadno vyměnitelný díl. Při návrhu bylo dbáno na snadnou vyrobiteľnost a jednoduché upnutí do obráběcího stroje.

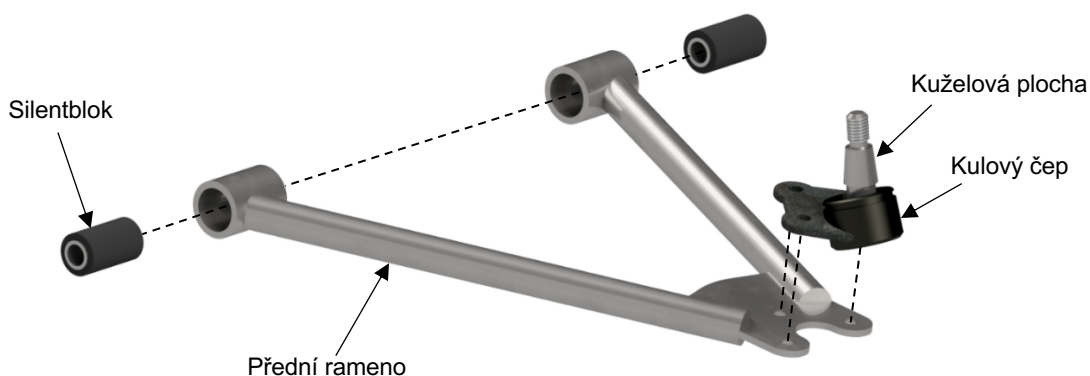
Hmotnost celé sestavy byla programem Inventor po nastavení příslušných materiálů spočítána na 2,08 kg.



Obrázek 50 - navržená těhlice z ocelového plechu s držákem kulového čepu

6.2.1.2 Rameno zavěšení

Návrh trojúhelníkového ramene přední nápravy vycházel z geometrie původního ramene používaného na vozidle Tabby EVO. Jedná se tedy o konstrukci svařenou z trubek s přídatným plechem pro montáž kulového čepu ramene. Trubky s otvory, do nichž se instalují silentbloky, byly upraveny na rozměry vybraných silentbloků z vozu Trabant. Plech pro uchycení kulového čepu byl vytvořen na rozměry pro čep z vozu Škoda Octavia první generace včetně rozteče děr pro uchycení. Výsledná sestava ramene včetně silentbloků a kulového čepu je na obrázku 51.

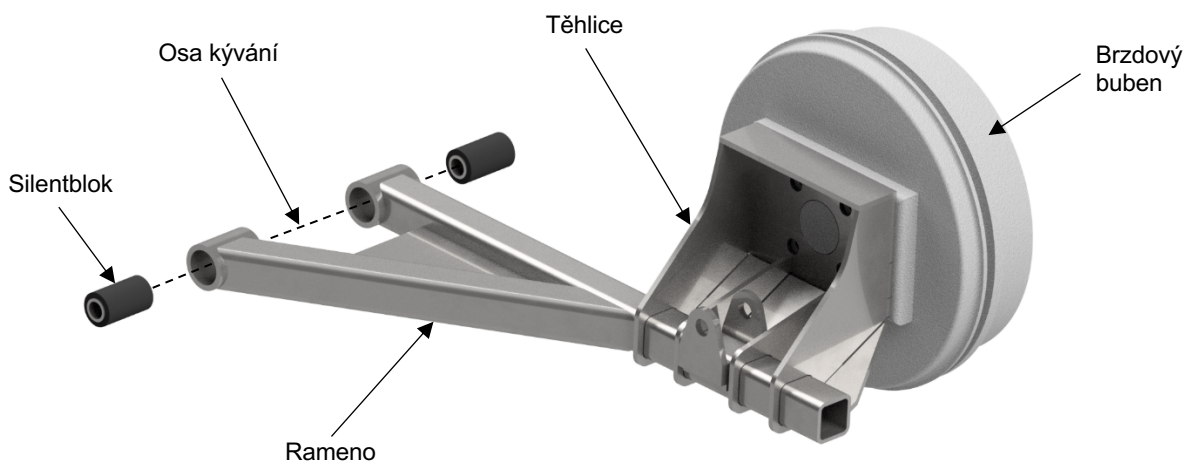


Obrázek 51 - sestava předního ramene

6.2.2 Zadní náprava

Zadní náprava byla v původním provedení řešena, stejně jako přední náprava, koncepcí McPherson. Po rozsáhlém průzkumu se však nepodařilo nalézt prodejce, který by zadní těhlici pro tuto kategorii prodával. Vzhledem k tomu, že na vozidle Tabby EVO byla těhlice řešena jako svařenec z jednotlivých plechových výpalků, bylo přistoupeno ke stejné technologii provedení. Koncepce nápravy byla navíc změněna na, ve své třídě používanější, nezávislou kyvnou. Toto provedení se vyznačuje příčnou osou kývání.

Při návrhu bylo nejdříve počítáno s pevným spojením ramene a těhlice. Koncept byl řešen formou takzvané polotuhé nápravy. Jednalo se o spojení dvou ramen pomocí stabilizačního U-profilu. Od tohoto řešení byla očekávána lepší stabilita. Avšak od tohoto řešení bylo upuštěno kvůli vzniku velkých napětí při kroucení stabilizačního nosníku. Ve výsledku tak vzniklo nezávislé zavěšení (obrázek 52).



Obrázek 52 - sestava zadní kyvné nápravy

Rameno bylo řešeno pomocí dvojice čtvercových profilů spojených do tvaru Y, které byly pomocí dvou válečkových silentbloků upevněny ke karoserii. Samotná těhlice pak byla řešena jako svařenec celkem ze sedmi plechů o tloušťce 4 mm.

Co se týká rozteče šroubů pro uchycení náboje, bylo zjištěno, že na přední náboj pasují brzdy a kola z vozidla Renault Twingo. V návaznosti na to byly vybrány brzdy ze stejného vozidla i na zadní nápravu. Rozteče šroubů byly po naměření brzdového bubnu z Twinga druhé generace zaneseny i do samotného modelu.

6.2.3 Odpružení

Při výběru odpružení pro řešené vozidlo bylo primárně rozhodováno na základě dostupnosti. Z vozidel stejné kategorie, a přibližně stejné pohotovostní hmotnosti, byly vybrány pružící

a tlumící jednotky z vozidla Aixam (obrázek 53). Bohužel nebyla dopředu známa tuhost pružin k , ale byla až posléze vypočítána po naměření středního průměru pružiny r [mm], průměru drátu d [mm] a počtu závitů pružiny n [-] podle vzorce:

$$k = \frac{G \cdot d^4}{64 \cdot n \cdot r^3} = \frac{81500 \cdot 8^4}{64 \cdot 14 \cdot 25^3} = 23,844 \text{ N/mm} \quad (6.1)$$

Kde G představuje modul pružnosti ve smyku, jenž je pro počítanou pružinovou ocel třídy 10 075, $G = 81\,500 \text{ N/mm}^2$.

Ze znalosti přibližných hmotností jednotlivých komponentů ve vozidle bylo odvozeno zatížení na nápravu cca 150 kg ($F \cong 1500 \text{ N}$). S touto hodnotou bylo vypočítáno stlačení pružiny s [mm], pro definování nulového stavu dle vzorce:

$$s = \frac{32 \cdot F \cdot n \cdot r^3}{G \cdot d^4} = \frac{32 \cdot 1500 \cdot 14 \cdot 25^3}{81500 \cdot 8^4} = 31,453 \cong 31 \text{ mm} \quad (6.2)$$

V návaznosti na vypočítanou délku stlačené pružiny byly navrženy polohy horního uložení pružící a tlumící jednotky na přední i zadní nápravě vozidla.

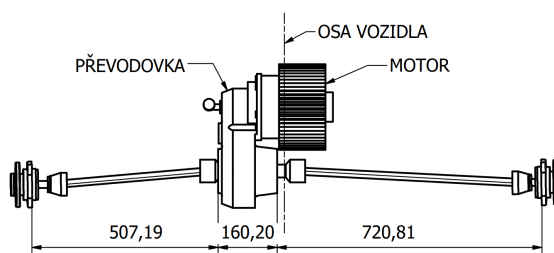


Obrázek 53 - tlumící a pružící jednotky Aixam (přední vlevo, zadní vpravo)

6.2.4 Kompletní technické řešení

Pro vytvoření kompletního technického řešení bylo potřeba počítat i s řadou dalších komponentů, které nejsou primárním předmětem této práce. Jedná se například o již zmíněný motor, řízení a brzdy.

Umístění motoru ve vozidle bylo závislé na délkách poloos, jelikož pravá poloosa byla delší než levá. Umístění motoru je schematicky vyznačeno na obrázku 54.



Obrázek 54 - schéma umístění motoru ve vozidle

Převodka řízení z vozidla Aixam byla umístěna co nejbližší řidiči, jak jen to konstrukce pedálové soustavy dovolila. S uchycením řízení je počítáno pomocí dvojice šroubů na připravený čtvercový profil rámu.

Celkové technické řešení komponentů podvozku je zobrazeno na obrázku 55. Obrázek 56 ukazuje kompletně osazený rám podvozku podvozkovými komponenty.



Obrázek 55 - navržené řešení podvozku elektromobilu



Obrázek 56 - rám podvozku včetně motoru a podvozkových komponentů

7 Pevnostní analýza

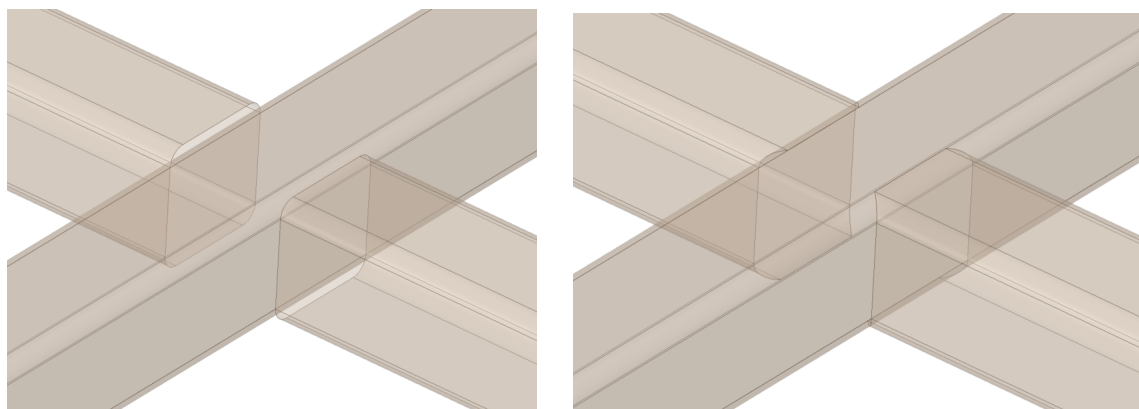
Následující kapitola je zaměřena na statickou pevnostní analýzu navrženého rámu vozidla. Hlavním účelem bude ověření správnosti návrhu ještě před samotnou výrobou. Pomocí řady extrémních zátěžových stavů je možné ověřit, že konstrukční řešení vydrží namáhání, a případně pomůže odhalit nedostatky v návrhu.

7.1 Příprava modelu na statickou analýzu

7.1.1 Příprava geometrie rámu vozidla

Před samotnou simulací zátěžových stavů bylo nutné vytvořit zjednodušenou geometrii 3D modelu. Pro přípravu byl použit software Ansys SpaceClaim. Za pomoci funkce Midsurface byly objemové profily rámové konstrukce převedeny na skořepiny. K výpočtům na skořepinách bylo přistoupeno kvůli zjednodušení výpočetního modelu. Díky tomu, že vzniklé skořepiny zachovávají veškeré rozměrové i mechanické vlastnosti, je stále možné uvažovat model jako odpovídající. Oproti řešení pomocí prutové konstrukce jsou zde podrobněji řešeny jednotlivé napojení styčniců. Tím je toto řešení vhodné i pro simulaci případných svarů. Veškeré skořepiny mají přiřazenou odpovídající hodnotu tloušťky stěny, kterou program při následném výpočtu uvažuje.

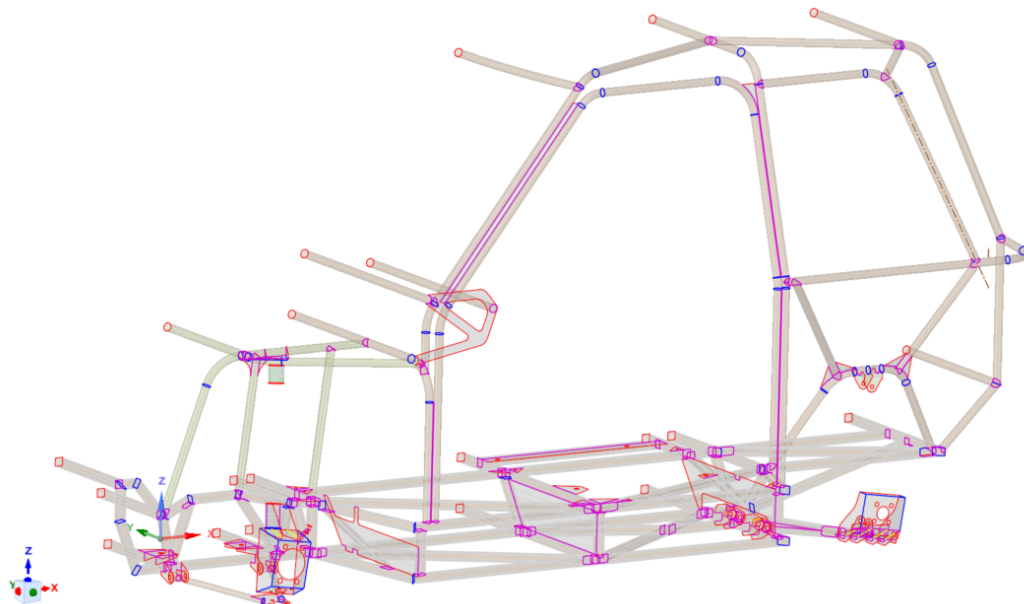
Následně bylo nutné vzniklé skořepiny manuálně upravit a fyzicky je navázat v místech, kde budou později jednotlivé profily svařeny. Na obrázku 57 je zobrazen příklad upravené geometrie styčniců na skořepinové konstrukci.



Obrázek 57 - příprava skořepinové geometrie modelu před (vlevo) a po (vpravo)

Stejným způsobem jako konstrukční profily byly připraveny i ostatní komponenty z rovných plechů na rámu. V dalším postupu byla celá konstrukce spojena pomocí funkce Share, která vytvoří tuhý kontakt na všech plochách a hranách, které se navzájem dotýkají.

Rám byl pro potřeby simulace opatřen předním a zadním zavěšením kol. Tyto konstrukční části byly připraveny stejným způsobem jako samotný rám. Připravená geometrie poloviny vozidla je na obrázku 58, kde modrá barva představuje vazbu hrana-hrana, fialová vazbu plocha-hrana a žlutá průnik dvou ploch. Červenou barva označuje volné hrany konstrukce.



Obrázek 58 - připravená geometrie rámu vozidla s barevně označenými tuhými vazbami

7.1.2 Příprava sítě modelu

Před provedením pevnostní analýzy bylo nutné rozdělit model na konečněprvkovou síť. Pro přípravu sítě byl použit stejný software jako pro samotnou simulaci, a to Ansys Mechanical. Velikost sítě a tvar jednotlivých elementů přímo ovlivňuje jak rychlost výpočtu, tak i jeho správnost. Obecně platí čím jemnější síť, tím přesnější jsou získané hodnoty. S ohledem na řešený problém statického zatěžování, s předpokladem setrvání v lineární (elastické) oblasti materiálu, byly zvoleny hodnoty nastavení automatického síťování viz tabulka 9.

Tabulka 9 - vstupní hodnoty pro nastavení automatického síťování

Prvek nastavení	Nastavená hodnota
Element size	5 mm
Method	Quadrilateral Dominant
Element order	Linear
Free face mesh type	All Quad

7.1.3 Zvolený materiál

V dalším postupu bylo potřeba definovat materiál. Hodnoty pro zvolenou ocel normy ČSN ISO 11 373 jsou zaznamenány v tabulce 10. Tento materiál byl zvolen jak pro ocelové konstrukční profily, tak pro plechy použité na konstrukci. Výhodou tohoto materiálu je jeho zaručená svařitelnost.

Tabulka 10 - materiálové vlastnosti konstrukční oceli normy ČSN ISO 11 373

Ocel ČSN ISO 11 373	
Youngův modul pružnosti [GPa]	210
Poissonovo číslo [-]	0,29
Hustota materiálu [kg/m ³]	7850
Mez kluzu [MPa]	250

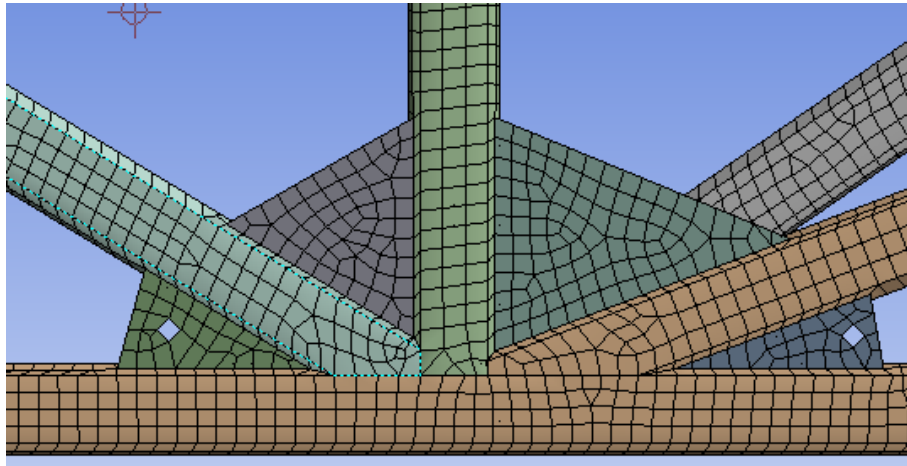
7.1.4 Definice okrajových podmínek

Před každou simulací je nutné definovat odpovídající okrajové podmínky. Do okrajových podmínek spadají zátěžové stavy, definice podpor s nastavením stupňů volnosti a další parametry simulace, jako například čas děje.

Konkrétní zvolené okrajové podmínky pro jednotlivé zátěžové stavy jsou popsány v následujících kapitolách.

7.2 Statické zatížení stojícího vozidla

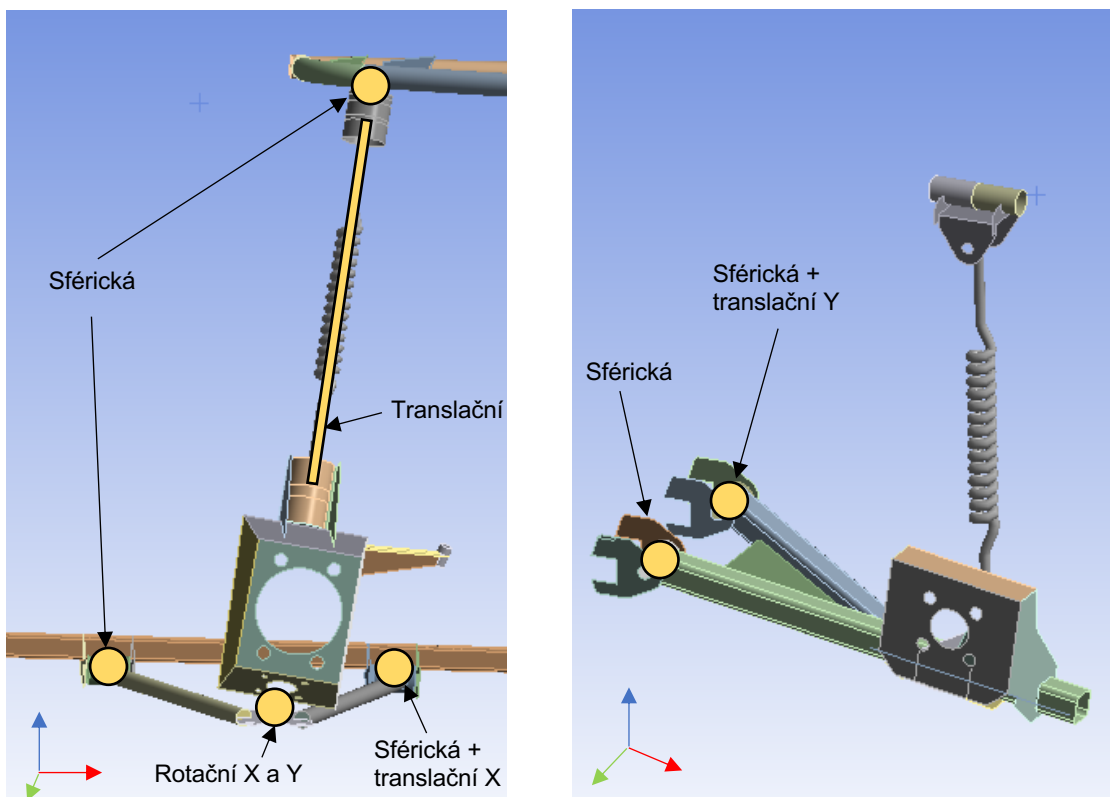
Pro prvotní ověření konstrukce rámu vozidla byl zvolen stav statického vozidla, které je zatíženo 1,5násobkem předpokládané provozní hmotnosti. Na simulaci tohoto stavu byla použita pouze polovina rámu vozidla. Zbývá polovina rámu byla nahrazena pomocí vazby symetrie nastavené podle podélné svislé roviny. Díky tomu byl zkrácen výpočetní čas simulace a náročnost nastavování okrajových podmínek na jinak symetrickém modelu. Připravený model je zobrazen na obrázku 58 a detail sítě na obrázku 59.



Obrázek 59 - ukázka automatického síťování na styčnicku rámu vozidla

7.2.1 Nastavení vazeb a počátečních podmínek

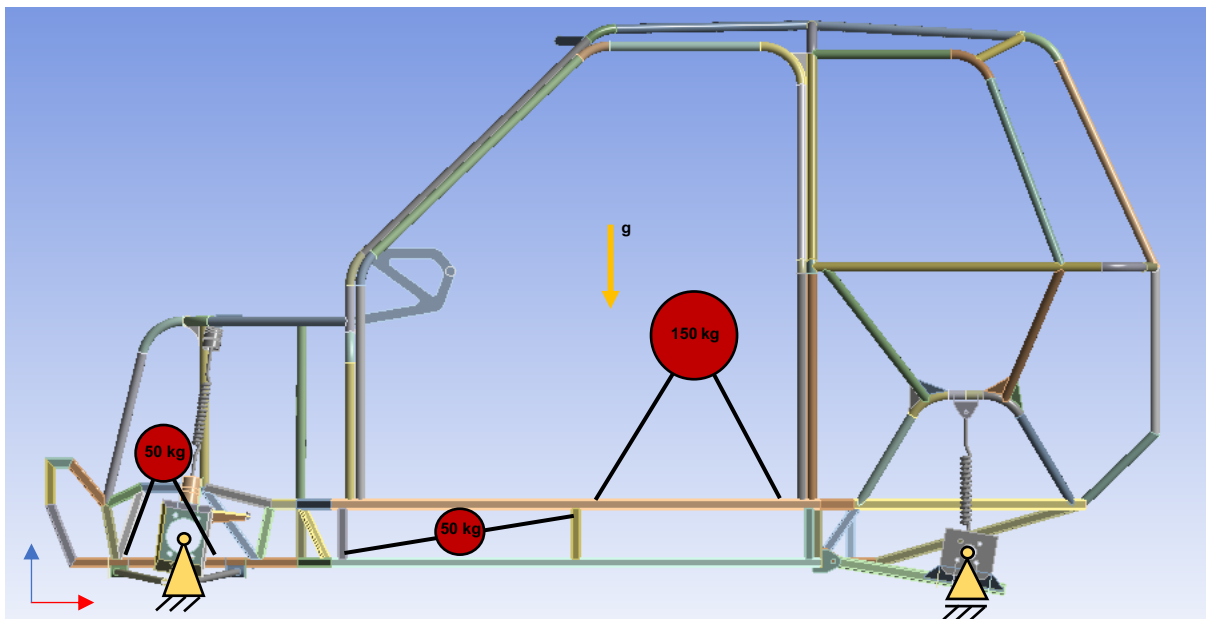
Pro zjednodušení konstrukce byly odebrány některé komponenty, které neovlivní přesnost výpočtu, a tudíž nejsou pro výpočet důležité, a lze je nahradit jednoduchým definováním vazeb. Jednalo se například o kulový čep a silentbloky ramene, nebo pružící a tlumící jednotku. Rozdílné navržené řešení předního i zadního zavěšení si žádalo různé nastavení vazeb. Vazby použité pro definici předního a zadního zavěšení jsou zobrazeny na obrázku 60.



Obrázek 60 - definované vazby na předním (vlevo) a zadním (vpravo) zavěšení kol

Tuhost pružin nahrazujících pružící a tlumící jednotku byla nastavena na vypočítanou hodnotu 23,844 N/mm.

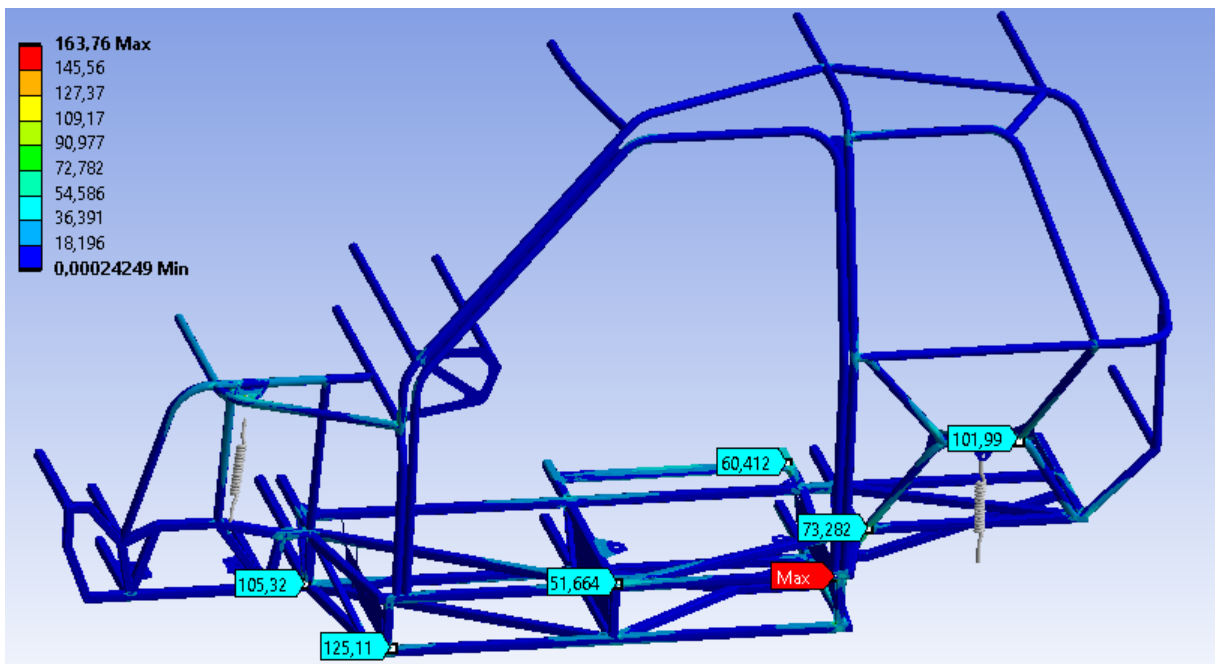
Jako zatížení byly definovány baterie v přední části rámu o hmotnosti 50 kg, pasažér + sedadlo o hmotnosti 150 kg a motor o hmotnosti 50 kg. Toto zatížení bylo aplikováno pomocí hmotných bodů připojených na příslušné držáky. Dále bylo aplikováno dodatečné zatížení 200 kg. Na celý model bylo aplikováno gravitační zrychlení. Kompletní okrajové podmínky jsou zobrazeny na obrázku 61.



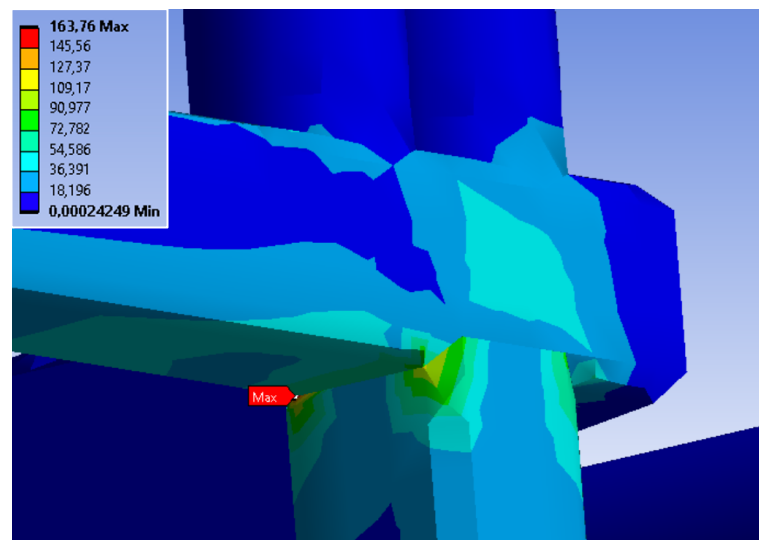
Obrázek 61 - počáteční podmínky prvního zátěžového stavu

7.2.2 Výsledek statického zatížení

Grafické znázornění rozložení Von Misesova napětí je zobrazeno na obrázku 62. Nejvyšší hodnoty ekvivalentního napětí vychází ve spojích jednotlivých profilů. Maximální hodnoty 164 MPa (koeficient bezpečnosti pro použitý materiál = 1,524) bylo dosaženo v místě spojení střední a zadní části rámu (na obrázku červeně). V tomto místě byla zvýšená koncentrace napětí očekávaná, jelikož se jedná o uzel, který spojuje oblast upevnění sedadla se zavěšením zadní nápravy. Detail na toto místo je viditelný na obrázku 63. Napětí je možné eliminovat přidáním trojúhelníkových výztuh. Je však nutné uvažovat výsuvný bateriový box v těchto místech a jeho případné roznášecí účinky. Na zbylých styčnicích konstrukce dosahují napětí maximálně 125 MPa.



Obrázek 62 - vykreslení Von Misesova napětí na rámu vozidla [MPa]



Obrázek 63 - detail styčnicku s maximální hodnotou Von Misesova napětí [MPa]

7.3 Zatížení vozidla brzdným zrychlením

7.3.1 Nastavení vazeb a počátečních podmínek

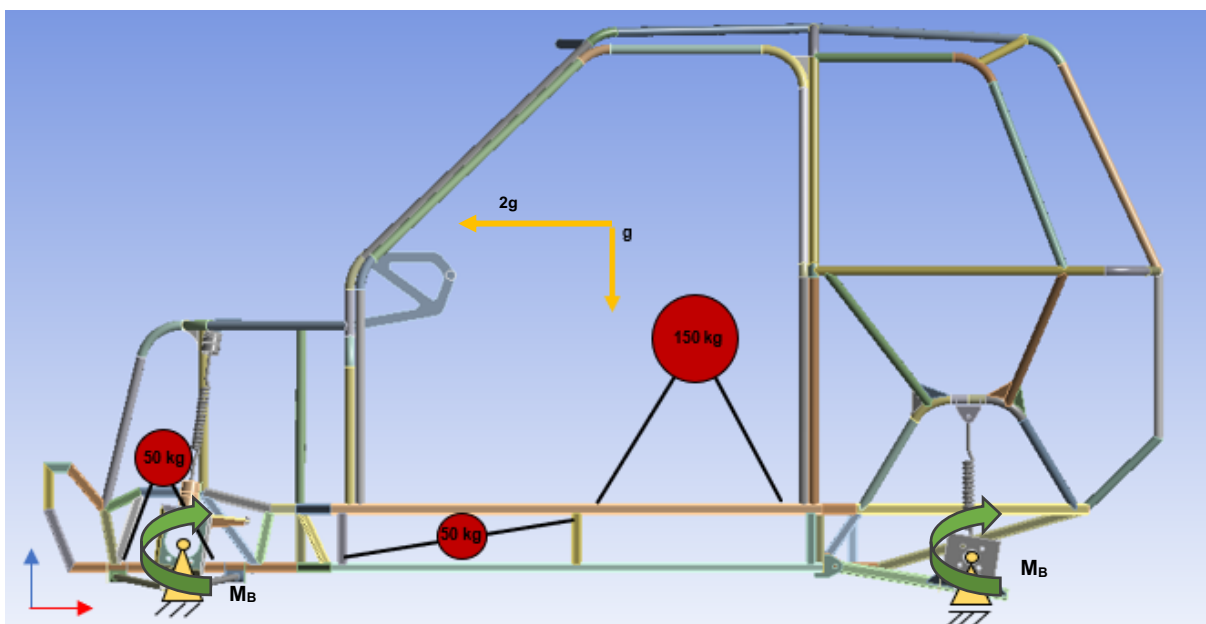
Pro další ověření byl zvolen stav extrémního brzdění. Při provozním brzdění dle EHK – R13 dosahuje osobní automobil brzdného zpomalení $a = 5,8 \text{ m/s}^2$. Hodnota byla záměrně zvětšena pro ověření rámové konstrukce. Z důvodu ověření správného přenosu napětí na konstrukci bylo zvoleno brzdné zpomalení odpovídající dvojnásobku gravitačního zrychlení ($2g = 19,62 \text{ m/s}^2$).

Na místa nábojů kol byl aplikován moment M_B odpovídající stavu plného brzdění podle vzorce:

$$M_B = f \cdot F_n \cdot R = 0,7 \cdot 1500 \cdot 289,5 = 303\,975 \text{ Nmm} \quad (7.1)$$

kde f je součinitel smykového tření pro pryž a beton, F_n [N] je zatížení na čtvrtinu vozidla a R [mm] je poloměr kola s pneumatikou.

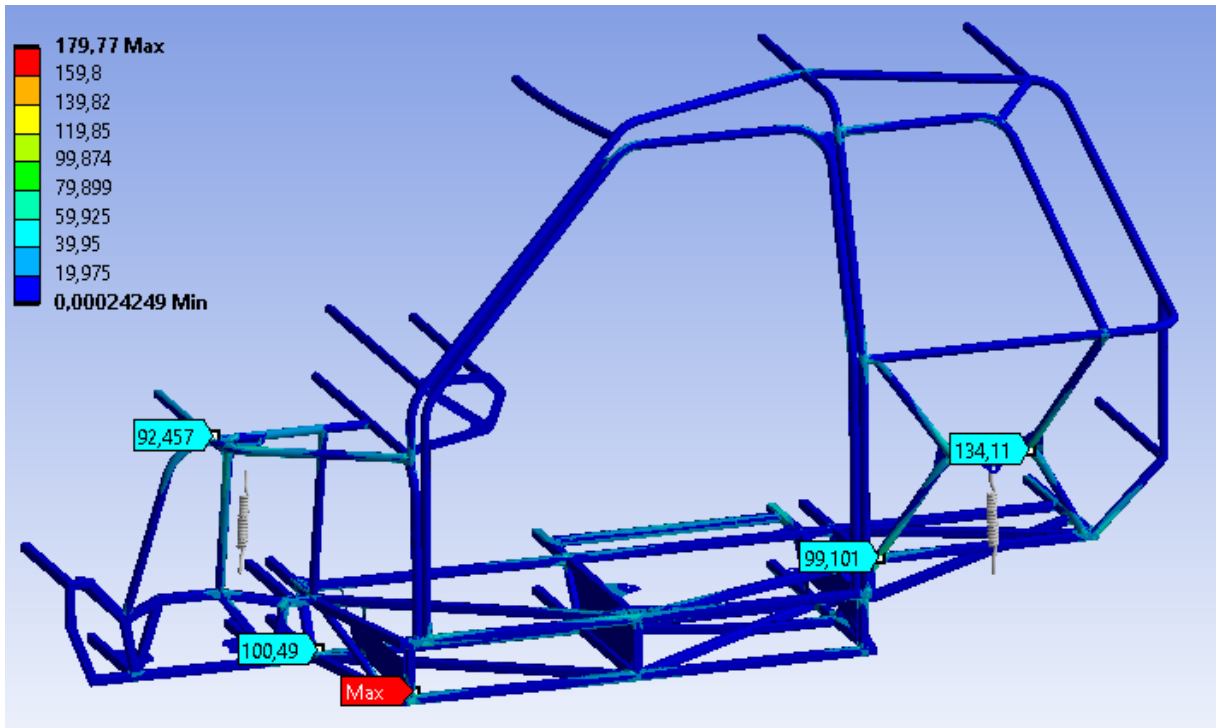
Vazby, geometrie modelu a zatížení pomocí hmotných bodů byly zachovány z prvního zátěžového stavu. Kompletní okrajové podmínky jsou zobrazeny na obrázku 64.



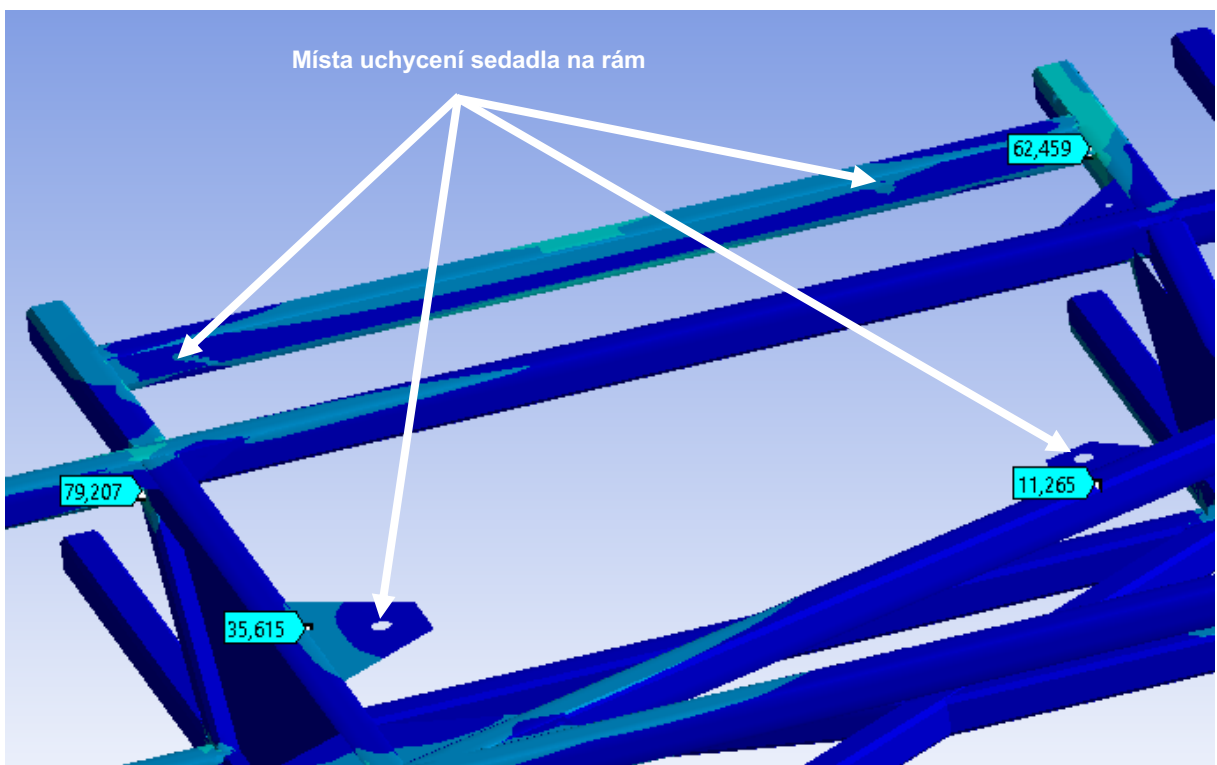
Obrázek 64 - počáteční podmínky druhého zátěžového stavu

7.3.2 Výsledek zatížení brzdným zpomalením

Grafické znázornění rozložení Von Misesova napětí pro druhý zátěžový stav je zobrazeno na obrázku 65, včetně označení uzlů s nejvyšším napětím. Nejvyšší hodnoty ekvivalentního napětí byly oproti prvnímu zátěžovému stavu zaznamenány kolem uložení náprav. Maximální hodnoty 180 MPa (koeficient bezpečnosti pro použitý materiál = 1,389) bylo dosaženo v místě spojení střední a přední části rámu. To bylo způsobeno působící setrvačnou silou od definovaných hmotných bodů. Překvapivě nízkých hodnot nabývalo napětí v místech uchycení sedadla na rám vozidla, kde se hodnoty pohybovaly do maxima 80 MPa (viz obrázek 66).



Obrázek 65 - vykreslení Von Misesova napětí na rámu brzděného vozidla [MPa]



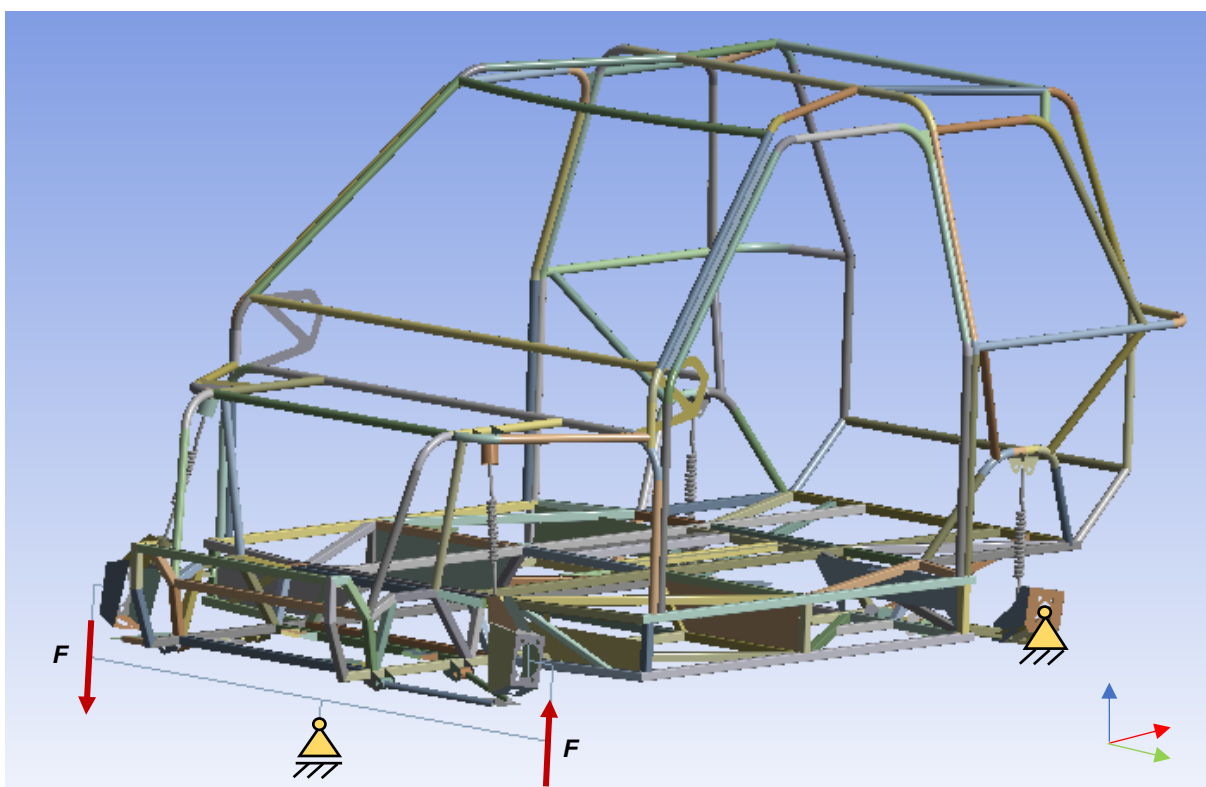
Obrázek 66 - detail napětí na rámu v okolí úchytů sedadla [MPa]

7.4 Torzní tuhost

Následovalo ověření torzní tuhosti rámu vozidla. Statická torzní tuhost je důležitá pro dosažení dobrých jízdních dynamických vlastností. Na základě torzní tuhosti rámu probíhá pozdější ladění podvozku.

7.4.1 Nastavení vazeb a počátečních podmínek

Zatěžování rámu vozidla pro výpočet torzní tuhosti nebylo možné provést pouze na polovině vozidla. Ke zjištění torzní tuhosti se na reálných vozidlech používá přípravek, kdy se zadní náprava pevně upne do přípravku, a zamezí se tak pohyb ve všech třech osách. Přední náprava se pro tyto účely upne na tuhý nosník, který zabrání vzájemnému pohybu levého a pravého kola, ale umožní natáčení kolem osy X. Takto je možné na přední nápravu působit stanoveným momentem (viz obrázek 67).



Obrázek 67 - počáteční podmínky simulace torzního namáhání

7.4.2 Analýza výsledků a výpočet torzní tuhosti

Výsledný stav po zatížení je zobrazen na obrázku 68. Z úhlu deformace rámu bylo potřeba vypočítat torzní tuhost. Výsledný kroutící moment M byl vypočítán dle vzorce:

$$M = \sum F \cdot l = F \cdot l_1 + F \cdot l_1 = 1,5 \cdot 0,7638 + 1,5 \cdot 0,7740 = 2,3067 \text{ kNm} \quad (7.2)$$

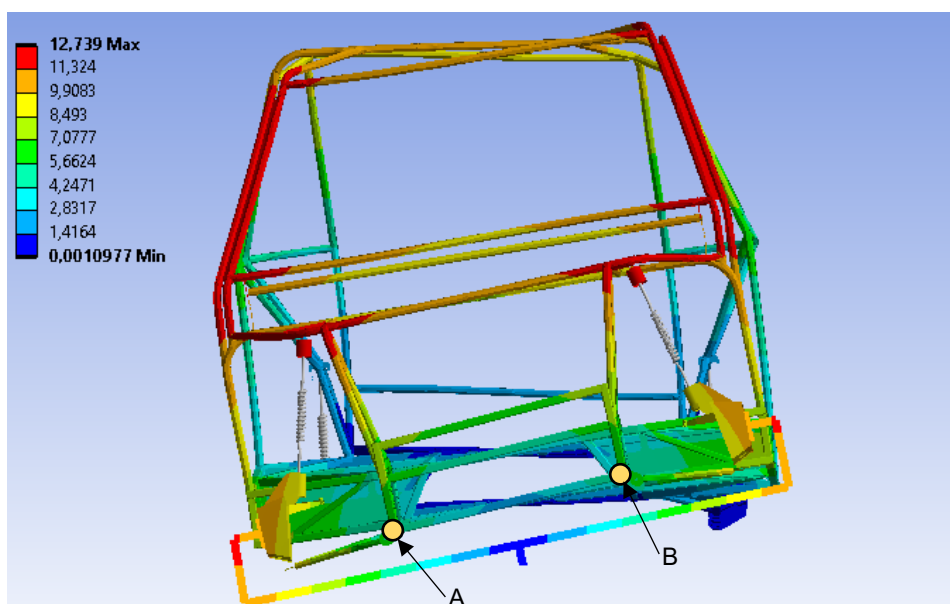
kde F [kN] představuje sílu a l [m] rameno na kterém působí.

Dále bylo potřeba určit úhel zkroucení rámu. K tomu posloužila dvojice bodů (na obrázku 65 označených jako A a B), na kterých byl sledován posun v ose Z. Výsledná posunutí u_1, u_2 [mm] byla dosazena do vzorce pro výpočet úhlu zkroucení α [°] společně s jejich vzájemnou vzdáleností L [mm].

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{u_1 + u_2}{L} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{5,4132 + 5,4685}{669} \right) = 0,9319^\circ \quad (7.3)$$

Torzní tuhost c_T byla následně vypočítána jako poměr kroutícího momentu M a úhlu zkroucení rámu α .

$$c_T = \frac{M}{\alpha} = \frac{2,3067}{0,9319} = 2,475 \text{ kNm}/^\circ \quad (7.4)$$



Obrázek 68 - výsledné zkroucení po zatížení (15x zvětšené) [mm]

Výsledná torzní tuhost byla porovnána s vybranou skupinou konkurenčních vozů (viz tabulka 11). Hodnoty jsou v tabulce seřazeny vzestupně.

Tabulka 11 - srovnání torzních tuhostí vozidel

Vozidlo	Torzní tuhost [kNm/°]
Solární vozidlo (trubkový rám) [35]	1,2
Formula SEA (trubkový rám) [36]	1,6
Řešené elektrické vozidlo	2,5
Ford Mustang 1966 [37]	5
Škoda Fabia 2014	15

8 Diskuze výsledků

V první fázi práce byl zpracován detailní rozbor dvou konkurenčních vozidel. Na základě rešerše byla vybrána elektrická Škoda Citigo a Citroen Ami. Vůz Škoda Citigo byl zvolen z důvodu jeho kompaktních rozměrů. Jedná se o vozidlo, které sice nezapadá do kategorie řešeného vozidla, ale bylo zařazeno z důvodu inspirace. Vozidla kategorie L jsou oproti kategorii M v mnoha aspektech omezená (hmotnost, konstrukční rychlost). Vozidla kategorie M jsou robustnější a bezpečnější právě díky vstřícnějšímu váhovému limitu. Vůz Citroen Ami je přesný opak Škody. Snaží se být co nejlevnější a v tom je jeho kouzlo. Z výsledků rešerše je patrné, že vozidla kategorie L jsou schopná konkurovat, avšak jejich využitelnost je omezená. Výběr vozidel byl správný, avšak v menší míře ovlivněný lokální výrobou Škody Citigo. Nevýhodou řešení vozidla automobilky Škoda může být také ukončení výroby. Celkovým záměrem při výběru řešené dvojice vozidel bylo navázat na rešerši v bakalářské práci a zaměřit se na konkrétní oblasti. Z tohoto pohledu byl záměr naplněn.

Při řešení package bylo snahou udržet ucelený koncept dvoumístného vozidla. Při práci na tvorbě package tak musel být současně řešen jak design vozidla, tak i konstrukce rámu podvozku. Tím bylo docíleno minimalizace nutných úprav v budoucnu. Co se samotné tvorby package týká, chybějící legislativa upravující ergonomii a výhledy byla nahrazena předpisy pro kategorii M. Tím bylo zaručeno splnění všech podmínek kladených na geometrii sedění a odpovídající výhled z vozidla. Hlavní nevýhodou předpisů se ukázala být norma upravující geometrii sedění. Omezení pro pohodlné úhly mezi jednotlivými částmi těla nebylo možné v některých případech dodržet. Primárně za to mohl fakt, že vybraný volant pro použití na řešeném vozidle nebyl nastavitelný. To přináší první větší výzvu do budoucna, s nastavitelným volantem a bezpečnějším sloupkem řízení by bylo možné docílit lepší ergonomie ve vozidle. Jak již bylo zmíněno, samotné ověření výhledů bude nutné ještě prověřit i po zakomponování karosářských dílů. Předpokládá se však, že díky aktuálním výsledkům by ani po instalaci karosářských dílů neměla vzniknout žádná zásadní komplikace.

Návrh bateriového boxu byl řešen primárně z důvodu vyhrazení prostoru pro jeho pozdější osazení. Navržený box je vhodné brát pouze jako pracovní verzi. Navržené technické řešení bude nutné ještě upravit v závislosti na řešení finálního zapojení – instalaci jednotlivých modulů (BMS, rozvodová deska kontroléru, kontrolér apod.) a instalaci kabelových svazků. Na všechny tyto komponenty je však v podlahové části vozidla dostatek volného místa. Zároveň bude potřeba ověřit a optimalizovat vybrané kolejnicové řešení pojezdů boxů.

Konstrukce rámu podvozku prošla mnoha iteracemi. Z původního záměru upravit pouze navržený rám v bakalářské práci se kvůli dodatečným požadavkům stal úplně nový rám. Aktuální řešení vyhovuje všem prostorovým požadavkům. Bez problémů také pojme dvě osoby, náklad o objemu 277 l, dvojnásobné množství baterií, než je potřeba, a veškeré další komponenty. Rám vyhovuje také po pevnostní stránce. Hodnoty napětí na rámu nepřekročily mez kluzu zvoleného materiálu ani při extrémním zatížení. Koeficient bezpečnosti v automobilovém průmyslu je brán jako vyhovující, pokud neklesne pod hodnotu 1,5. Pokles pod stanovenou hodnotu byl zaznamenán pouze při simulaci stavu extrémního brzdění. Je tak na zvážení použití výztuh v daném styčnicku, případně se v budoucnu zaměřit na vzniklé koncentrátoři napětí a podrobit je podrobnější analýze. Torzní tuhost vychází v porovnání se sériovými vozidly také obstojně. Bohužel při řešení konstrukce karoserie pomocí trubkového rámu není prakticky možné docílit srovnatelných hodnot se samonosnou karoserií bez použití výztuh, jimiž by se vozidlo přiblížilo rámu instalovanému do závodních automobilů. Pozitivní vliv na torzní tuhost by mohli mít další komponenty, jako jsou například dveře, osazené bateriové boxy, nebo také celková karoserie. Po dokončení vozidla bude tedy vhodné provést test torzní tuhosti i v reálných podmínkách. Rám bude do budoucna vyžadovat úpravy nebo přidání dalších komponentů pro zvýšení úrovně pasivní bezpečnosti. Nabízí se řešení pomocí převzatých deformačních bloků a výztuhy nárazníku z konvenčního vozidla, případně jiné používané řešení. S pasivní bezpečností také úzce souvisí dveře, které v rámci práce nebyly řešeny.

Komponenty podvozku, tak jak byly navrženy, vyžadují další ověření z pohledu pevnostní analýzy a vyrobiteľnosti. Konkrétně po návrhu brzdového systému a dalších dílčích komponentů náprav. Navržená konstrukce podvozkových komponentů tak zatím nemá finální charakter a čeká se na uzavření designu, což bude předmětem navazujících prací.

9 Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit ucelený koncept městského elektrického vozidla, které bude zkonstruováno na Fakultě dopravní ČVUT. Práce byla zaměřena zejména na tvorbu package vozidla, konstrukci rámu automobilu a jeho následné ověření pomocí strukturálních simulací. Práce se dále zabývala rovněž konstrukcí podvozkových komponentů, designovou a materiálovou studií a legislativou, ze níž návrh vozidla vychází.

V úvodu práce byly shrnuty funkce vozidla z pohledu teorie návrhu automobilu. Tato kapitola posloužila jako základ pro celkové řešení konceptu. Dále byla vybrána dvě vozidla z různých kategorií, která si navzájem konkurují. V dalším postupu byl proveden detailní rozbor těchto zvolených vozidel se zaměřením na související témata package, konstrukce karoserie, bezpečnosti a technických řešení pohonu. Tato vozidla byla následně vzájemně porovnána.

Další kapitola byla zaměřena na tvorbu package navrhovaného vozidla. Při návrhu byly brány v potaz dvě figuríny, navržené a následně vymodelované v CAD programu podle velikostního profilu 5 % ženy a 95 % muže. Celková geometrie sedění a výhledy byly vytvořeny dle ergonomických požadavků a následně ověřeny pomocí vytvořených figurín. Při vytváření byla uvažována také celá řada převzatých komponentů, které budou součástí kompletního vozidla, jako například čelní sklo, sedadla, volant nebo pedály. Ověření výhledů vyhovělo s velkou rezervou, ale u geometrie sedění bude do budoucna uvažován nastavitelný volant pro zvýšení pohodlí při jízdě.

V následující kapitole byla vytvořena designová studie interiéru a exteriéru. V návaznosti na design byly popsány a doporučeny vhodné materiály pro výrobu jednotlivých komponentů včetně vybraných technologických postupů výroby.

V hlavní části práce byla s ohledem na funkčnost a vyrobiteľnosť navržena konstrukce rámu elektrického vozidla kategorie L7e. Oproti prvotnímu návrhu, kterému se věnovala bakalářská práce, byla provedena řada změn. Tím byla docílena snadná vyrobiteľnosť rámu, jenž splňuje veškerá kritéria zadání. Celkovým přepracováním původního návrhu bylo docíleno minimálního nárůstu hmotnosti, a to i dokonce s přidáním rámu střechy a zdvojením konstrukce podlahy zajišťující snadnou manipulaci a ochranu trakční baterie. Navržený rám byl iterativně optimalizován pro výrobu, hlavně z hlediska technologie svařování. Finální podoba byla konzultována odborníky z firmy Kaipan, kteří mají v oblasti návrhu automobilů dlouholeté zkušenosti. Navrženo bylo také konstrukční řešení jednotlivých komponentů podvozku. Geometrie návrhu předního ramene a těhlice byla převzata z konceptu řešeného v bakalářské práci, avšak byla optimalizována pro výrobu ze svařených ocelových plechů. Koncepte zadní nápravy byla kompletně změněna na nezávislou kyvnou variantu zavěšení.

Opět byla zásadním kritériem snadná vyrobiteľnosť a priblížení se konceptu používanému v dané kategorii. Součástí práce bylo také vytvoření technické dokumentace. Výkresy základních rozměrů rámu vozidla a pozic jednotlivých podvozkových komponentů jsou v přílohách 1-4. Podrobná výkresová dokumentace bude předána výrobcí rámu.

V poslední kapitole byla provedena statická pevnostní analýza rámu. Rám vozidla byl pro tyto účely vymodelován v CAD softwaru pomocí skořepin a patřičně připraven na následnou simulaci. Spojení celého rámu bylo realizováno pomocí tuhých vazeb, které patřičně nahradí svary. Pro zajištění reálných přenosů sil byly na rám připojeny jednotlivé navržené podvozkové komponenty. Následně byl model rozdělen na síť umožňující simulace metodou konečných prvků. Celkem byly řešeny tři stavy zatížení. Jednalo se o statické zatížení stojícího vozidla 1,5x větší hmotností, než jaká je celková odhadovaná. Další byl stav brzdění vozidla, kde bylo aplikováno zrychlení proti směru jízdy a kroutící momenty na kola. Ani při jednom z těchto dvou stavů nebyla překročena mez kluzu a koeficient bezpečnosti dosahoval minimální hodnoty 1,388. Poslední zátěžový stav byl počítán pro zjištění torzní tuhosti podvozku. Výsledná torzní tuhost rámu vozidla odpovídá 2,5 kNm/°, což je vyhovující hodnota v rámci srovnání s dalšími automobily. Celkově rám po stránce pevnostní analýzy bez problémů vyhovuje.

Při psaní práce a řešení celého projektu stavby elektromobilu vystala celá řada zajímavých témat a možností, jak na tuto práci navázat. Nabízí se například návrh přední části vozidla nebo dveří z pohledu pasivní bezpečnosti. Také je třeba vyřešit otázku kapotáže včetně stanovení aerodynamického odporu, návrhu osvětlení, komfortních systémů nebo měření spotřeby energie vozidla při jízdě a následné optimalizace. Důležitým funkčním celkem, kterého se tato práce dotýkala jen okrajově, jsou brzdy. Plánované brzdy by bylo vhodné doplnit o systém ABS, a zvýšit tak jejich účinnost. Celková problematika elektrického vozidla je velice obsáhlá a přináší potenciál pro další studenty.

Výroba rámu vozidla je domluvena s firmou Kaipan. Pohonná jednotka a trakční baterie jsou zkompletovány a připraveny na zastavění do vozidla. Také byla vybrána a zakoupena řada komponentů podvozku důležitých pro finální kompletaci. Na dokončení celého vozidla, jeho vylepšení a zkoušení jak v oblastech konstrukce, tak pohonu a nabíjení bych rád navázal v rámci doktorského studia.

Řešení diplomové práce pro mě bylo velice přínosné. Při tvorbě této práce jsem si prohloubil znalosti v oblasti návrhu konstrukcí vozidel, řešení strukturální analýzy a celé řady softwarů z mnoha odvětví. Zároveň se prohloubily moje znalosti technických komponentů podvozku vozidla a způsoby, jakými jsou na sobě závislé. Získal jsem také přehled o postupech výroby ocelových konstrukcí, což povede ke zvýšení efektivity při tvorbě dalších návrhů.

POUŽITÉ ZDROJE

Publikace

- [1] VLK, František. Stavba motorových vozidel: [osobní automobily, autobusy, nákladní automobily, jízdní soupravy, ergonomika, biomechanika, struktura, kolize, materiály]. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-8757-2.
- [2] FIRST, Jiří. *Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry*. Praha: S&T CZ, 2008. ISBN 978-80-254-1805-5.
- [3] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0024-2.
- [4] FRIVALDSKÝ, Michal. *Elektromobilita*. 1. Žilina: EDIS, 2019. ISBN 978-80-554-1598-7.
- [5] VLK, František. *Karosérie motorových vozidel: ergonomika : biomechanika : pasivní bezpečnost : kolize : struktura : materiály*. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5277-9.
- [6] BĚHÁLEK, Luboš. Polymery [online]. Svitavy, ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>

Internetové zdroje

- [7] Škoda Citigo. *Wikipedie* [online]. 2022. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0koda_Citigo
- [8] TEST: Škoda CitigoE iV. *Hybrid.cz* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/test-skoda-citigoe-iv-elektromobil-ktery-meni-cesky-trh/>
- [9] ŠKODA CITIGOE iV. *Škoda storyboard* [online]. 2019. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/en/press-kits/press-kit-skoda-at-the-iaa-2019/skoda-citigoe-iv-around-the-city-with-zero-emissions/>
- [10] ŠKODA CITIGOE iV. *PRE mobilita* [online]. 2019. Dostupné z: <https://www.premobilita.cz/cs/elektromobily/pronajem-elektromobilu/skoda-citigoe-iv/>
- [11] ŠKODA CITIGO - test results. *Euroncap.com* [online]. 2019. Dostupné z: <https://cdn.euroncap.com/media/57728/euroncap-2019-%C5%A1koda-citigo-datasheet.pdf>
- [12] ŠKODA CITIGO. *Skoda-auto.com* [online]. 2019. Dostupné z: https://www.skoda-auto.com/_doc/2f03349d-d5c5-4e9c-a6a3-7adf9a5be7dc
- [13] Škoda Citigo-e iV - Elektromobil pro masy je tady. *Fdrive.cz* [online]. 2020. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/test-skoda-citigo-e-iv-elektromobil-pro-masy-je-tady-4993>

- [14] TEST Škoda Citigoe iV. *Autorevue.cz* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/test-skoda-citigoe-iv-konecne-levny-elektromobil-pro-kazdou-ceskou-rodinu#part=3>
- [15] Nový elektromobil Citroën Ami je možné řídit od 14ti let. *Business car* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.business-car.cz/ekologie/novy-elektromobil-citroen-ami-je-mozne-ridit-od-14ti-let>
- [16] Citroën Ami: Malé velké autíčko. *Autíčkář* [online]. 2021. Dostupné z: <https://www.autickar.cz/clanek/citroen-ami---male-velke-auticko/>
- [17] 2020 Citroen AMI electric 5.5 kWh. *Auto-data.net* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.auto-data.net/en/citroen-ami-electric-5.5-kwh-8hp-39251>
- [18] Citroen My Ami Cargo. *Motor1.com* [online]. 2021. Dostupné z: <https://www.motor1.com/news/505621/citroen-my-ami-cargo-reveal/>
- [19] Citroen Ami (2021) review. *Car* [online]. 2021. Dostupné z: <https://www.carmagazine.co.uk/car-reviews/citroen/ami-electric/>
- [20] Crash testy nejmenších aut. *Autoforum.cz* [online]. 2014. Dostupné z: <https://www.autoforum.cz/ostatni/crash-testy-nejmensich-aut-pojizdnym-rakvim-vevodi-renault-twizy/>
- [21] KAROSERIE A RÁMY MOTOROVÝCH VOZIDEL. *ANZdoc* [online]. 2014. Dostupné z: <https://adoc.pub/karoserie-a-ramy-motorovych-vozidel.html>
- [22] Aixam-Leichtkraftfahrzeuge. *Eg-autos.de* [online]. 2017. Dostupné z: <https://www.eg-autos.de/45kmh-aixam-2017/crossline-premium-aixam.html>
- [23] QUADRICYCLES & MICROCARS. *Euroncap.com* [online]. 2016. Dostupné z: <https://www.euroncap.com/en/ratings-rewards/quadricycle-ratings/>
- [24] Citroen Ami review. *Topgear.com* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.topgear.com/car-reviews/citroen/ami>
- [25] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 168/2013 ze dne 15. ledna 2013 o schvalování dvoukolových nebo tříkolových vozidel a čtyřkolek a dozoru nad trhem s těmito vozidly. *EUR-lex* [online]. 2013. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex%3A32013R0168>
- [26] Ergonomie a ergonomika. *Naše řeč* [online]. 2011. Dostupné z: <http://nase-rec.ujc.cas.cz/archiv.php?art=5303>

- [27] Řízení motorového vozidla a ergonomie. *BOZP - profi.cz* [online]. 2013. Dostupné z: https://www.bozpprofi.cz/33/rizeni-motoroveho-vozidla-a-ergonomie-uniqueidgOkE4NvrWuOKaQDKuox_ZwFk5F7ZUMb193Qsd95gLCQ/
- [28] Automobily. *Docplayer.cz* [online]. 2006. Dostupné z: <https://docplayer.cz/150529-Vyukovy-material-pro-zaky.html>
- [29] Škoda Fabia – Rozměry + Objem kufru. *Octavia club* [online]. 2022. Dostupné z: <https://octaviaclub.cz/fabia/rozmery-objem-kufru/>
- [30] Taška na rozvoz pizzy. *Expondo* [online]. 2022. Dostupné z: https://www.expondo.cz/royal-catering-taska-na-rozvoz-pizzy-45-x-45-cm-10011823?gclid=Cj0KCQjwvLOTBhCJARIsACVIdV1Fkl9RvV74qiFQAQeqfxWDsND-ciqRmVr7aW5LtipmsbTwErduR0saArRIEALw_wcB
- [31] Postup výroby. *Havel composites* [online]. 2022. Dostupné z: <https://www.havel-composites.com/cs/domu>
- [32] STOJANOV NENOV, STANISLAV. *VÝROBA DÍLU ZE SKLOLAMINÁTU* [online]. 2013. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30293169.pdf>
- [33] Materiály pro 3D tisk. *TRILAB* [online]. 2022. Dostupné z: <https://trilab3d.com/cs/magazin/materialy-pro-3d-tisk/>
- [34] 3D tisk fotopolymerizací. *COTU* [online]. 2022. Dostupné z: <https://www.cotu.cz/blog/151/3d-tisk-fotopolymerizaci>
- [35] Torsional Stiffness Comparison of Different Tube Cross-Sections of a Formula SAE Car Space Frame. *MATEC* [online]. 2022. Dostupné z: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/12/mateconf_icmme2018_04002.pdf
- [36] FAGERBERG, Erik. *TORSIONAL STIFFNESS EVALUATION OF A TUBULAR FRAME DEDICATED TO A THREEWHEELED SOLAR CAR* [online]. 2021. Dostupné z: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1582682/FULLTEXT01.pdf>
- [37] Vehicle Torsional Rigidity Explained. *DSPORT* [online]. 2015. Dostupné z: <https://dsportmag.com/the-tech/chassis-tuning-torsional-rigidity/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - valivý odpor na kolo vozidla [3].....	14
Obrázek 2 - aerodynamické víry za vozidlem [3].....	14
Obrázek 3 - forma reprezentace čelní plochy [3].....	15
Obrázek 4 - vyjádření odporu stoupání [3]	15
Obrázek 5 - zavěšení typu McPherson (1 - pero, 2 - tlumící jednotka, 3, trojúhelníkové rameno, 4 - příčný stabilizátor) [26]	17
Obrázek 6 - rám vozidla řešený v bakalářské práci.....	19
Obrázek 7 - vozidlo Škoda CitigoE iV [8].....	20
Obrázek 8 - řešení package vozu Škoda CitigoE iV [9].....	22
Obrázek 9 - změny na konstrukci karoserie elektrické Škody Citigo [10].....	22
Obrázek 10 – crashtest plná bariéra při 50 km/h [9].....	24
Obrázek 11 - Citroen Ami [15].....	25
Obrázek 12 - řešení package u užitkové verze Citroenu Ami [18]	26
Obrázek 13 - řešení konstrukce rámu karoserie Aixam [22]	27
Obrázek 14 - čelní náraz vozidla Ligier - na obrázku je patrný ničím nezpomalený střet hlavy řidiče a volantu [20]	28
Obrázek 15 - čelní náraz vozidla Tazzari Zero - detail na přetržený bezpečnostní pás [18]..	29
Obrázek 16 - rozmístění baterií v boxu u varianty v podlaze	34
Obrázek 17 - umístění baterií v boxu v prostoru pod sedadly	34
Obrázek 18 - čelní strana navrženého bateriového boxu.....	35
Obrázek 19 - boční strana navrženého bateriového boxu.....	35
Obrázek 20 - návrh bateriového boxu – vizualizace.....	36
Obrázek 21 - vlivy na geometrii sedění řidiče vozidla [5]	37
Obrázek 22 - doporučené rozměry sedění podle normy VDI 2780 [5]	38
Obrázek 23 - 3D figurína 95 % muže vytvořená podle normy VDI 2780.....	39
Obrázek 24 - sedadlo Škoda Rapid použité jako výchozí	40

Obrázek 25 – rozmezí pohybu bodů H pro dvě velikosti postavy a s vyznačením nastavitelnosti sedadla	41
Obrázek 26 - rozmístění pedálů a sloupku řízení podle normy ČSN 30 0734 - a = 120 mm, b = min. 100 mm, c = min. 60 mm, d = min. 160 mm, e = min. 150 mm, f = min. 140 mm [5] .	42
Obrázek 27 - rozmístění pedálů (zleva pedál brzdy, pedál akcelérátoru) a volantové tyče ...	43
Obrázek 28 - vizualizace pedálové soustavy	43
Obrázek 29 - rozsahy pohybu očí a hlavy [5]	45
Obrázek 30 - ověření výhledu průmětem šesti bodů [5].....	45
Obrázek 31 - model čelního skla v rámci vozidla	47
Obrázek 32 - ověření výhledů metodou šesti bodů	47
Obrázek 33 - ověření zakrytí binokulárního výhledu A-sloupky	48
Obrázek 34 - render celkového package vozidla	49
Obrázek 35 - skica vozidla, pohled na přední roh	50
Obrázek 36 - skica vozidla, pohled z boku	50
Obrázek 37 - render 3D modelu vozidla, pohled na přední roh.....	51
Obrázek 38 - příklad použití polypropylenu [6]	53
Obrázek 39 - příklad použití polymethylmethakrylátu [6].....	54
Obrázek 40 - postup vrstvení skelných rohoží při ruční laminaci [32]	55
Obrázek 41 - skica exteriéru s odkazovými šipkami na použité materiály	56
Obrázek 42 - skica interiéru s odkazovanými šipkami na použité materiály	58
Obrázek 43 - první verze navrhovaného rámu	59
Obrázek 44 - druhá verze navrhovaného rámu	60
Obrázek 45 - spodní příhradový rám z třetí verze rámu vozidla.....	61
Obrázek 46 - vrchní rám z třetí verze rámu vozidla.....	61
Obrázek 47 - příklad optimalizace uzlu před (vlevo) a po (vpravo)	62
Obrázek 48 - finální verze navrhovaného rámu	62
Obrázek 49 - původní těhlice pro použití na vozidle.....	63
Obrázek 50 - navržená těhlice z ocelového plechu s držákem kulového čepu	64

Obrázek 51 - sestava předního ramene	64
Obrázek 52 - sestava zadní kyvné nápravy	65
Obrázek 53 - tlumící a pružící jednotky Aixam (přední vlevo, zadní vpravo)	66
Obrázek 54 - schéma umístění motoru ve vozidle	66
Obrázek 55 - navržené řešení podvozku elektromobilu	67
Obrázek 56 - rám podvozku včetně motoru a podvozkových komponentů	67
Obrázek 57 - příprava skořepinové geometrie modelu před (vlevo) a po (vpravo)	68
Obrázek 58 - připravená geometrie rámu vozidla s barevně označenými tuhými vazbami ...	69
Obrázek 59 - ukázka automatického síťování na styčnicku rámu vozidla.....	71
Obrázek 60 - definované vazby na předním (vlevo) a zadním (vpravo) zavěšení kol.....	71
Obrázek 61 - počáteční podmínky prvního zátěžového stavu.....	72
Obrázek 62 - vykreslení Von Misesova napětí na rámu vozidla [MPa]	73
Obrázek 63 - detail styčnicku s maximální hodnotou Von Misesova napětí [MPa].....	73
Obrázek 64 - počáteční podmínky druhého zátěžového stavu	74
Obrázek 65 - vykreslení Von Misesova napětí na rámu brzděného vozidla [MPa]	75
Obrázek 66 - detail napětí na rámu v okolí úchytů sedadla [MPa]	75
Obrázek 67 - počáteční podmínky simulace torzního namáhání	76
Obrázek 68 - výsledné zkroucení po zatížení (15x zvětšené) [mm].....	77

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - nastavení geometrie přední nápravy	19
Tabulka 2 - srovnání vozidel z kategorie L7e [21]	30
Tabulka 3 - srovnání vnějších rozměrů vozidel podobné koncepce	32
Tabulka 4 - doporučené rozměry figuríny podle VDI 2780 [5]	39
Tabulka 5 - umístění normovaných osob ve vozidle, porovnání s rozmezím pro VDI 2780 doplněné o ČSN 30 0724	40
Tabulka 6 - rozměry místa pro řidiče	44
Tabulka 7 - souřadnice V bodů pro sklon opěradla 30° [2].....	46
Tabulka 8 - souřadnice bodů P pro sklon opěradla 30° [2].....	46
Tabulka 9 - vstupní hodnoty pro nastavení automatického síťování	69
Tabulka 10 - materiálové vlastnosti konstrukční oceli normy ČSN ISO 11 373	70
Tabulka 11 - srovnání torzních tuhostí vozidel	77

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Rendery package vozidla

Příloha 2 – Výkres č. EV-001 – ELEKTROMOBIL – ZÁKLADNÍ ROZMĚRY

Příloha 3 – Výkres č. EV-002.1 – TRUBKOVÝ RÁM – SESTAVA

Příloha 4 – Výkres č. EV-002.2 – DRŽÁKY PODVOZKU – SESTAVA

Příloha 5 – Výkres č. EV-002.3 – DRŽÁKY PODVOZKU – POZICE

Příloha 6 – Výkres č. EV-200 – PACKAGE VOZIDLA

Příloha 1 – Rendery package vozidla



