

Disertační práce

Design pro elektromobilitu
Design for electromobility

Autor: **MgA. Rostislav Zapletal**
Studijní program: Výtvarná umění
Studijní obor: Multimédia a design
Školitel: doc. MgA. Martin Surman, ArtD.
Oponenti: doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.
prof. akad. soch. Peter Paliatka

Zlín, září 2022

© Rostislav Zapletal

Vydala **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně** v edici **Doctoral Thesis**.

Publikace byla vydána v roce 2022

Klíčová slova: *elektromobilita, elektromobil, podvozková platforma, průmyslový design, aerodynamika, chlazení*

Key words: *electromobility, electric car, chassis platform, industrial design, aerodynamic, cooling*

Práce je dostupná v Knihovně UTB ve Zlíně.

ABSTRAKT

Předmětem disertační práce je návrh a příprava realizace čtyřmístného sportovního elektromobilu s důrazem na inovativní řešení přední části vozu zajišťující zvýšení ovladatelnosti a bezpečnosti ve vyšších cestovních rychlostech. Nová designérská koncepce je paralelní větví vývoje elektromobilu vyvíjeném uvnitř výzkumného pracoviště Katedry materiálů a technologií pro automobily VŠB – Technické univerzity v Ostravě. Vývoj tohoto ambiciózního projektu je s Fakultou multimediálních komunikací propojen skrze dlouholetou spolupráci s ateliérem Průmyslový design. Hlavní část práce je věnována designérskému procesu navrhování a testování inovativních řešení. Byl navržen zcela nový vůz s vlastní koncepcí i stanovenými rozměry. Stavba technicky velmi vyspělého elektromobilu z nulového bodu si vyžádala nadstandardní rozsah designérské práce. Bylo nutné dokonale zajistit komplexní řešení obrovského množství parametrů přecházejících z vizuálních až do technicky plně funkčních řešení. Navržený vůz plní přísné homologační a bezpečnostní předpisy pro provoz na pozemních komunikacích. Technickými parametry se tento elektromobil bude řadit mezi vrcholné sportovní modely koncernových značek.

ABSTRACT

The subject of the dissertation is the design and preparation of the realization of a four-seater sports electric car with an emphasis on an innovative design of the front part of the car to ensure increased handling and safety at higher cruising speeds. The new design concept is a parallel branch of the development of the electric car developed within the research Department of Materials and Technologies for Vehicles of the Technical University of Ostrava. The development of this ambitious project is linked to the Faculty of Multimedia Communications through a long-standing cooperation with the Industrial Design Studio. The main part of the thesis is devoted to the design process of designing and testing innovative solutions. A completely new car with its own concept and defined dimensions was designed. Building a technically very advanced electric car from scratch required an above-standard scope of design work. It was necessary to provide a perfectly comprehensive solution for a huge number of parameters moving from visual to technically fully functional solutions. The designed vehicle meets the strict homologation and safety regulations for road traffic. The technical characteristics of this electric car will place it among the top sports models of the Group's brands.

Poděkování

Děkuji panu doc. MgA. Martinu Surmanovi, ArtD. za dlouhodobé vedení a vstřícný přístup po celou dobu studia na Univerzitě Tomáše Bati, dále také panu profesorovi PhDr. Zdeno Kolesárovi, PhD. za jeho vedení práce v počátcích vzniku, kdy celá práce krystalizovala a předvážela se v důmyslnější principy propojující estetickou, technickou i filozofickou stránku věci. Dále bych chtěl poděkovat celému týmu StudentCar, který se důkladně věnoval nejen technické, ale i administrativní stránce věci. Závěrem bych chtěl poděkovat panu doc. Petru Tomčíkovi za vloženou důvěru a volné pole působnosti při navrhování karoserie pro takto odvážný a zároveň organizačně, technicky, finančně i legislativně nesmírně náročný projekt.

„No artist tolerates reality.“

Friedrich Nietzsche

OBSAH

OBSAH	5
ÚVOD	8
1 CÍLE	11
1.1 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE A METODIKA JEJICH OVĚŘENÍ.....	12
1.1.1 Cíl výzkumu	12
1.1.2 Hlavní cíl	12
1.1.3 Účel šetření.....	12
1.1.4 Hypotézy	12
1.1.5 Metodika zpracování	13
- HISTORICKÝ VÝVOJ ELEKTROMOBILŮ.....	13
- ANALÝZA PŘEDNÍCH NASÁVACÍCH OTVORŮ SOUČASNÉ PRODUKCE ELEKTROMOBILŮ.....	13
2 FILOZOFIE VÝROBY VLASTNÍHO AUTOMOBILU	14
2.1 ELEKTROMOBILITA	15
2.1.1 Chlazení.....	15
3 HISTORIE A SOUČASNOST NÍZKOVÝKONÝCH ELEKTRICKÝCH VOZŮ	16
4 HISTORIE A SOUČASNÁ PRODUKCE VYSOKOVÝKONNÝCH ELEKTROMOBILŮ	26
5 ZADÁNÍ PROJEKTU	34
5.1.1 Navrhování elektromobilu z nulového bodu.....	36
5.1.2 Návrh karoserie vozu v kresebné formě	36
5.1.3 Prvotní návrh interiéru.....	37
5.1.4 Základní ergonomická studie	38
5.1.5 Variantní návrhy přední masky elektromobilu.....	39
5.1.6 Modelování karoserie ve 3D CAD softwaru	41
5.2 IMPLEMENTACE MOTÝLÍCH DVEŘÍ.....	42
5.2.1 Vyhlazování tvarově složitých ploch v doplňkovém modulu NPowerSurface.....	43
5.2.2 Inovace založené na zkušenostech z Virtuální reality	43
5.3 INTERIÉR VOZU	45
5.4 KOMFORT A BEZPEČÍ SPOLUJEZDCE.....	46

5.5	NÁVRH PROUDĚNÍ TRÍZÓNOVÉ KLIMATIZACE	47
5.6	REALIZACE MAKETY INTERIÉRU V MĚŘÍTKU 1:1	47
5.1	APLIKACE SYSTÉMU SNÍMACÍCH KAMER.....	50
6	AERODYNAMIKA	52
6.1.1	<i>Základní terminologie aerodynamiky</i>	<i>53</i>
6.1.2	<i>Funkce předního splitru.....</i>	<i>54</i>
6.1.3	<i>Princip funkce přitlačného křídla</i>	<i>54</i>
6.1.4	<i>Nejvhodnější umístění otvoru pro chlazení vozidla</i>	<i>55</i>
6.1.5	<i>Simulace rozložení tlaku Škoda Octavia IV.....</i>	<i>55</i>
6.1.6	<i>Možnosti odlišného tvarového řešení elektromobilů oproti automobilům se spalovacím motorem</i>	<i>56</i>
7	NÁVRH PŘEDNÍ MASKY VOZU	58
7.1	STANDARTNÍ ŘEŠENÍ NASÁVANÍ VZDUCHU	58
7.1.1	<i>Zakomponování principu přitlaku do masky vozu</i>	<i>59</i>
7.2	KAROSERIE UZPŮSOBENÁ NAVRŽENÉMU ŠASI VOZU	61
8	PŘÍNOS NOVÉHO UNIKÁTNÍHO ŘEŠENÍ PŘEDNÍ MASKY	62
8.1.1	<i>Referenční model – konvenční řešení přední části elektromobilu..</i>	<i>63</i>
8.1.2	<i>Rozložení tlaku vzduchu z čelního pohledu</i>	<i>64</i>
8.2	OVĚŘENÍ HYPOTÉZY GENEROVÁNÍ PŘÍTLAKU	66
8.2.1	<i>Měření přitlačných sil na vložené křídlo</i>	<i>66</i>
8.3	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ PŘÍTLAKU A POTVRZENÍ HYPOTÉZY GENEROVÁNÍ PŘÍTLAKU A LEPŠÍHO ROZLOŽENÍ TLAKU	69
8.4	CELKOVÁ AERODYNAMIKA VOZU	70
8.5	ZADNÍ PŘÍTLAČNÝ DIFUZOR.....	70
8.5.1	<i>Navrhované varianty přitlačných difuzorů.....</i>	<i>71</i>
8.6	POTVRZENÍ TŘETÍ HYPOTÉZY	73
	74
8.7	MĚŘENÍ AERODYNAMICKÉHO ODPORU ELEKTROMOBILU TITAN.....	74
8.8	PŘESNOST MĚŘENÍ	74
8.9	POTVRZENÍ ZÁVĚREČNÉ ČÁSTI HYPOTÉZY	75
8.9.1	<i>Výroba makety vozu na velkoformátové 3D tiskárně</i>	<i>77</i>
8.9.2	<i>Finalizace zmenšeniny vozu.....</i>	<i>78</i>
8.9.3	<i>Finální vizualizace vozu StudentCar Titan.....</i>	<i>80</i>
8.10	PŘÍPRAVA VÝROBY KAROSERIE	83
8.11	ZJEDNODUŠENÝ TECHNICKÝ VÝKRES ELEKTROMOBILU SC TITAN	85

ZÁVĚR.....	87
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	88
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	93
SEZNAM OBRÁZKŮ	94
SEZNAM GRAFŮ	105

ÚVOD

Cílem této disertační práce je zkoumání uplatnění tvarových inovací designu karoserie u reálně vyvíjeného prototypu elektromobilu podpořené exaktním vědeckým výzkumem. Pro Fakultu multimediálních komunikací by měl mít projekt vysokou přidanou hodnotu, jelikož prezentuje schopnosti meziuniverzitní spolupráce na mimořádně unikátním projektu v evropském ale i světovém měřítku.

Obecným cílem je vytvoření vysoko-výkonného elektromobilu jako jedinečné platformy rozvoje nových progresivních technologií v oblasti elektromobility, posouvající hranice současných estetických forem. Automobil byl iniciován v rámci spolupráce Ateliéru Průmyslový design Fakulty multimediálních komunikací UTB a Fakulty materiálově-technologické VŠB-TUO. Tento velkorysý čtyřsedadlový sportovní elektromobil je strategicky koncipován jako další vývojový článek výzkumu a vývoje na Katedře materiálů a technologií pro automobily na VŠB – Technické univerzitě Ostrava. Myšlenkově utvořen s ohledem na budoucí vysokou technologickou náročnost s vizí dosažení nových technologických milníků v oblasti budoucího vývoje elektromobilů.

Vývoj nového elektromobilu byl zařazen do projektu Technologické agentury České republiky (CK01000047), se zaměřením na „Zvyšování bezpečnosti malosériové vyráběných elektrovozidel“. (2020-2023) Disertační práce využívá široký potenciál automobilového vývoje a v rámci paralelního výzkumu si dává za cíl navrhnout a otestovat vlastní inovativní tvarové řešení přední části elektromobilu, které by v budoucnosti mohlo přispět k vyšší efektivitě provozu nebo bezpečnosti ovládání elektromobilů.

Navrhování, vývoj a stavba nového automobilu je v obecném pojetí nesmírně komplexní činnost zahrnující práci špičkových designérů, vysoce kvalifikovaných konstruktérů, vědeckých pracovníků a ohromného kvanta široce kvalifikovaných lidí. Vývoj propojuje velké množství různých průmyslových odvětví a z toho důvodu se jedná o jednu z finančně nejnáročnějších disciplín v technickém světě. Právě z důvodu velké inženýrské náročnosti se po mnoha desítkách let produkce musela ve všech automobilkách narůstající složitost vývoje vyřešit tzv. outsourcingem. Automobilový vývoj tedy již neprobíhá pod jednou střechou, ale je roztržěn pod velké množství firem, které automobilkám dané komponenty vyvíjejí. Tyto firmy obvykle zajišťují produkci ve vlastních továrnách, přičemž pro komponenty musejí nakupovat nejen suroviny, ale i součástky od dalších dodavatelů – např. výrobců čipů. Do vývoje se dále zapojují softwarové, konstrukční a designérské kanceláře, které fyzické produkty přímo nevyrábějí, ale zajišťují pouze návrhovou stránku vývoje. V automobilovém světě není neobvyklé, že design automobilu nevzniká přímo v automobilce, ale je dílem pouze designérského studia, které bylo pro tento účel najato.

Náklady na vývoj jednoho typu automobilu závisí na ohromném počtu rozličných faktorů. Z tohoto ohledu nelze finanční stránku vývoje příliš zevšeobecňovat. Veřejně dostupné informace koncernových automobilek uvádějí náklady na běžné modely aut v rozsahu 2 až 5 miliard českých korun. (Sochor, 2013) U prémiových modelů mohou náklady dosáhnout ceny dosáhnout i výše. Vývoj zcela nové platformy elektromobilu, si ovšem žádá plošné investice. Například automobilka Audi vyhlásila investice do elektromobility v letech 2018 až 2023 ve výši 14 miliard euro – přibližně 345 miliard českých korun. (Busvine, 2018) Takto ohromné finanční prostředky ukazují mohutnou sílu koncernových automobilek.

V konečném důsledku je ale vývoj všech modelů zaměřený především na co nejvyšších realizovatelných výnosech z prodeje. Vážný problém nastane, pokud jsou náklady na vývoj mnohem vyšší než zisky. Vysoká cena vývoje nesouvisí s výkonem, nebo luxusním pojetím vozu. V současnosti nelze sázet na masovou produkci malých automobilů, které by teoreticky mohly přinášet vysoký finanční přínos. Spíše naopak. Vývoj automobilů je mnohonásobně složitější, než tomu bylo po druhé světové válce, a proto již nelze tak snadno zopakovat komerční úspěchy s lidovými vozy. I malý, zdánlivě jednoduchý vůz stojí ve vývoji miliardy, které nízké marže už nemusejí dorovnat. Například i u konstrukčně běžného automobilu se spalovacím motorem jako byl malý německý vůz Smart Fortwo bylo nákladným vývojem a slabými prodeji docíleno masivní kumulativní finanční ztráty v přepočtu 86,3 miliardy korun. (Holloway, 2013) Řešením na úspěch tedy není vždy vývoj jednoduchých, nebo levných vozů.

I přesto lze za nepatrný zlomek nákladů koncernových automobilek vyvinout plnohodnotný elektromobil, pokud je vývojářský tým dokonale obeznámen s limity vývoje. Z toho důvodu téma disertační práce směřuje do segmentu sportovních elektromobilů. Zvýšené náklady na vývoj každého složitého komponentu by byly pro standartní vůz neopodstatněné. U malosériové výroby sportovních elektromobilů lze využívat progresivní výrobní technologie, které v malém množství výrazně zlehují výrobu, ale nelze je zatím zapojit do sériové produkce v automobilkách. Tohoto technického rozdílu lze v prototypové výrobě využít.

S pádem železné opony světový technologický vývoj ohromně navýšil svůj potenciál a svět se začal niterně a dramaticky přetvářet. V dějinách lidstva nikdy neexistovalo tak dynamické období, které by měnilo nejpokročilejší lidské technologie v zastaralé v horizontu pouhých dvou let nebo méně. Pro automobilky je třeba rozvážně dbát na výběru perspektivních technologií s rezistencí vůči zastarávání. U standartních automobilů nemusí zvolené technologie hrát tak velkou roli při úspěchu na trhu. Naopak některé dceřiné koncernové automobilky sázejí pouze na již prověřené technologie a svou oblast zájmu soustřeďují směrem ke konstrukční spolehlivosti, nadstandartní kvalitě zpracování nebo praktičnosti. V rámci sdílené koncernové politiky se i ony

dostanou ke špičkovým technologiím, byť s delším časovým odstupem. U vrcholných modelů je situace odlišná, neboť technologie ověřené u sportovních, nebo vlajkových vozů mohou v horizontu dalších let přenášet na levnější modely. Příkladem může být například nasazení technologie adaptivního brždění u nejluxusnějšího Mercedes-Benz třídy S v roce 2005. Po následném nasazení v koncernu VW u dražších modelů se v roce 2012 tato technologie vázaná na systém LIDAR dostala až do nejnižší třídy automobilů značky Škoda, konkrétně u modelu Citigo. Vysoké počáteční náklady byly u luxusních vozů snesitelné a s nástupem výroby větších sérií a zdokonalováním bylo za několik let možné prosadit technologii i u těch nejlevnějších modelů. Tento příklad dobře ilustruje důležitost aplikace komplikovaných a vývojářsky riskantních technologií do drahých automobilů. Nelze ovšem vytvářet inovace donekonečna. Některé technologie mají své fyzikální a finanční meze výroby, které už nelze překračovat. S akcelerací vývoje nové generace tzv. chytrých telefonů začali proto automobilky investovat více do vývoje nehmotných aplikací (softwarů). Technicky totiž nelze u naprosté většiny typů automobilů nikam výrazněji stoupat, z toho hlediska je příklon k vývoji softwarů logický. Fyzický technologický vývoj tedy nadále přetrvává především u vrcholných modelů aut, a zvláště u sportovních vozů, kde může cena jediného dílu překračovat celou hodnotu standartního automobilu.

Projekty sportovních vozů jsou z hlediska špičkového vývoje v automobilkách důležitější, než by se na první pohled mohlo zdát. Technologie přenesené na běžné vozy v konečném důsledku snižují spotřebu, zlepšují ovladatelnost, bezpečí, jízdní komfort, aerodynamiku a u elektromobilů i dojezd. Cesta hmatatelného technologického progresu je ve vysoce konkurenčním automobilovém průmyslu jednoznačná – je jím vývoj výkonných a komplexních elektromobilů.

1 CÍLE

Z designérského hlediska je velmi těžké hledat tvarové inovace v nejnáročnějším segmentu produktové oblasti designu designérské profese, kterým automobilový design je. Nicméně s vlastním návrhem celého elektromobilu na platformě vozu vyvíjeného univerzitou je možné navrhovat zcela bez omezení koncernové politiky velkých automobilek. Vzhledem k mimořádně velkému rozsahu vývoje elektromobilu se disertační práce zaměřuje především na tvarovou inovaci přední nasávací masky, která má klíčovou funkci při chlazení baterií a pohonných jednotek vozu.

Výzkumná část v rámci tohoto projektu zkoumá především rozdíly mezi konvenčními řešeními konkurenčních automobilek a tvarovou inovací v podobě nové masky automobilu StudentCar Titan. Klíčovou součástí této práce by měla být příprava realizace prototypu masky pro reálný vůz. Studie návrhu sportovního elektromobilu má dále velmi vysoký potenciál přinést řadu dalších inovací přenositelných do praxe. V oblasti procesu vývoje byla použita velice inovativní aplikace virtuální reality do procesu navrhování karoserie a interiéru. Vývoj prototypu je podpořen Technologickou agenturou České republiky ve spolupráci s českou společností EVC Group s.r.o. Projekt je provázán v rámci spolupráce na vývoji bateriových boxů, kompozitových součástí a špičkové světelné techniky v segmentu automotive. Elektromobil je jednoznačně zamýšlen jako plně funkční vůz splňující přísné homologační předpisy Evropské hospodářské komise (dále jen EHK) a konstrukčně-designérský návrh tyto normy bez výjimky dodržuje.

Disertační práce navazuje na návrh nikoli konzumního produktu, ale na technologický a v minimálně České republice designérský unikát zamýšlený v produkci pouze několika kusů. Důraz je kladen na technologický pokrok, inovativnost, maximální možný podíl vývoje v České republice a zároveň svébytnou a sebevědomou estetiku.

Současný automobilový vývoj je ve fázi pozvolného přechodu na elektrifikovanou platformu a přetváření nynějších výrobních postupů. Progresivní technologie jsou vyvíjeny různými projekčními institucemi a firmami, které je dodávají vzájemně si konkurujícím automobilkám. Některá technologická řešení jsou v duševním vlastnictví pouze několika světových výrobců. Jedná se především o vývoj technologie světlometů, elektronické součástky, technologie chlazení, komplexní systémy autonomního řízení, battery management a specializované softwary. Z tohoto ohledu je spolupráce se světovými vývojáři klíčová. Vzhledem k bohaté automobilové historii českých zemí se většina těchto klíčových vývojářů nachází přímo na českém území, což zjednodušovalo odborné konzultace při vývoji vozidla. Specifické české prostředí silně orientované na průmysl je pro tento projekt jednoduše ideální.

1.1 Cíle disertační práce a metodika jejich ověření

1.1.1 Cíl výzkumu

Analýza výchozích řešení přední masky u současné produkce elektromobilů a následná aplikace nového designérského návrhu atypické přední masky v softwaru simulujícího proudění vzduchu při jízdě. Na základě softwarového výzkumu proudění vzduchu je možné určit, zda má daný návrh technický přínos v oblasti zvýšení efektivity chlazení elektromobilů.

1.1.2 Hlavní cíl

Vytvoření unikátní masky elektromobilu, funkčně i esteticky odlišné od současné produkce. Zakomponování principu přítlačného křídla do masky vozu. Příprava prototypu do výroby na základě aplikovaného výzkumu.

1.1.3 Účel šetření

Hlavní předmět disertační práce – zkoumání možnosti uplatnění tvarové inovace přední masky u vysoko-výkonového elektromobilu s progresivní technologií chlazení bateriových článků a pohonných jednotek.

Navrhovaná část designérské inovace je součástí většího celku zabývající se vývojem nového elektromobilu, který má velký inovační potenciál v oblasti vlastního vývoje elektromobility v České republice. Projekt je mimo jiné podpořen Technologickou Agenturou České republiky za účelem vývoje nové podvozkové platformy.

1.1.4 Hypotézy

Hypotéza 1

Tvar předních částí karoserií umožňuje navrhnout řešení, které by mohlo zvýšit přítlak elektromobilu k vozovce a zároveň by tento prvek nemusel zvýšit odpor vzduchu.

Hypotéza 2

Vhodné prostorové tvarování okolí přední nasávací masky vozu by mohlo zlepšit rozložení tlakového působení na přední část vozu.

Hypotéza 3

Zakřivené lamely zadního difuzoru by mohly zlepšit přítlak vozu v porovnání se standartními kolmými lamelami

1.1.5 Metodika zpracování

- Historický vývoj elektromobilů
- Analýza předních nasávacích otvorů současné produkce elektromobilů
- Variantní konstrukční a kresebné návrhy.
- Tvorba konstrukčních dat. Modelování karoserie. Vypracování vizualizací. Analýza estetické kvality konstrukční geometrie za pomoci Virtuální reality.
- Kontrola plnění homologačních norem EHK/ES pro vozidla na pozemních komunikacích
- Softwarová analýza efektivity zvoleného designérského řešení předního nasávače vzduchu
- Příprava realizace prototypu

2 FILOZOFIE VÝROBY VLASTNÍHO AUTOMOBILU

Je zcela zřejmé, že navrhování a výroba automobilů je velice riskantní a extrémně finančně náročnou záležitostí. Jistě se nabízí otázka, jestli je nutné v univerzitním prostředí natolik riskovat materiální a lidské zdroje v kontextu faktu, že ani nejprestižnější univerzitní instituce se o něco tak ambiciózního nepokoušejí. Z toho důvodu je tentokrát nutné zahrnout do souvislosti historický kontext. V období průmyslové revoluce byla česká část Rakouska-Uherska průmyslově silně rozvinutá. Velké množství dílen, různých laboratoří a učilišť na území dnešní České republiky později předurčilo její další budoucí rozvoj. Vysoký technologický potenciál lákal do země talentované techniky, vědce nebo konstruktéry. Specifická česká demografie nakonec zajistila, že na téměř každém kousku země existovala nějaká dílna nebo fabrika vyrábějící nejrůznější stroje nebo automobily, které se stali pro ekonomiku klíčovou. Historická specializace průmyslu na automobily reflektuje celosvětově druhá a také pátá nejstarší automobilka zastoupená kopřivnickou Tatra a mladoboleslavskou Škodou. Z desítek různých českých automobilových výrobců nakonec postupně vykryštovali největší výrobci a jako byl prostějovský Wikov, kopřivnický koncern NW (Tatra), mladoboleslavský Laurin a Klement, pražská Praga, nebo plzeňská Škoda. Postupem času se sice počet automobilek zmenšil, ale automobily samotné se stávaly stále komplikovanější, proto potřebovali další součástky, které vyráběli další dodavatelské podniky jako například novojičínský Autopal (současný Varroc Lighting Systems, s.r.o.). Na českém území takto během staletí vznikalo obrovské množství podniků se širokými možnostmi výroby a kvalitním know-how. Na podniky navazoval český vzdělávací systém, který mnohé chlapce přímo předurčoval pro práci v klíčovém automobilovém průmyslu. Drastické změny politické situace v posledních 80 letech sice české podniky s mohutnými ztrátami přežili, problém ovšem nastal v technologickém potenciálu přeživších. České podniky i přes obecně proklamovaný rychlý vývoj světové společnosti dodnes žijí ze setrvačnosti jejich bohaté minulosti. Stále jsou a budou technologickými špičkami v celém světě, jejich know-how, ale právně vlastní zahraniční firmy, které českou ekonomiku využívají pro svůj vlastní růst.

České republice tedy zůstal technologický potenciál, jeho využití se ovšem rozměnilo do velkého množství zahraničních akvizic. Posledním skutečně velkým a významným českým vývojářským producentem osobních automobilů je Škoda Auto německého koncernu VW. Kopřivnická Tatra byla v souvislosti se špatným politickým vývojem v totalitním Československu nucena výrobu osobních vozů ukončit a zaměřit se pouze na nákladní automobily. Ostatní podniky se tedy zaměřily na kooperaci s dalšími světovými výrobci. ČR tedy stále disponuje vysokým výrobním a vývojářským potenciálem. S nástupem Průmyslu 4.0 se ovšem očekává částečný technologický převrat a univerzita jako veřejná

instituce by měla tyto změny zachytit a zajistit snovou budoucnost technologickému vývoji staronovým českým elektromobilům.

2.1 Elektromobilita

S požadavkem na vysoké uživatelské nároky, kterým elektromobily čelí, se komplikuje cesta vývoje a množství použitých komponentů. Jednoduché elektromobily z historických počátků se vyvinuly ve vozy se složitým systémem ovládání, chlazení a udržování elektromobilů v optimální jízdní kondici. V tomto období hledají vědci a vývojáři nové cesty vývoje, kterým se bude celý svět ubírat. Nicméně každé nové řešení na sebe nabaluje další nový vývoj a situaci komplikuje. V budoucnosti budeme z tohoto vývoje těžit. Zkušenosti získané vývojem elektromobilů se budou uplatňovat u dalších typů dopravních, přepravních, průzkumných a leteckých prostředků.

2.1.1 Chlazení

Vůz je třeba chladit poměrně výrazně kvůli zahřívání baterii, dále je třeba chladit převodové skříně, motory a měniče. Pro tyto účely se u automobilů i elektromobilů využívají výměníky vzduch-kapalina z hliníkových slitin. Tyto výměníky se označují jako chladiče. Uvnitř okruhu, na který je chladič napojen koluje kapalina. Zahřátá kapalina z motorů, převodovek, nebo okolí baterií koluje vedením až do chladicí sítě (blok chladiče) který na základě fyzikální výměny tepla s okolním vzduchem ochlazuje kapalinu uvnitř chladiče. Z toho důvodu jsou chladiče do maximální možné míry žebrovány, aby co nejefektivněji odevzdávali teplo do okolí. (Vlk, 2002, s.297) Právě umístění chladiče a vytvoření masky pro optimální navedení chladného vzduchu skrze chladič bude klíčové pro výzkumnou část této disertační práce.

3 HISTORIE A SOUČASNOST NÍZKOVÝKONÝCH ELEKTRICKÝCH VOZŮ

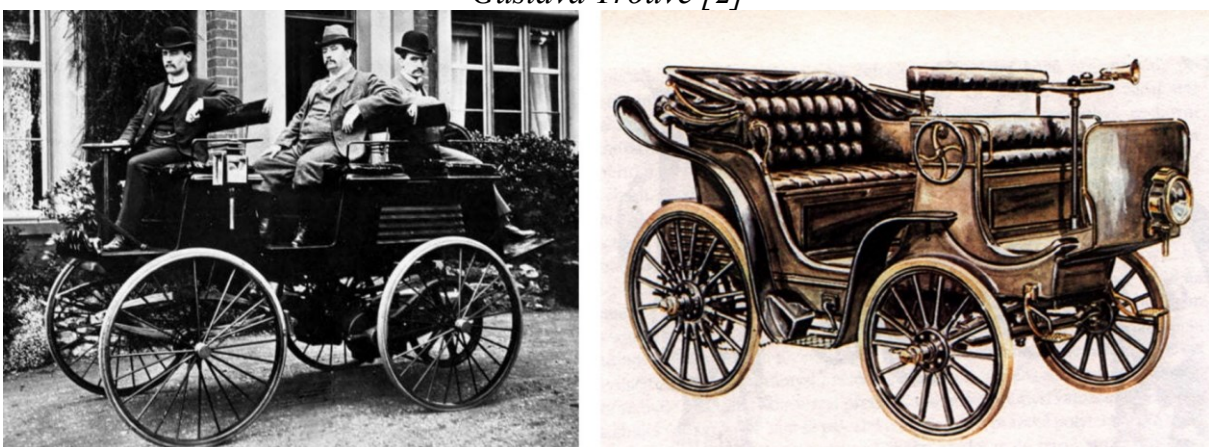
První elektromobil sestavili již v roce 1835 profesor Sibrandus Stratingh s asistentem Christopherem Beckerem v Holandsku. Problematické je na tomto prvenství to, že tento prototyp nebyl vzhledem ke konstrukci schopen uvést žádné pasažéry, byl tedy pouhým samohybem. Prvním elektromobilem schopným uvést pasažéra byla až tříkolka francouzského vynálezce Gustava Trouvé z roku 1881. Toto vozítko připomínající spíše neobvyklý bicykl využívalo vynálezu olověného akumulátoru. (Wakefield, 1995)

Kočáry přetvořené v elektromobily

První vícemístný elektromobil pravděpodobně sestrojil anglický vynálezce Thomas Parker roku 1884, první fotografický záznam ovšem pochází až z roku 1895. (Schoppert, 2017) První vícemístný elektromobil v českých zemích sestrojil roku 1895 vynálezce František Křížík. Vůz poháněl elektromotor o výkonu pěti koní a akumulátor se sestával ze 42 článků. (Lasík, 2000)



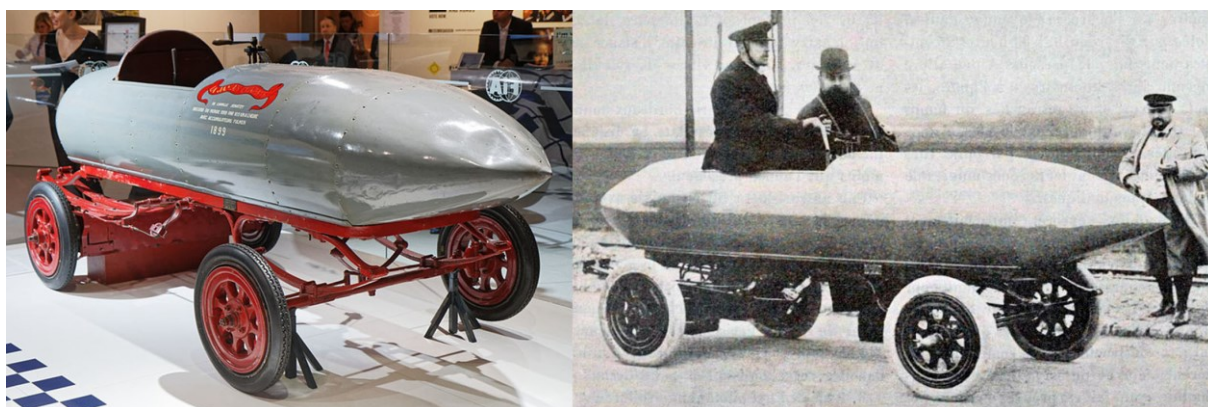
Obr. 1: Elektrický vozík Sibranduse Stratingha z roku 1835 [1] a elektromobil Gustava Trouvé [2]



Obr. 2: Elektromobil Thomase Parkera z roku 1884 [2] (vlevo) a Františka Křížíka z roku 1895 [3]

Jamais Contente

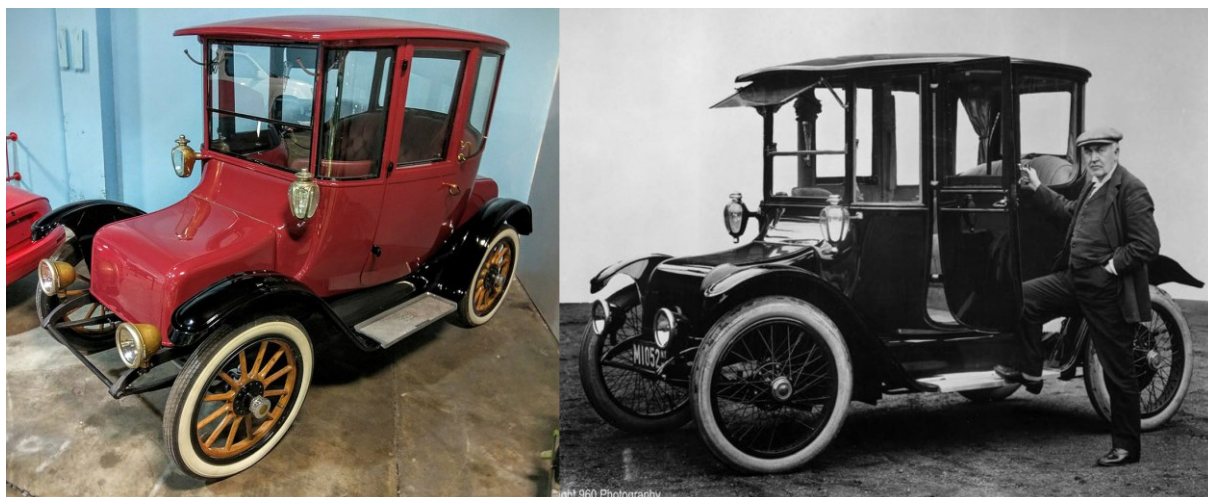
Vývoj elektromobilů postupně akceleroval a již v roce 1899 překonal elektromobil *Jamais Contente* (věčně nespokojená) Belgického konstruktéra Camilla Jenatzyho magickou hranici 100 km/h. (Shahan, 2015) V tomto ohledu se začaly elektromobily posouvat rychle kupředu. Elektromobily se postupně rozšířily spolu s automobily se spalovacím motorem, koncem 19. století ale převládly vozy na benzín. V letech 1899 a 1900 bylo v USA podle amerického sčítání lidu vyrobeno 28 % elektrických vozů oproti benzinovým a parním automobilům. (Thompson, 2017) Následně vývoj začal stagnovat a elektromobily na dlouhá desetiletí zastínily klasické automobily se spalovacím motorem.



Obr. 3: *La Jamais Contente* (1899) [4], [5]

Detroit Electric

Na počátku dvacátého století měly elektromobily méně příležitostí k propagaci. Jejich výhodou nebylo ani vysoké zrychlení, ani nižší zátěž pro životní prostředí, protože výroba obnovitelné energie byla v té době omezena převážně vodními elektrárnami. Základním marketingovým nástrojem elektromobilu byl důraz na čistotu a nenáročnost. Silnou cílovou skupinou tohoto produktu byly bohaté dámy, pro které byly tyto kočárově vypadající vozy určeny. Uvnitř často nebyl volant, ale pouze jedna směrová páka a pedál pro plyn a brzdu. V takto jednoduchém a luxusním voze mohly dámy v objemných a dlouhých šatech pohodlně řídit vůz, aniž by ztratily eleganci nebo potřebovaly pomoc sluhy. (Waksman, 2006) Manželka Henryho Forda Clara byla velkou zastánkyní elektromobilů. V roce 1914 ujela s Detroit Electric 80 mil a do manželova projektu elektromobilu investovala asi 1,5 milionu dolarů. Po dlouholetém přátelství s Thomasem Edisonem chtěl Ford v roce 1915 představit svůj první elektromobil, ale plány nedokončil. (Berman, 2019) Výrobci elektromobilů očekávali úspěch až do 20. let 20. století, ale výroba elektromobilů dosáhla vrcholu již v roce 1912. Do této doby byl Ford Model T výrazně levnější než elektromobily, protože stál jen 650 dolarů, zatímco elektrický roadster stál asi 1750 dolarů. (Thompson, 2017)

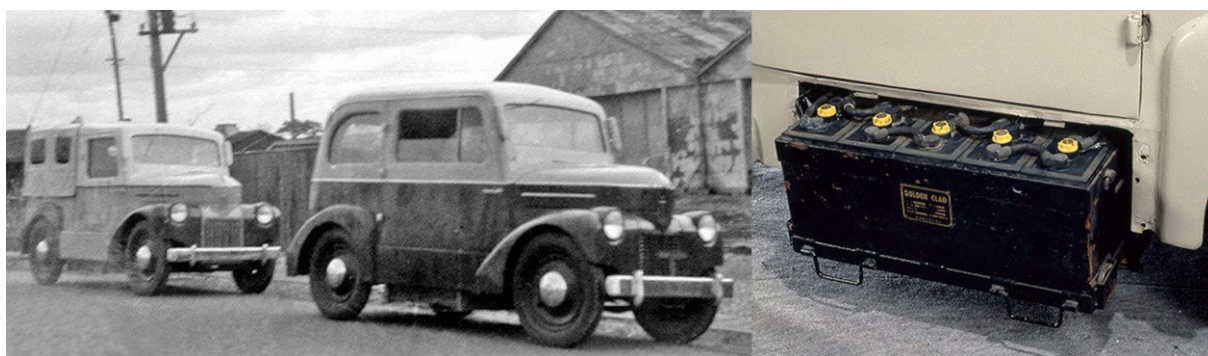


Obr. 4: Detroit Electric (1911) [6], [7]

Ve Spojených státech se automobilky nevzdávaly, a i přes relativně nízké prodeje stále vyráběly elektromobily, ale po krachu na Wall Street v roce 1929 většina z nich taktéž zkrachovala. (Høyer, 2007) Dalším vylepšením benzinových automobilů, jakým byl například elektrický startér, zjednodušila provoz běžných aut natolik, že elektromobily před válkou téměř vymizely. (Thompson, 2017) Během druhé světové války začaly vlády jednotlivých zemí používat elektromobily pro veřejné služby, například pro poštovní služby v Německu nebo elektrické zásobování pro rozvoz mléka ve Velké Británii, ale tyto účely nesloužily k veřejné komerční výrobě. (Høyer, 2007)

Tama Electric Car

Nové elektromobily často neměli dlouhého trvání. Po druhé světové válce byl v Japonsku nedostatek benzínu, což v této zemi dalo prostor pro vývoj a výrobu prvního elektromobilu Tama s docela působivým dojezdem kolem 150 km. Ovšem po překonání ropné krize a opětovné dostupnosti benzínu na trhu byla v roce 1952 výroba zastavena. (Høyer, 2007)



Obr. 5: Tama Electric Car (1947) a detail baterií umístěných ve vysoké podlaze [8],[9]

Henney Kilowatt

Podobný neúspěch vývoje elektromobilů se projevoval i za oceánem. Komerční výrobek, jakým byl například americký Henney Kilowatt zkonstruovaný na

podvozku Renaultu Dauphine prodal v roce 1959 pouze 47 elektromobilů. (Gertz; Grenier, 2019) Ostatní elektromobily jiných značek byly spíše koncepty a před ropnou krizí nebyly připraveny k sériové výrobě.



Obr. 6: Henney Kilowatt (1959) [10], [11]

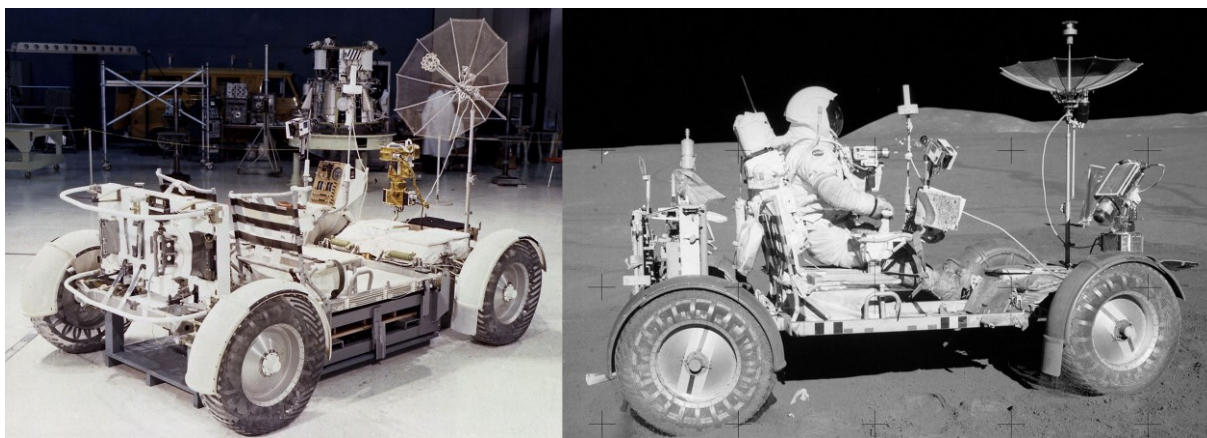
EMA 1

V totalitním Československu byl vyvinut plně funkční, technicky vyspělý a spolehlivý městský elektromobil EMA 1, jehož atraktivní design ideálně kombinoval velký vnitřní prostor a malé rozměry s velkým komerčním potenciálem, ale komunistická vláda neměla vážný důvod projekt financovat a ukončila jej 3 roky před ropnou krizí. (Dusil, 2017) Naopak stejně koncipovaný britský FORD Comuta ze stejného roku je příkladem, u kterého konstruktéři a designéři nedokázali vytvořit malý a zároveň pohodlný elektromobil. Samotná automobilka byla ohledně dalšího vývoje elektromobilů pesimistická. (Berman, 2019)



Obr. 7: EMA 1 (1969) [12], [13]

Po ropném embargu arabských producentů ropy a následné krizi v roce 1973 se nově začaly prosazovat elektromobily s nulovými emisemi a s možností využití vodních, solárních, nebo větrných elektráren. V sedmdesátých letech 20. století se do vývoje elektromobilů zapojily automobilky v USA, Evropě a Japonsku, ale bez výraznějšího pokroku. (Høyer, 2007)



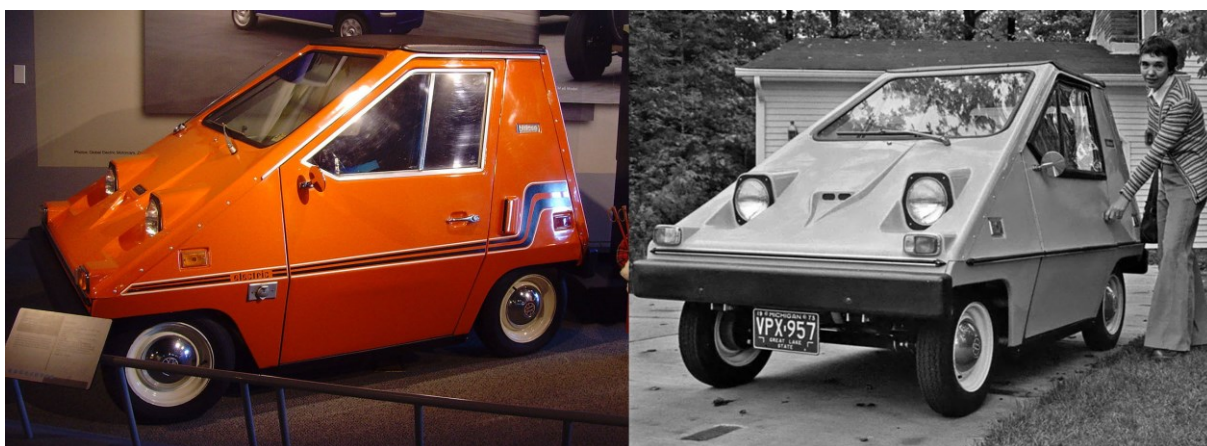
Obr. 8: Lunar Rover-exemplář vlevo vystaven s podstavcem kvůli pozemské gravitaci, vůz vpravo zachycen v provozu na povrchu měsíce (1971) [14], [15]

Lunar Rover

V roce 1971 vyvinula americká NASA první elektromobil pro misi Apollo 15, který se vydal na Měsíc. (Vítek, 1982) Lehký elektromobil Lunar Roving Vehicle pochopitelně byl vyvinut pouze pro účely rozsáhlejšího výzkumu měsíční krajiny, nikoliv pro komerční účely. Velký marketingový potenciál elektromobilu na Měsíci se však mohl pro většinu konstruktérů proměnit v představy něčeho prapodivného až mimozemského. Jak jinak si lze vysvětlit design elektromobilů, který přišel až několik let po misi Apollo 15. I tato událost mohla být jedním z faktorů, které ovlivnily názory konstruktérů a marketérů na design elektromobilů.

Sebring-Vanguard Citicar

Jedním z takových příkladů je americký Sebring-Vanguard Citicar z roku 1974, který svým pětiúhelníkovým tvarem nesporně působí jako velmi výstřední elektromobil. Esteticky neatraktivní ve srovnání s před produkčním československým elektromobilem EMA 1. Velmi zvláštní design měl patrně za následek nízké prodeje asi 2100 kusů do roku 1975. Po špatném hodnocení časopisu Consumer Reports a po skončení ropné krize byla výroba ukončena. (Radu, 2021)



Obr. 9: Sebring-Vanguard Citicar (1974) [14], [15]

Elektromobily o sobě dlouho nedávali významně znát, nové příležitosti pro změnu přišli spíše až po pádu železné opony, kdy se i české podniky s vidinou vývozu do zahraničí znovu pustili do vývoje jednoduchých elektromobilů.

Škoda Favorit ELTRA 151L

Elektromobily Liaz financované kanadským investorem zůstaly sice jen na papíře a ve formě makety 1:1 (Tolar, 2017), elektromobil Škoda se ale na základě zakázky ze Švýcarska svého prvního prototypu reálně dočkal, a to už v roce 1990. Škoda Shortcut disponovala zkrácenou karoserií Favorit, se kterou objížděla západní autosalony. (Dusil, 2017) O elektromobily z Československa byl zájem, ale karoserie upravená pro pouze dva pasažéry nebyla praktická. Na základě zakázky na tisíc vozů ze Švýcarska byla za podpory Škody Plzeň v pobočné firmě Škoda Elcar Ejpvovice rozjeta v roce 1992 výroba. Tentokrát s původní karoserií Favorit a s názvem Eltra. V přesných počtech prodejů se zdroje obecně rozcházejí. Některé celkovou produkci reflektují v rozsahu 150 kusů, další pojednávají až o 1100 kusech. Nicméně po převzetí Škody auto koncernem Volkswagen v roce 1993 byla produkce ukončena. (Baborský, 2020) (Dittrich, 2017)



Obr. 10: Škoda Shortcut (vlevo 1990) a Škoda Favorit ELTRA 151L (1992) [18], [19]

Tatra Beta

Na tento vůz navázal ve Škoda Elcar Ejpvovice další elektromobil. Konstrukčně vycházel z prototypu Alfa a neuskutečněný projekt LIAZu částečně financovaných ze Švýcarských fondů. Pro předpokládanou sériovou produkci byl dokonce založený společný podnik Škoda Tatra s.r.o. v moravském Příboře. První elektrické vozy měly dojezd až 120 km a byly určeny pro rozvázkovou službu. Do projektu se později zapojil i Hyundai Motor Company, který dodával část techniky. Brzy se montáž elektrické verze upozadila. Elektromotor totiž nahradil agregát právě z Hyundaie. (Šuman-Hreblay, 2012)



Obr. 11: Tatra/Škoda Beta (1996) [20]

General Motors EV1

Desítky let se elektromobily nemohly zbavit nálepky podivných vozidel. Potenciálně velké marketingové eso v rukou v podobě letů na Měsíc se mohlo zvrátit ve stigmatizaci a nepochopení výrobku. Filozofií konstruktérů a marketérů z automobilek bylo vytvořit elektromobily jako z jiné planety. Dalším příkladem je americký General Motors EV1, který má zajímavé jízdní vlastnosti, velmi nízký odpor vzduchu a vynikající zrychlení, (Goldberger, 1998) ale také působí jako malé mimozemské plavidlo. Na základě jedinečných vlastností se tento elektromobil stal pro určitou skupinu zákazníků společenským statutem podobně jako později Tesla, ale General Motors za několik let výrobu z vlastní iniciativy navzdory velkým protestům zastavil. Tato automobilka vyrobila necelých 2 000 elektromobilů určených k pronájmu, které General Motors po třech letech výroby téměř všechny sešrotoval. Tento krok se setkal s velkou vlnou nevole mezi veřejností i novináři. (Baer, 2014) (Black, 2009)



Obr. 12: General Motors EV1 v karosářské verzi s předním nasávačem (1996) [21]

Smart electric drive

Mezi elektromobily se logicky vmísil i německý výrobce malých městských automobilů se spalovacím motorem. Již v roce 2007 otestoval prvních 100 elektrifikovaných kusů v Londýnských ulicích. Mezi lety 2009 až 2012 vyprodukoval pro 18 světových trhů 2300 vozů určených především pro carsharing. Již v roce 2011 byla představena třetí generace, která samotná prodala 6500 kusů. Následná čtvrtá generace je poměrně úspěšná, nijak výrazněji ovšem neláme prodejní rekordy. V současnosti nelze ovládnout trh produkcí malého dvoumístného elektromobilu pouze do městského prostředí. Dojezd vozu se totiž

ve všech generacích pohyboval pouze kolem 130 km. Pro výlety na venkov, nebo na pracovní cesty do jiného města není drobný podvozek také příliš vhodně přizpůsobený. V tomto ohledu se jistě nabízí otázka, jaký má tento vůz smysl v Evropských městech s kvalitní městskou hromadnou dopravou. Potenciál využitelnosti je v tomto ohledu spíše okrajový, a tudíž nelze očekávat nějaké masivní rozšíření. Tento vůz se ale přesto stal v něčem klíčový, a to kvůli spolupráci s americkou Teslou. Jelikož partnerství mateřského Daimleru dodalo Tesle důvěryhodnost a peníze z vývojového programu, bez kterého by dle Elona Muska Tesla zanikla. (Loveday, 2016)



Obr. 13: Smart electric drive (2011) [22]

Nissan Leaf

Mezitím v roce 2011 přišel na trh Nissan Leaf s relativně nízkou cenou 30 000 USD a dojezdem kolem 160 km na jedno nabití. (Thompson, 2017) Odlišná strategie je patrná z designu vozu, který je zaměřen na běžné řidiče se standardním designem pětidveřového hatchbacku. (Loveday, 2009) Nakonec byla použita designová strategie, která z elektromobilu neudělala mimozemské plavidlo, ale standardní vůz, což se ve velkém vyplatilo. Do prosince 2016 se stal nejprodávanějším elektrickým vozidlem na světě s více než 250 000 prodanými kusy. (Thompson, 2017)



Obr. 14: Nissan Leaf (2010) [23], [24]

Renault Zoe

Elektromobil, kterého se od roku 2012 do roku 2022 prodalo zhruba 350 tisíc kusů je ukázkou toho, jak si tradiční francouzská automobilka trpělivě hlídá všechny prodejní segmenty. (Renault Group, 2022) První koncept přišel už v roce 2009, tudíž i tento výrobce byl jedním z novodobých pionýrů moderní

elektromobility. (Pulman, 2009) Několikrát se tento pětimístný vůz stal neprodávanějším v Evropě, naposledy v roce 2020. (Renault Group, 2020)



Obr. 15: Renault Zoe (2012) [25], [26]

Volkswagen e-Up!

Další malý ovšem pětimístný elektromobil vyráběný tentokrát v koncernové továrně v Bratislavě. Zvláštností na tomto voze je jeho snadné přebudování na sesterské vozy Škoda CitigoE iV a Seat Mii Electric. Z teoretického hlediska se jedná o první koncernový elektromobil značky Škoda, přesto se jím automobilka moc nechlubila, a i přes velký zájem produkci společně s mateřským koncernem VW ukončila. Příčinou byly prodeje vozu se ztrátou. Model nebyl navržen pro velké objemy výroby a kvůli německým vládním pobídkám koncernové automobilky na každém vyrobeném voze paradoxně prodělávali vzhledem k dlouhým dodacím dobám způsobených velkou poptávkou. Výrobu vlastních vozů VW částečně obnovil, ale později ukončil, aby vytvořil místo pro novou generaci elektromobilů s inovovaným designérským pojetím. (Eddy, 2022)

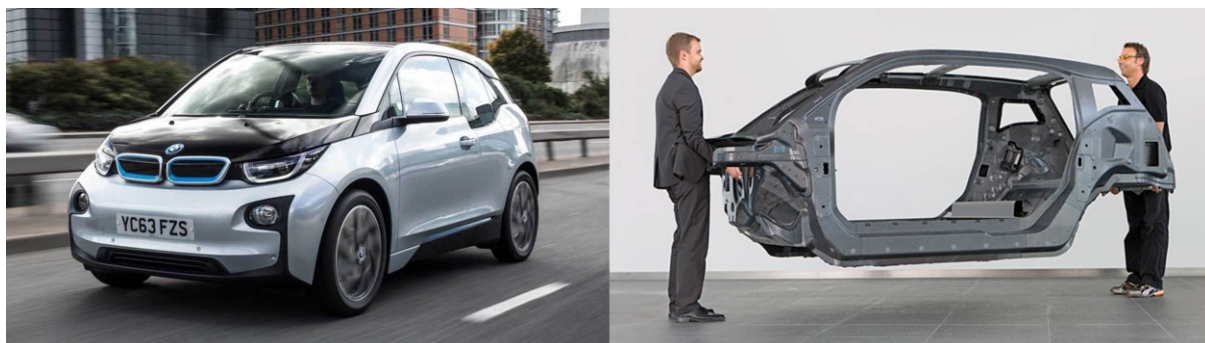


Obr. 16: Volkswagen e-Up! (2013) [27]

BMW i3

Jako zjevení se jeví futuristický elektromobil, který bylo možné dokoupit i s benzínovým generátorem na dobíjení baterií. BMW vsadilo na kvalitu, technologie a ultra lehký monokok z uhlíkového kompozitu známý do této doby pouze ze supersportovních vozů. Bavorské automobilce se skutečně povedlo na základě znalostí z luxusního segmentu sestavit malý luxusní vůz špičkové kvality. Zpočátku měl sice stejně jako všechny elektromobily problémy s uchycením na trhu, po třech letech se ovšem stal třetím nejprodávanějším elektromobilem na světě. Dlouhodobě nejprodávanějším se tento vůz stal

v Norsku, kde je tento model v přepočtu na obyvatele nejrozšířenější. Poslední vyrobený kus vyjel z Mnichovského závodu v červenci 2022 s číslovkou 250 000. (Ewing, 2021)



Obr. 17: BMW i3 (2013) [28], [29]

Volkswagen e-Golf

Nejdůležitější automobil značky VW tentokrát v elektrické podobě. Tato automobilka má s elektrickým Golfem překvapivě dlouhé zkušenosti. Z toho důvodu se musí tento automobil brát vážně i přesto, že se jedná o konstrukčně stejný vůz, jaký má spalovací verze. Právě použití karoserie pro spalovací motor je největší slabinou tohoto modelu. Vůz měl poměrně malý dojezd 134 km (u verze 2015) V roce 2017 se vůz dočkal výměny baterie, která zvýšila dojezd na 190 km. Elektrická varianta prodejního bestselleru se ale nestala nijak známá ani úspěšná. Prodeje byly vůči klasické variantě vozu poměrně marginální a produkce byla potichu ukončena na konci roku 2020, aby uvolnila místo čistokrevnému elektromobilu ID.3. (Lambert, 2020)



Obr. 18: Volkswagen e-Golf s elektrickou zástavbou (2014) (převzato) [30]

Z posledně jmenovaného modelu VW je zřejmé, že nelze vzít nejprodávanější vůz a zaměnit u něj pohonnou jednotku. Elektromobily mají odlišná specifika výhod a aby bylo možné plně využít jejich potenciál, je nutné navrhnout zcela nový vůz, který z vnějšku může občas působit podobně jako standartní automobil, ale vnitřně je technicky diametrálně odlišný.

4 HISTORIE A SOUČASNÁ PRODUKCE

VYSOKOVÝKONNÝCH ELEKTROMOBILŮ

Vysokovýkonné elektromobily se od standartních elektromobilů odlišují náročnějšími technickými požadavky, které musí design vozu splňovat. Kola elektromobilu nelze pohánět napřímo kvůli velmi vysokým výkonům elektromotorů, které jsou příliš rychlé. Tuto rychlost je třeba zpomalovat přes převodovku. Většinou se užívá jednostupňová převodovka, ale pro zvýšení maximální rychlosti se může použít i dvoustupňová varianta. Vysokovýkonné elektromobily mohou vzhledem ke svým vyšším pořizovacím nákladům používat výkonnější a vyspělejší bateriové články.

Silné motory, převodové skříně a výkonné bateriové články je ale třeba bezpečně chladit. Z toho důvodu je nejdůležitějším znakem vysokovýkonných elektromobilů chladič, nebo několik chladičů, které jsou srovnatelné s těmi používanými u vozů se spalovacím nebo vznětovým motorem. U drobných vozů s nízkým výkonem nedochází k tak vysoké míře zahřívání, a proto není na chlazení dbán takový důraz. Pro levnější vozy se v tomto ohledu zároveň nevyplatí hlubší výzkum, který by testoval vůz na hranici svých možností. Ovšem se sportovními elektromobily se začali měnit konstrukce vozu, rozšířili se znalosti a technologický vývoj razantně pokročil.

Klíčové technologie týkající se efektivnosti a bezpečnosti elektromobilů budou v budoucnosti převedeny i do masové produkce standartních vozů. Sportovní elektromobily jsou v tomto ohledu náhledem do budoucnosti celého segmentu, a proto je důležité je důkladně znát.

Pro následující analýzu byly vybrány reprezentativní vozy a zvýrazněn nasávací otvor za kterým se nachází chladičí ústrojí vozu. Tento prvek výrazně ovlivňuje celkový vzhled a zároveň jeho implementace ovlivňuje i samotnou aerodynamiku a jízdní vlastnosti vozu.

Tesla Roadster

Velké americké automobilky nechtěly desítky let udělat velký krok ke změně, která by mohla ohrozit jejich současné prodeje. Martin Eberhard a Marc Tarpennig ovšem situaci změnil, když založili zcela novou automobilku Tesla Motors, kterou později z 98 % financoval Elon Musk. Rozhodli se tak na základě skandální situace, v níž General Motors zpečetil osud většiny svých vlastních elektromobilů. (Baer, 2014) Tesla použila jednoduchou strategii vložení elektromotoru s bateriemi do sportovního vozu s atraktivním designem. (Thomas; Maine, 2019) Na základě této jednoduché marketingové vize uzavřela v roce 2005 smlouvu na podvozek a karoserii bez motoru s britskou automobilkou Lotus a prázdný prostor původního motoru nahradila elektromotorem a bateriemi. (Dopson et al., 2005) Nová strategie se vyplatila. V roce 2008 přišel sportovní

elektromobil na trh a do konce roku 2012 se prodalo přibližně 2 450 kusů. (*Tesla Motors, Inc.*, 2013) Vozy vykazovaly lepší sportovní parametry než původní vůz a po úspěšné marketingové kampani začala automobilka hledat další milníky. [21] (Thomas; Maine, 2019)



Obr. 19: Tesla roadster (2008) [32], [32] (upraveno)

Tesla Model S

Po částečném úspěchu se sportovním elektromobilem se Tesla zaměřila na větší cílovou skupinu, aby mohla ve Spojených státech prodat více vozů. Tuto pečlivě vybranou skupinu tvořily relativně solventní lidé s oblibou moderních technologií. (Thomas; Maine, 2019) V červnu 2012 Tesla uvedla do prodeje Model S, na jehož výrobě se podílel i dánsko-americký designér Henry Fisker, který později automobilku zažaloval za použití svého designu. (Thompson, 2017) (Lago, 2008) Model S byl prostorný vůz s nízkou sportovní kapotou a obloukovitým tvarem podobný sportovním vozům Aston Martin a Jaguar, který tentokrát sloužil především k úspoře energie. Efektním prvkem tohoto vozu byly tehdy velké dotykové obrazovky, na kterých byla veřejnost závislá již od mobilních telefonů. Model S byl poměrně obrovský vůz, ale nepůsobil tak impozantně a navzdory své velikosti vypadal velmi obyčejně. Tentokrát ovšem vůz nevypadal ošklivě, což u elektromobilů stačí k úspěchu. Postupem času začal tento vůz vyjadřovat jakýsi společenský status, který reflektovala i vyšší cena. (Korosec, 2015) Tato změna ve vnímání společnosti a posun v designu však automobilce stále nestačily. Vývoj vozu byl velmi nákladný a prodeje ve srovnání s ostatními konvenčními automobilkami velmi malé. Od ledna do prosince 2016 Tesla prodala přibližně 50 000 kusů Modelu S stejně jako Nissan Leaf (Shahan, 2017), ale ve srovnání s 1 300 000 prodanými kusy běžné Toyoty Corolla se jednalo o zcela marginální hodnoty. (Braithwaite-Smith, 2017) Tesla potřebovala pomoc vlády Spojených států, která tuto automobilku masivně podpořila miliardami dolarů, aby mohla rozšířit své portfolio i na další méně nákladné elektromobily. (Hirsch, 2015) Původní model S disponoval archaickou falešnou přední maskou, která byla v pozdějších verzích odstraněna. Nasávací otvory jsou v tomto případě velmi široké kvůli použití dvou dodatečných chladičů pro klimatizaci a chlazení baterií.



Obr. 20: Tesla Model S (2012) [33] (upraveno)

Rimac Nevera

Vůz prvně představený v roce 2011 se měl dle výrobce již brzy prodávat. Reálně ovšem nebyl prodán jediný kus. Chorvatské supersportovní kupé prošlo během let mnoha změnami, přičemž poslední varianta se od té původní výrazně odlišuje. (Bell, 2022) Vůz je vyzrálější především z pohledu funkčnosti a ergonomie, jelikož jeho původní verze nemohla být plně funkční pro provoz na pozemních komunikacích. Rozmístění chladících otvorů je v tomto případě podobné jako je tomu u vozu Tesla Model S.



Obr. 21: Rimac Nevera (2021) [34], [35] (upraveno)

Tesla Model X

Evoluce designu vycházející z poměrně úspěšného modelu S. Tentokrát došlo k nafouknutí celého vozu do vertikálního směru. SUV varianta byla oproštěna od historizujícího náznaku přední masky. Efektivní chlazení vozu se přesunulo do širokého otvoru ve spodní části nárazníku. Na otvor navazuje hluboko zabudovaný atypicky velmi široký chladič s nízkou výškou. Tento vůz již od počátku trpěl na řadu výrobních nedostatků, které jsou zřejmé při i při zběžném obhlédnutí vozu. Přesto se ve svém segmentu stal poměrně úspěšným.



Obr. 22: Tesla Model X (2015) [36], [37] (upraveno)

Tesla Model 3

Inovovaný design vozu převzatý z modelu S, který byl komprimován na kratší rozvor a celkové zmenšení rozměrů. Vůz je oproti luxusní limuzíně méně sportovní, boční profil je vyšší. Kapkovitý princip byl ovšem zachován, Vůz působí více jako vajíčko. Nízká přední kapota a nešťastné přední světlomety evokují vzhled kačera. Tvar ovšem slouží záměru, vůz klade nízký aerodynamický odpor. Vůz rovněž trpí na řadu výrobních nedostatků. Zpravidla lze pozorovat špatné slícování dílu, odpadávání částí vozu, neodlakované části karoserie a koroze některých dílů. Chlazení vozu je ovšem zvládnuté technicky velmi dobře. Přední nasávací otvor mohl být z toho důvodu více minimalizován.



Obr. 23: Tesla Model 3 (2017) [38], [39] (upraveno)

Ford E-mach

Odpověď Fordu na Model X od Tesly odpovídá zhruba čtyřletému vývojovému cyklu vozidla. Tvar inspirovaný úspěšným vozem Mustang narostl do rozměrů kategorie SUV. Po vzoru mazání masek u elektromobilů zůstal vozu podivný pahýl naznačující dávnou minulost automobilky. Oblast pro chlazení je zde znovu situována do nejvhodnější části předního nárazníku – tedy znovu do spodní části.



Obr. 24: Ford E-mach (2019) [40], [41] (upraveno)

Porsche Taycan

Tento vůz se stal překvapivým bestsellerem a propojením všeho co je na elektromobilech v současnosti výjimečné. Vysoká cena odpovídá předchozím standardům značky, tudíž není cena baterií žádnou překážkou. Inženýrům ze Stuttgartu se navíc povedlo navrhnout výjimečný čtyřsedadlový sportovní vůz, který má vše po čem zákazníci toužili. Design není tak povedený jako u původního konceptu, inženýři se nevyvarovali prazvláštních designérských chyb, které nejspíše souvisí s mimořádně složitou technikou těsně pod karoserií. Porsche má dva nasávací otvory s uzavíratelnými klapkami a dva chladiče. Díky vhodnému umístění těsně nad zemí se vůz nepřehřívá ani při vysokých výkonech což je slabinou konkurenční Tesly. (Charlton, 2022)



Obr. 25: Porsche Taycan (2019) [42] (upraveno)

Audi e-tron GT

Tento vůz je sesterským vozem Porsche Taycan z roku 2019. Vůz má identické šasi, většinu zasklení a tvarově identické řešení střechy. Ostatní části karoserie jsou stylingem dle designérského jazyka Audi. Tvar přední části vozu nevyužívá potenciál nízko uložených motorů a archaicky reflektuje spíše vozy se spalovacím motorem. Typická maska Audi má pouze dekorační efekt, funkční části jsou velmi nenápadně schovány v bočním žebrování a v malé části masky. Chladiče jsou identické s vozem Porsche.



Obr. 26: Audi e-tron GT (2021) [43], [44] (upraveno)

Škoda Enyaq iV

I přesto, že lze najít mnoho starších elektromobilů značky Škoda, tento typ automobilka považuje skutečně za svůj. Na konzervativní automobilku se jedná o docela odvážný počín s kvalitními prodejci. I přesto, že se jedná o vůz typu SUV, tak zde byl nasazen racionálnější přístup nežli u konkurenčního Fordu. Vůz se navíc velice dobře chladí, disponuje standardně velkým chladičem a další špičkovou technikou. Horní maska vozu je ovšem zcela falešná, což lze samozřejmě považovat za designérský archaismus. Zde bylo patrně třeba navázat na konzervativní odkaz sesterských vozů, takže i přes všechny výtky lze konstatovat, že maska působí poměrně přirozeně a nikoli nepatřičně. Výrazné zdobení předních masek se totiž stalo v tomto segmentu standardem.



Obr. 27: Škoda Enyaq RS iV (2022) [45] (upraveno)

Lucid Air

Ambiciózní projekt vytvořený na zelené louce ve Spojených státech. První elektromobil kvůli vysoké ceně baterií sází na luxus a kvalitní zpracování. (Lambert, 2016) Maska vozu je podlouhlá, ale velmi nízká. Při vyšším výkonovém zatížení může u vozu vznikat problém se zahříváním bateriového packu. Vůz pravděpodobně nemá ambice vrcholných sportovních výkonů. Z toho ohledu bylo chlazení pravděpodobně podřízeno luxusnějšímu vzhledu na úkor prevence chlazení při dlouhodobějším nadměrném zatěžování.



Obr. 28: Lucid Air (2022) [46] (upraveno)

Mercedes-Benz EQS

Německý výrobce pojal elektromobilitu poměrně originálně, nevyvaroval se ovšem poměrně kontroverznímu designu, který není z většiny úhlů příliš sympatický. Vůz pracuje správně s myšlenkou nízké přední části vozu. Kvůli bateriovému packu a profilu podřízenému aerodynamice lze boční profil charakterizovat jako zvláštní dlouhý oblouk. Falešná přední maska si pomáhá archaickým černě lakovaným plastem, který má evokovat tradiční designerský jazyk ostatních Mercedesů. Reálně je vůz chlazen velkým chladičem ve spodní části nárazníku.



Obr. 29: Mercedes-Benz EQS (2022) [47] (upraveno)

Lightyear One

Vůz, který nepotřebuje vysoký výkon, ale přesto už využívá poznatky převzaté z výkonnějších vozů. Karoserie není zcela kapkovitá jako tomu bylo například u proudnicových vozů Tatra. Přední část šípovitého tvaru je podobná jako u sportovních vozů. Vůz Nizozemského start-upu vznikl na základě soutěže World Solar Challenge v Austrálii, kde nizozemský tým čtyřikrát po sobě zvítězil s nejlepším solárním vozem. Po této zkušenosti začali zakladatelé společnosti Lightyear v roce 2016 realizovat projekt Light Year 0 a v roce 2019 se jim v crowdfundingových kampaních podařilo na jeho realizaci vybrat více než pět milionů eur. (Westeneng, 2019) Vůz je unikátní v tom, že lze nabíjet z elektrické sítě a zároveň ze solárních panelů o ploše pěti metrů čtverečních integrovaných

do vnějšího pláště karoserie. Výkon vozu je 180 koňských sil. Na návrhu modelu „One“ se pracovalo společně s italským studiem GranStudio. Vzhled vozu není z většiny úhlů příliš atraktivní. Vše je sice podřízeno solárním panelům, ale pokud se tento vůz někdy stane úspěšným, tak nejspíše přijde podobně jako první verze Tesly model S s atraktivnějším faceliftem. I přesto že se nejedná o sportovní vůz, tak je zde jasná paralela s těmi nejvýkonnějšími elektromobily. Aerodynamický tvar a nízko uložený široký nasávací otvor pro chlazení vozu.



Obr. 30: Lightyear One (2022) [48], [49] (upraveno)

5 ZADÁNÍ PROJEKTU

Projekt Titan vývojově navazuje na realizaci dvoumístného elektrického sportovního kupé StudentCar SCX. Na tomto automobilu si pracovníci a studenti Katedry materiálů a technologií pro automobily vyzkoušeli a dopodrobna ověřili všechny klíčové dovednosti nutné pro vývoj konkurenceschopného sportovního elektromobilu. Dalším vývojovým milníkem byla diplomová práce StudentCar SCE, při které se více prohloubila spolupráce s předním světovým výrobcem světlometů Varroc Lightning s.r.o. Tato realizace navíc kladla větší důraz na umělecko-estetické ztvárnění vozu. Obě realizace tým dopodrobna naučili, jak při vývoji předcházet chybám a také jakým způsobem efektivně tvořit výrazný technologický progres i s omezenými prostředky.



Obr. 31: StudentCar SCX – 2014



Obr. 32: StudentCar SCE – 2017

Projekt Titan je prvním projektem ústavu, který je od počátku jasně definován designérem, s ucelenou a jednotnou myšlenkou. Nevytváří kompromisní designérské řešení a technický vývoj. Vyvíjené komponenty a celkový směr je v závislosti na předchozích zkušenostech prozřetelně přetvářen do jedinečné symbiózy sebevědomé estetické formy a technologického pokroku.

Při navrhování projektu bylo třeba si uvědomit velkou technologickou náročnost. Projekt zahrnoval návaznost na spolupráci s Technologickou Agenturou České republiky a bylo třeba v něm otestovat množství drahých, technicky náročných a objemově velkých řešení. Z toho důvodu ani nebylo možné

navrhovat malý vůz. Projekt agentury TAČR byl utvářen v kooperaci se společností EVC Group s.r.o. který jakožto vývojář elektro autobusů využívá poměrně robustní komponenty uzpůsobené pro silnější motory.

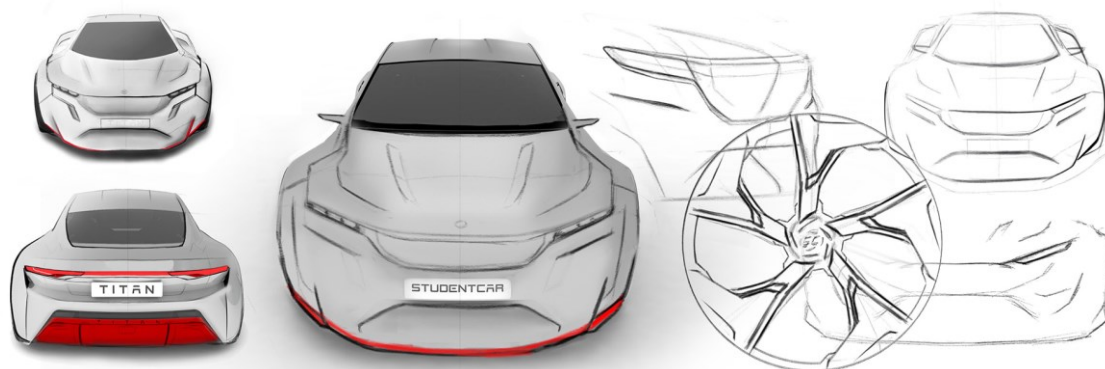
Finanční stránka taktéž definovala zaměření projektu. Investice v řádech desítek milionů do vozu typu dodávky nebo malého vozu by ve vývojovém cyklu nebyl vhodně obhajitelný. Sportovní vozy se ovšem běžně prodávají v řádech desítek milionů korun a jejich hodnota každý rok narůstá. Sportovní vůz nabízí maximální možné spektrum technologií, inovativních materiálů a relativně kompaktní konstrukci, která lze vyrobit s i omezeným zázemím. Komponenty použité ve voze lze po dokončení vývoje převzít a použít například ve velkých autobusech nebo kamionech, protože sportovní vůz svým výkonem tyto užitkové vozy překonává a výkonnostně plně využívá celý jejich potenciál. Výkonový potenciál lze srovnat s nákladním vozem Tatra Phoenix. Výkon vyvíjeného sportovního elektromobilu Titan je 870 koní, přičemž výkon univerzálního nákladního vozu činí 430 koňských sil. S vyvinutým powertrainem (hnacím ústrojím) je tedy reálně možné při sníženém výkonu osadit i nákladní automobil do podoby elektromobilu se stejnými komponenty. Na podobném principu ostatně již Tesla několik let vyvíjí vlastní nákladní automobil.

5.1.1 Navrhování elektromobilu z nulového bodu

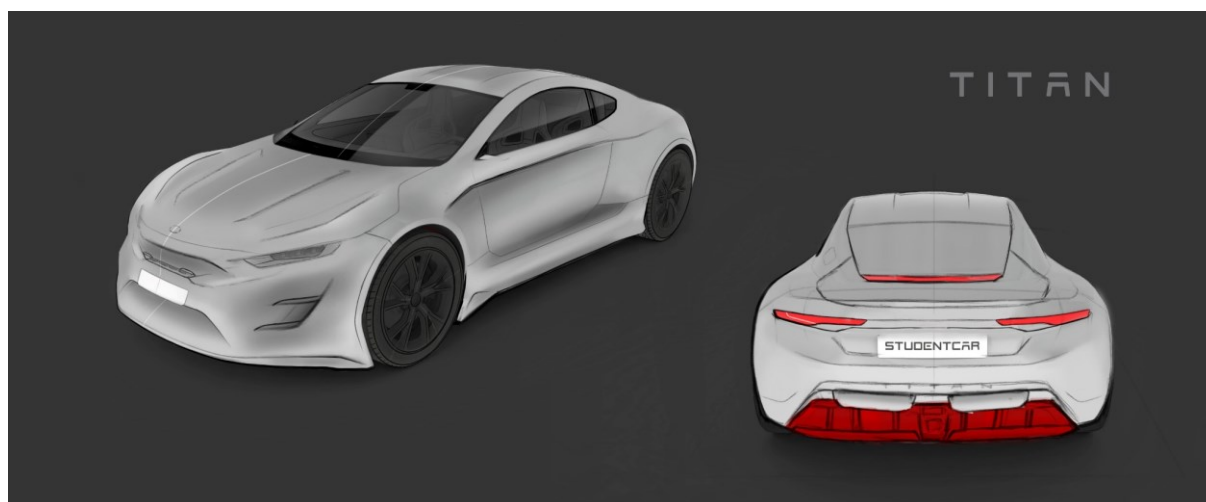
Velikost vozu vždy definuje rozchod a rozvor náprav. Tyto rozměry jednoznačně definují proporce vozu, vizuální působivost a jeho následnou využitelnost a ovladatelnost. Rozchod kol byl po konzultacích s konstruktéry a výpočtáři stanoven na 1703 mm. Rozvor vozu byl navržen na mimořádně velkorysých 3100 mm. Předpokládaná délka vozu byla stanovena na 4975 mm.

5.1.2 Návrh karoserie vozu v kresebné formě

Kresebné návrhy měly svůj postupný vývoj, bylo třeba dbát na inovativnost, atraktivitu a vyrobitelnost výsledného produktu. Nejdříve bylo navrženo několik variantních řešení. Po úvahách o vyrobitelnosti a funkčnosti jednotlivých tvarových řešení byla vybrána tzv. klíčová skica – tak se nazývá kresba, dle které je celý projekt navrhován ve 3D. Díky promyšlenosti koncepce se výsledný vzhled reálného vozu liší od klíčové skici jen v drobných nuancích a detailech. Byly navrženy i hliníkové disky, které byly později i zkonstruovány. Od jejich použití bylo upuštěno po zvážení všech finančních a materiálových zdrojů na projekt.



Obr. 33: Variantní kresebné návrhy elektromobilu StudentCar Titan



Obr. 34: Klíčová skica StudentCar Titan

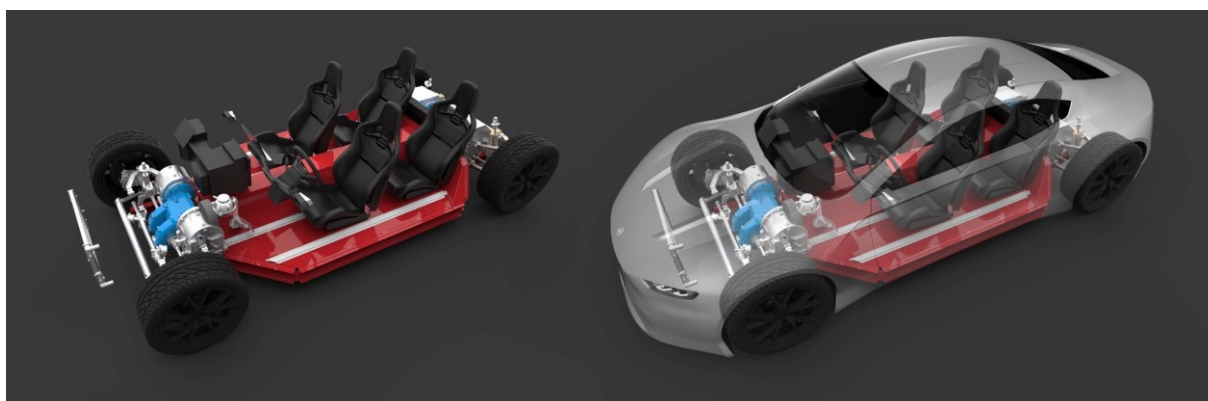
5.1.3 Prvotní návrh interiéru

Pro vůz byl navržen interiér, který tvarově vycházel ze zkušeností z předcházejících projektů. Důraz byl kladen na jednoduchost, snadnější výrobitelnost a funkčnost. Celá koncepce také redukovala náklady na vývoj. Design volantu počítal s úpravou jádra sériově vyráběného volantu doplněnou o frézované hliníkové díly a nový střed volantu potažený dezénovanou usní a doplněn o hliníkové logo. Celkový vzhled a pojetí volantu zůstal zachován až do finálního řešení prezentovaném v maketě interiéru (Obr. 55; 56).



Obr. 35: Návrh interiéru v kresebné formě

Posléze byl navržen a zkonstruován tzv. package – což je základní rozvržení všech klíčových komponentů budoucího automobilu. V tomto případě obsahoval motory, převodovky, chladič, klimatizační jednotku a bateriový pack dodaný od konstruktérského týmu. Celek bylo třeba doplnit navrženými sedadly, volantem a koly. Kolem něj byl vymodelován základní plášť vozu.



Obr. 36: Package a základní plášť vozu (zprůhledněno)

V prvotní fázi bylo nutné vymodelovat klíčové objemy těles, které se budou ve voze nacházet. (Obr. 36) V počátku vzniku se jednalo především o kola, jednoduchý nástřel bateriového packu, objem motorů, převodovek, řízení, objem zástavby pro klimatizaci, sedadla s posádkou a dostatečně velké dveře vozu.

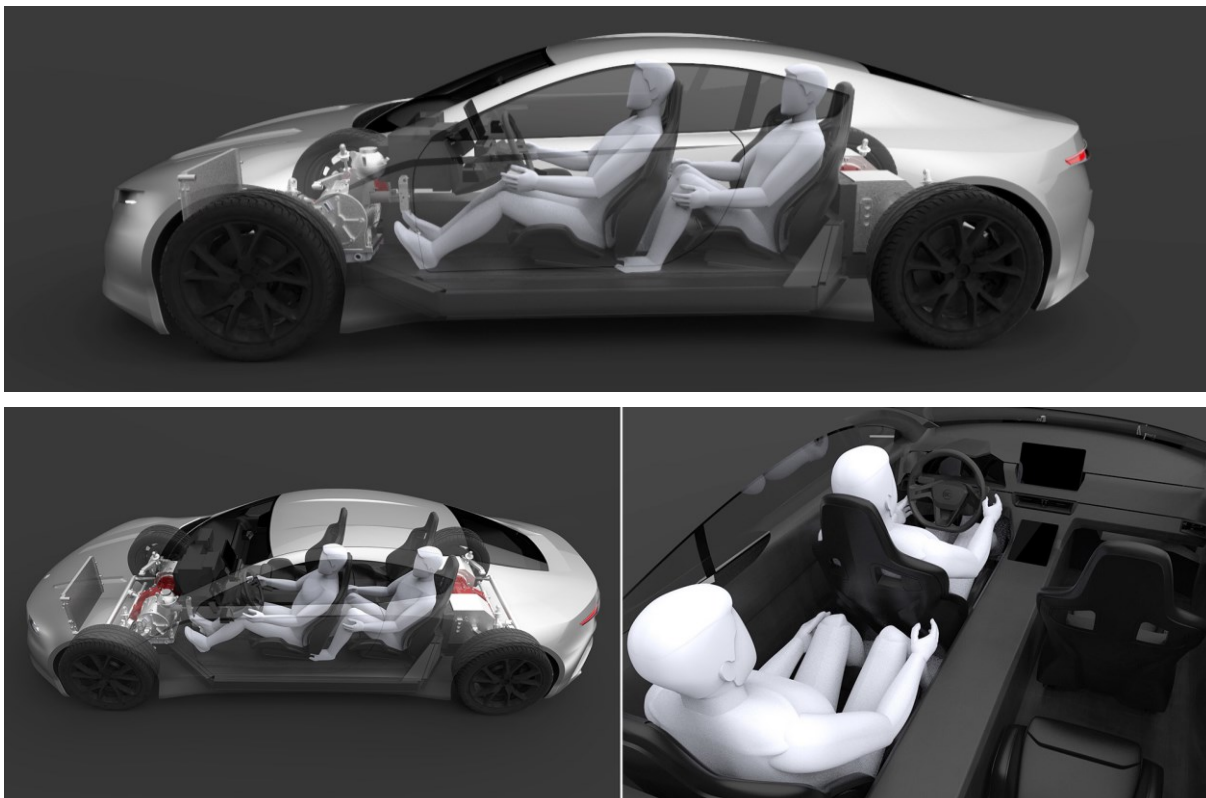
Následně byly dle prvotního nákresu modelovány kontury karoserie. Kombinace nízkého kupé a čtyř sedadel byla vyhodnocena jako nejvhodnější testovací varianta pro univerzální bateriový pack, jelikož se jedná o nejmenší možnou verzi vozu. (Obr. 36) Vůz byl navržen s dlouhým rozvorem náprav zajišťující dostatek prostoru pro alternativní čtyřdveřovou karoserii. Krátké převisy zároveň zlepšují manévrovatelnost vozu v omezených prostorech. Rozsáhlejšímu vývoji podvozkové platformy – karoserie – interiéru předcházela zmenšený model v měřítku 1:18, na kterém byly zřetelné atraktivní dlouhé proporce vozu.

V další fázi konkretizace vývoje byly nejen dle prvního ideového nákresu, ale i dalších technických omezení modelovány konkrétnější tvary karoserie, které měli nejideálnějším způsobem obepínat bateriový pack. (Obr. 37) Výrazný prostor pro baterie se na karoserii projevil velmi výraznými bočními prahy. Tvar ideální karoserie zároveň z druhé strany ovlivnil boční prahy bateriového packu a frézované příhradové konstrukce na karoserii vázané.

5.1.4 Základní ergonomická studie

Pro navržení perfektní siluety automobilu je důležitá znalost všech požadavků, které jsou na ně kladeny. Je třeba znát požadované výhledové parametry z vozu, technická specifika a mnoho detailů jako je například objem, či hmotnost dveří. Kolem posádky musí být patřičně navržen objem ocelové konstrukce, aby ochránil posádku při případném nárazu, dále je třeba myslet i na celkovou tuhost vozu. Nosná konstrukce vozu je při jízdě namáhána krutem a ohybem, tuhost konstrukce se hodnotí podle tzv. vlastní frekvence, stanovená na hodnotu nejméně 30 Hz. Z těchto důvodů není například možné upustit od B sloupku karoserie, jako je tomu na většině koncepčních vozů z autosalonů. Zajišťuje optimální tuhost karoserie a je důležitý při bočním nárazu do vozu. B sloupek je prostřední sloupek podpírající střechu karoserie. A-sloupek se nachází vedle čelního okna, C-sloupek bývá obvykle nejsilnější a nachází se vzadu.

V neposlední části je třeba dbát na komfort a pocity posádky, která by se neměla cítit stísněně. Vzhledem k parametrům tohoto sportovního elektromobilu nebylo předpokládáno, že by měl být vůz dlouhodobě plně obsazen dospělými pasažéry. Proto bylo od začátku uvažováno o třídveřovém voze (třetí dveře zakrývají kufr vozu). Do vozu byly umístěny ergonomické figuríny odpovídající 95 percentilu muže. Osoby vyššího vzrůstu a velikosti můžou na zadních sedačkách pociťovat při dlouhodobém sezení diskomfort, který by měl být vyvážen jízdním zážitkem. Obecně se na zadních sedadlech sedí jen při prezentačních jízdách vozu. Pro dlouhodobou jízdu bývají u těchto vozů nejčastějšími pasažéry vzadu děti. Opodstatněním tohoto rozhodnutí byla koncepce úspěšného hybridního vozu BMW i8, který posádce vzadu poskytoval jen minimum možného místa. (Obr. 38)



Obr. 37: První prototyp karoserie ve 3D-náhled ergonomické studie (zprůhledněno)



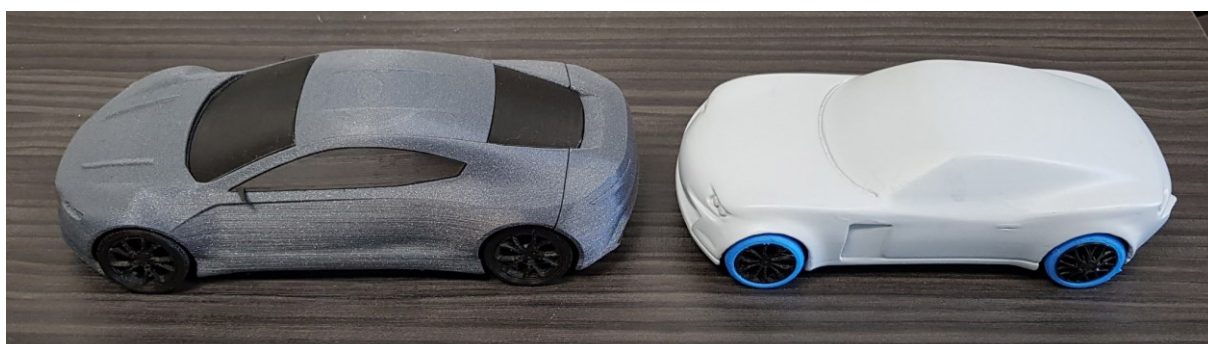
Obr. 38: Inspirační zdroj při navrhování interiéru – BMW i8 [50]

5.1.5 Variantní návrhy přední masky elektromobilu

Pro vůz byly navrženy dvě varianty přední masky. První maska měla svým klínovým tvarem jednostranného přítlačného křídla odlišovat elektromobil od všech ostatních. Druhá maska pracovala s konvenčním řešením standardně umístěného chladiče za maskou a s vertikálním žebrováním. Ve složitém vývojovém procesu nebylo možné otestovat obě varianty před dokončením vozu. Celkový design se v průběhu vývoje postupně měnil a efektivita obou navržených řešení byla otestována až na finálním řešení karoserie.



Obr. 39: První prototyp karoserie ve 3D



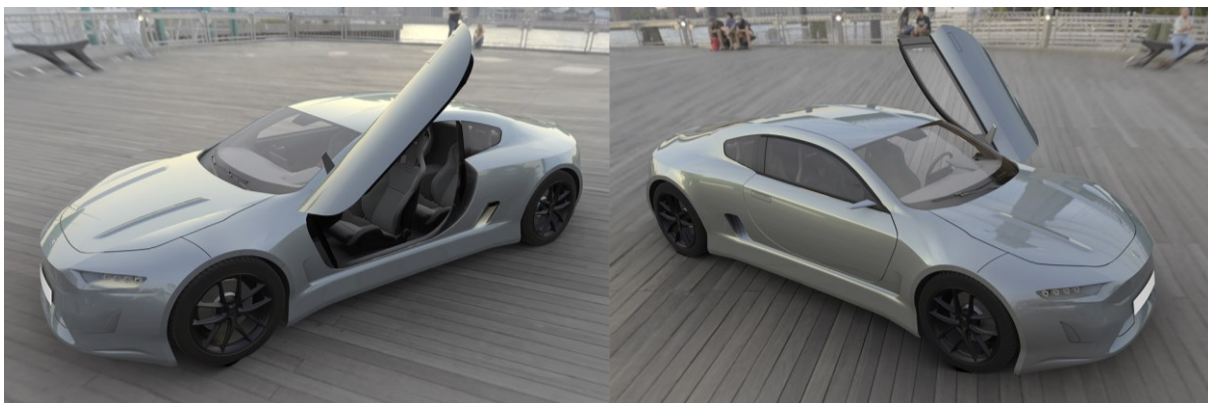
Obr. 40: Porovnání nové koncepce vozu s předcházející generací SCX (3D tisk)



Obr. 41: Druhý prototyp karoserie ve 3D

Design vnější karoserie se následně zdokonaloval v symbióze s návrhem bateriového packu a interiéru. Dle karoserie museli být určeny klíčové rozměry bateriového packu a dle ergonomie posádky v interiéru navázaných na pack museli být určeny rozměry karoserie. Vývojový cyklus elektromobilu je nerozpojitelným kruhem vzájemně se ovlivňujících vazeb. Navržená karoserie představuje volbu nejkompaktnější velikosti karoserie, která neomezuje komfort a bezpečnost posádky. Alternativní verze karoserie pro univerzální podvozkovou platformu mohou rozšiřovat možnosti úložných prostorů vozu, nebo je možné kultivovat komfort posádky vzadu přidáním další řady dveří. Rozšíření vnitřního

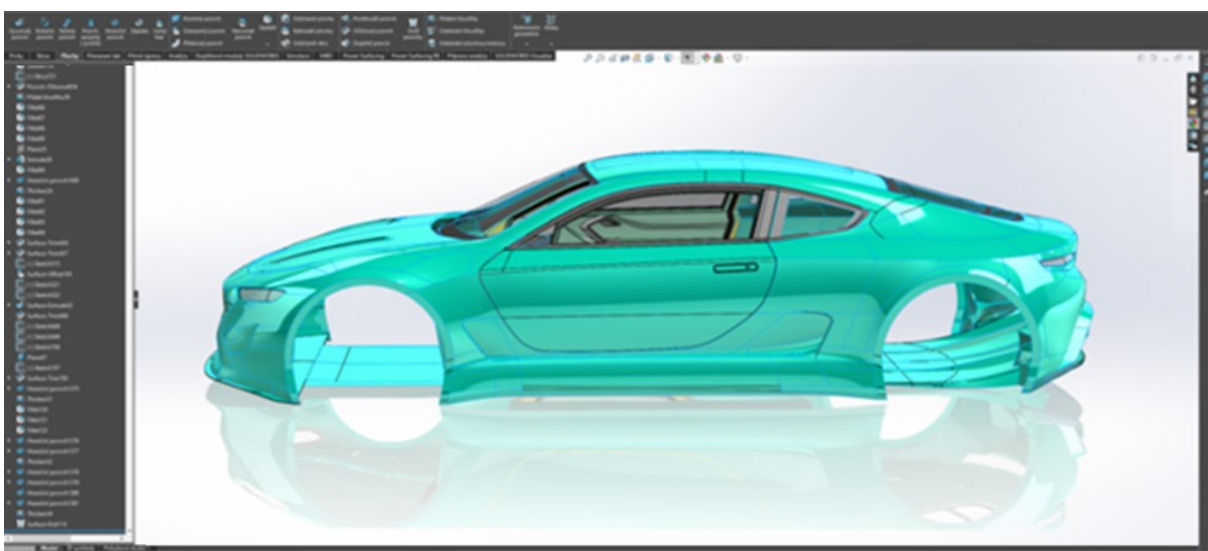
prostoru lze dosáhnout navržením objemnější karoserie, která je ovšem náročnější na prostorové zázemí vývoje a vynaložené prostředky.



Obr. 42: Implementace funkčnosti motýlích dveří

5.1.6 Modelování karoserie ve 3D CAD softwaru

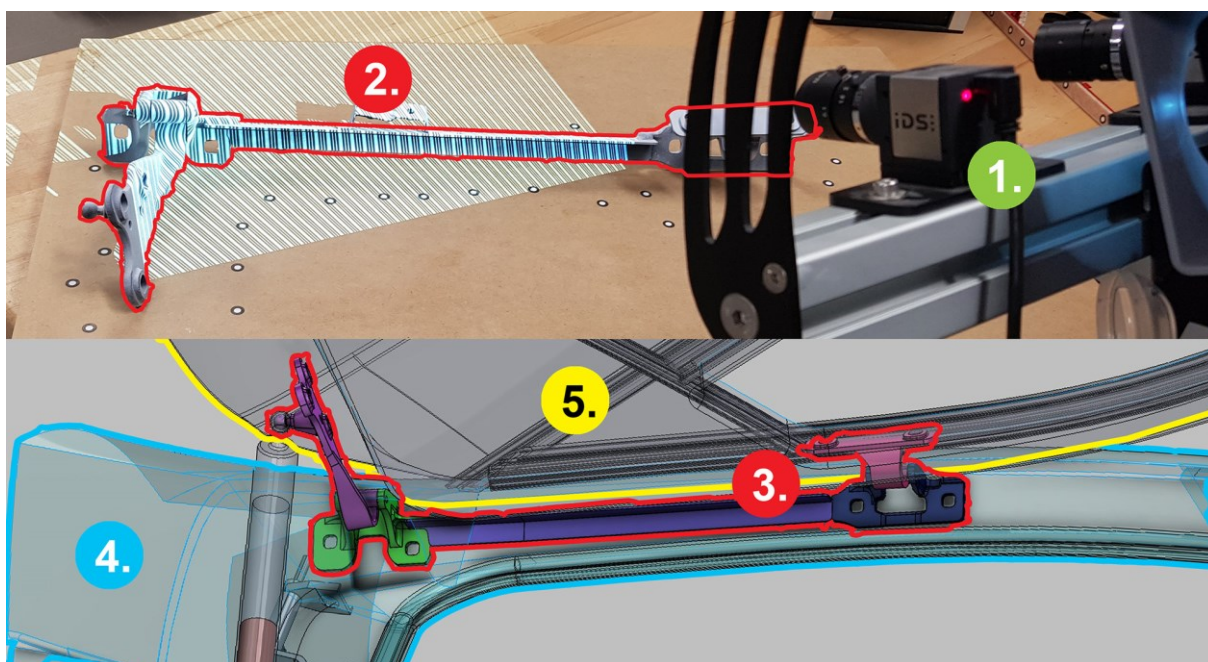
Karoserie byla kompletně namodelována v 3D CAD konstrukčním softwaru SolidWorks, který umožňuje snížení nákladů na vývoj virtuálním testováním každého navrženého dílu z fyzikálního i estetického hlediska. Díly vozu jsou navrženy s ohledem na snadnou odformovatelnost. Klenutí různých organických tvarů v kombinaci tvarovými zlomy zajišťuje kvalitní tuhost každého dílu karoserie. Dynamicky tvarované díly mohou být vyráběny z tenčího materiálu, než jaký by byl třeba u rovinných ploch. Návrh musel respektovat všechny homologační předpisy Evropské hospodářské komise OSN (dále jen EHK), které regulují bezpečnost vyráběných vozidel pro evropské pozemní komunikace. Výhled z vozu, umístění poznávacích značek, světlometů, svítlen, všech dalších komponentů a částí vozu plně odpovídá homologačním předpisům EHK.



Obr. 43: Exteriér vozu v modelovacím CAD softwaru Solidworks (náhled)

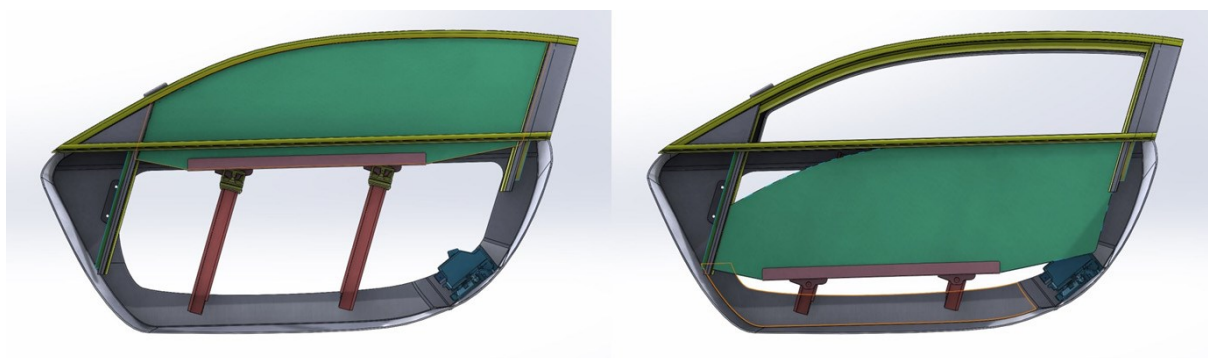
5.2 Implementace motýlích dveří

Na základě výrobních zkušeností z předcházejících generací vozů bylo přistoupeno k vývoji motýlích dveří nízké hmotnosti. Tento fakt ovšem ovlivňoval design vozu, jelikož bylo nutné systém nejdříve implementovat a až později bylo možné kolem této geometrie finalizovat karoserii. Pro tento vůz byly vybrány panty z vozu BMW i8, které byly naskenovány a později v rámci designérského procesu přesně přemodelovány. (Obr. 44)



Obr. 44: Skenování ocelových pantů BMW i8 - č. 1: scanner; č. 2: ocelový pant; č. 3. pant vymodelovaný ve 3D softwaru; č. 4: část karoserie; č. 5: otevřené dveře

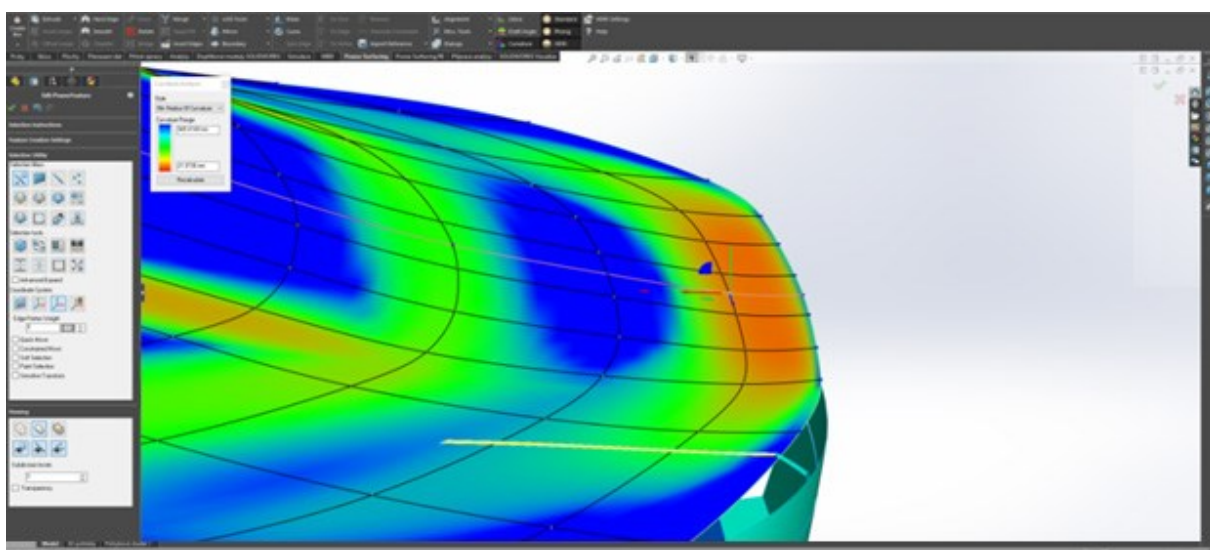
Dále byly s karoserií navrženy i dveře včetně přesné funkčnosti stahování bočních oken. (Obr. 45) Dokonalá geometrie byla důležitá pro následný vývoj konstrukce dveří. Implementace dalších komponentů do dutiny dveří včetně realizace funkčního prototypu byla vyhotovena v rámci diplomové práce „Návrh a výroba prototypu dveří elektromobilu Titan“ (Kantor, 2021)



Obr. 45: Exteriér vozu v modelovacím CAD softwaru Solidworks (náhled)

5.2.1 Vyhlazování tvarově složitých ploch v doplňkovém modulu NPowerSurface

Vyhlazování ploch je v konstrukci letadel a automobilů samostatný obor specializující se pouze na konstrukční kvalitu navržených ploch za účelem dosažení nejhladšího proudění vzduchu kolem karoserie. Drobné vlnky na automobilech mohou v některých případech mírně zhoršovat aerodynamiku vozu a také snižovat estetický dojem z vyvinutého produktu. „A-class surfacing“ je metoda vyhlazování karoserií, která zajišťuje povrchově tvarovou stálost a dokonalou tečnost všech navazujících ploch na karoseriích automobilů nebo letadel. Pro vyhlazování je třeba speciální softwarů nebo pluginů určených pro tuto konstrukční činnost. Kvalitně vyhlazená karoserie odpovídající „A-class“ standardům může mít částečný vliv na snížení odporu vzduchu a spotřebu vozu.



Obr. 46: Vyhlazování ploch v modelovacím modulu NPowerSurface (zadní „ducktail“)

5.2.2 Inovace založené na zkušenostech z Virtuální reality

Virtuální realita byla k vývoji karoserie aplikována za účelem šetření finančních, ale i časových a lidských zdrojů. Zlevnění procesu výroby s využitím virtuálního prostředí plyne z eliminace clayových master modelů 1:1, které jsou mimořádně časově, finančně a administrativně náročné. Dalším velmi důležitým faktorem vývoje ve virtuální realitě je rychlost, se kterou je možné karoserii a interiér přepracovávat. Z designérského hlediska může virtuální realita urychlovat práci designéra až o několik měsíců.

Na základě podrobnějšího zkoumání automobilu ve virtuální realitě bylo zjištěno, jaké konstrukční úpravy je třeba provést pro zefektivnění návrhu vozu z pohledu výroby a údržby vozu. Z estetického hlediska byla virtuální realita využita pro posouzení celkového dojmu z proporcí vozu, rozměrů karoserie a zakřivení ploch. Model ve virtuální realitě se postupně vyvíjel a upravoval v mezích, které nelze v menším měřítku efektivně reflektovat. Virtuální model byl přínosný například u tvarově komplikovaného průběhu tvaru nasávacích

otvorů. Usnadňoval vývoj díky mnoha aplikovaným detailům. Simulace ukotvení prosklených částí konkretizovali celkový dojem o optimální prosvětlenosti interiéru, který zároveň musí zajišťovat bezpečnost posádky mohutnou a tuhou okolní konstrukcí.



Obr. 47: Virtuální projekce rozpracované karoserie



Obr. 48: Vnější náhled do interiéru v prostředí virtuální reality

V prostředí virtuální reality lze řešit zdánlivě drobné detaily, které mají ovšem zásadní vliv na návrh některých klíčových komponentů jako jsou přední světlomety, zadní svítilny a dílenské zpracováními návaznosti jednotlivých dílů karoserie, zárubně dveří a kufrů. Slícování oken vůči karoserii a montážní prostor pro kompletaci vozu.



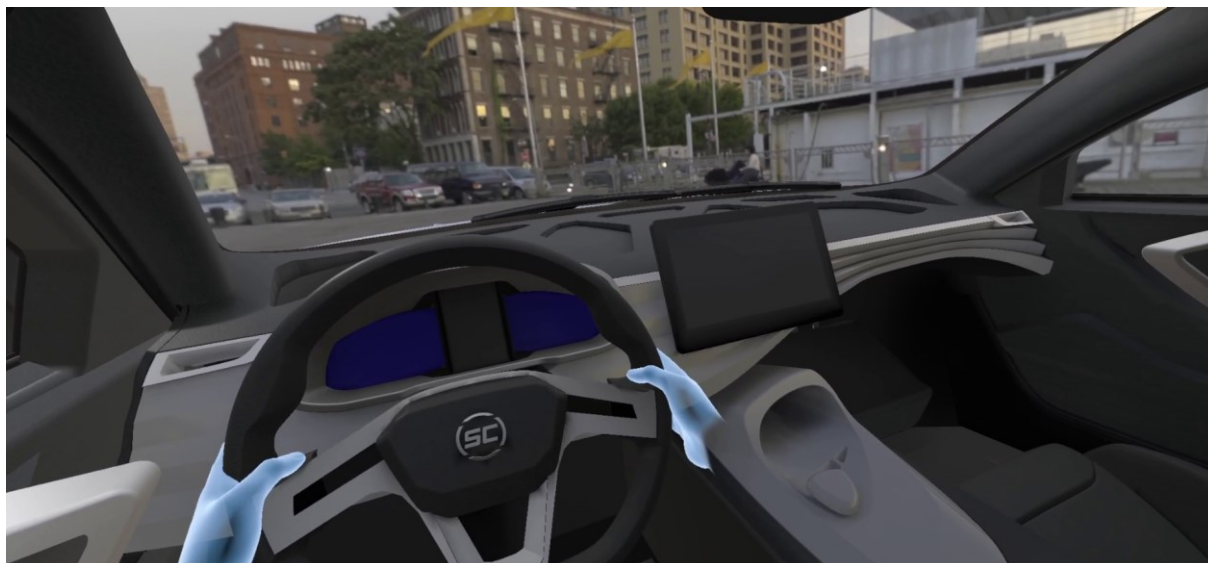
Obr. 49: Virtuální projekce karoserie v reálné velikosti zobrazuje velikost svítlen vůči lidské ruce

5.3 Interiér vozu

Pro vůz byla později navržena druhá generace interiéru, která více reflektovala požadavky spolupráce s Technologickou Agenturou ČR. (Obr. 50) Klíčová byla v tomto ohledu opět virtuální realita, která celý proces zpracování urychlila. Tentokrát koncepce pracovala se zlepšením pasivní bezpečnosti pro spolujezdcu a tomu bylo přizpůsobeno i celkové pojetí.



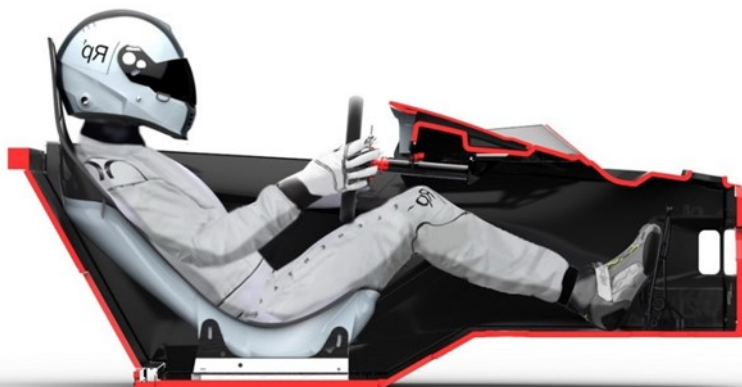
Obr. 50: Návrh interiéru další generace – kombinace vizualizace a skici



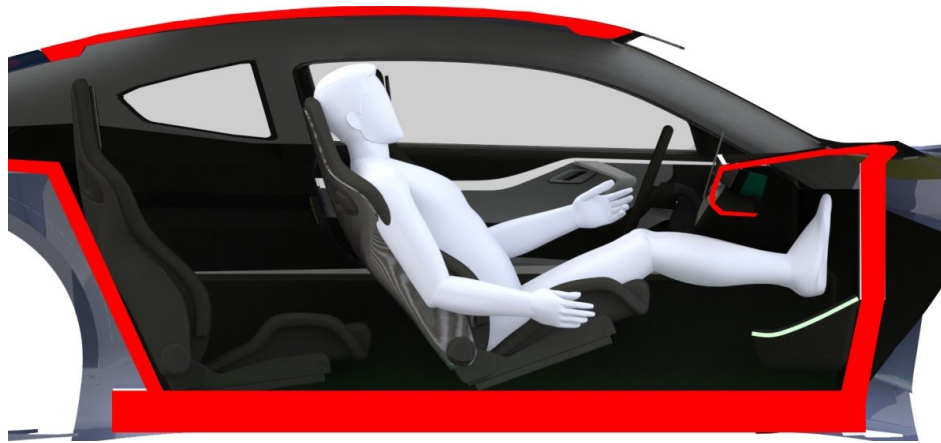
Obr. 51: Interiér vozu ve virtuální realitě

5.4 Komfort a bezpečí spolujezdce

Pro zvýšení bezpečnosti spolujezdce byl navržen princip inspirovaný bezpečností závodních vozů a pohodlím budoucích autonomních vozů. Spolujezdec může v tomto případě efektivně odpočívat v automobilu a ušetřit více energie na práci po dlouhé cestě. Tato pozice sezení je zároveň podobná jako je tomu u vozů Formule 1. Při impaktu se nohy posádky vymrští dopředu, ale v tomto případě v této pozici již jsou. Sekundárně není vyvíjen takový nápor na tělo spolujezdce bezpečnostním pásem, který u závažných nehod vede ke zlomení některých žeber. Spolujezdec při nárazu rozloží zatížení i do spodního sedáku a sníží tak nápor na trup. Vzhledem k tomu, že je pozice spolujezdce nejvíce riziková, co se týče bezpečnosti při čelním nárazu, měl by být na její bezpečnost kladen největší důraz. Airbagy u spolujezdce se umísťují do prostoru horní palubní desky, proto by nenastal problém při jeho použití ani v tomto případě.



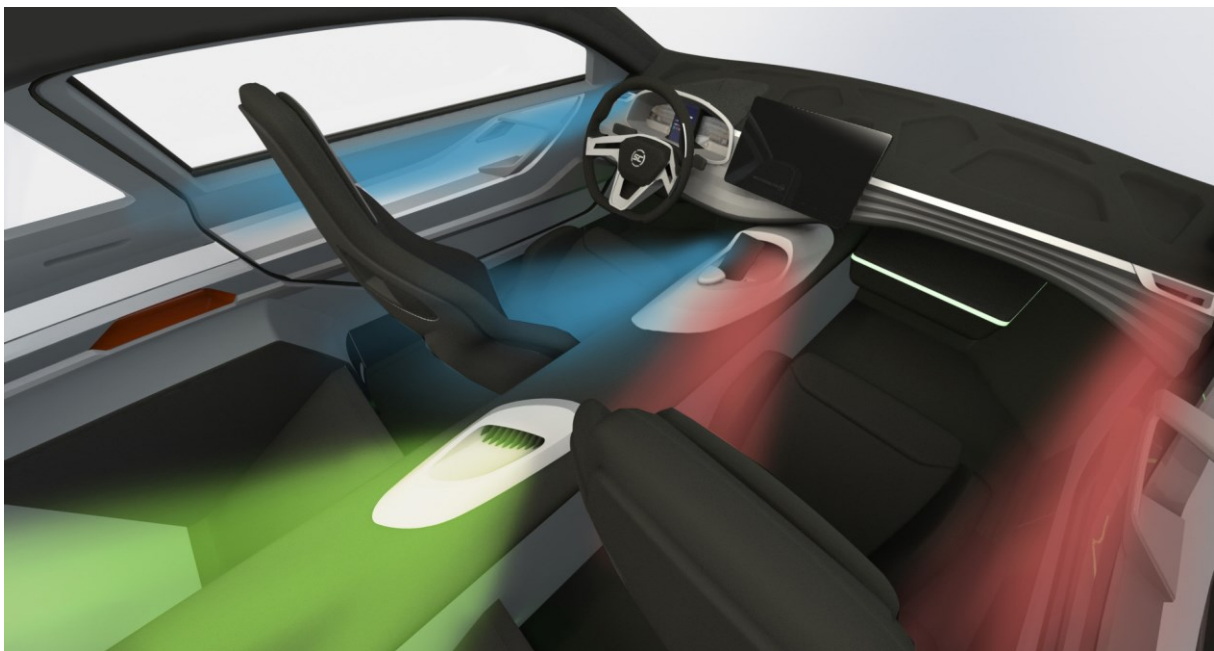
Obr. 52: Interiér závodního kokpitu navržený a uzpůsobený pro přežití případné havárie ve vysoké rychlosti [51]



Obr. 53: Řez interiéru vozu Titan – plánovaná pozice spolujezdce

5.5 Návrh proudění třízónové klimatizace

Pro vůz bylo kvůli plánovanému osazení klimatizací nutné navrhnout i distribuční kanály, které by se v případě teoretické možnosti požáru uzavřely a bránili by tak vniknutí zplodin do kabiny.

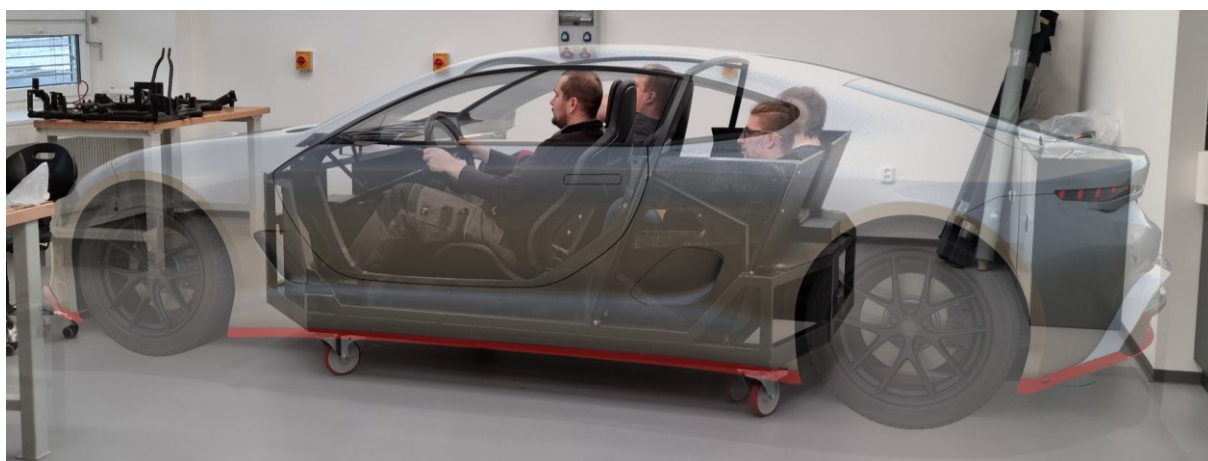


Obr. 54: Návrh předpokládaného třízónové klimatizace

5.6 Realizace Makety interiéru v měřítku 1:1

Vzhledem k již zmíněným omezením plynoucím z testování ve virtuální realitě byla pro finální otestování navržena stavba makety interiéru v měřítku 1:1. Správně nastavená ergonomie interiéru je pro automobil důležitá z funkčního i bezpečnostního hlediska, a proto nebylo možné tuto část vývoje opomenout. Projekce ve virtuální realitě velmi napomohla navržení jednotlivých dílů a ušetřila tak energii, materiál a čas, který by se při standardním postupu promarnil výrobou

mnoha různých prototypů, než by se návrh zcela konkretizoval. Ergonomická maketa interiéru byla vyrobena z okolního ocelového rámu, OSB desek pro simulaci plošných výplní a velké míry 3D tisků vyhotovených na velkoformátové 3D tiskárně. Pro tisk nadrozměrných součástí o délkách až 1700 mm bylo třeba využít speciální velkoformátovou tiskárnu ATMAT. Tisky umožňují stavbu relativně přesné makety a prototypizaci subtilních tvarů, které redukuje hmotnost každého dílu. Klíčovou výhodou této technologie je velmi rychlý vývoj prototypu oproti frézování. Příprava dílu před výrobou je časově méně náročná, nastavení výroby řádově zjednoduší a rychlost je neporovnatelně mnohem kratší než u frézování. Další výhodou je i možnost používání zcela odlišných materiálů. Interiér je možno vyrábět přímo z materiálu PET. Další výhodou je neomezenost tvarů výrobků, možnost vytváření hlubokých a zakřivených dutin, do kterých se nelze přímým nástrojem dostat.



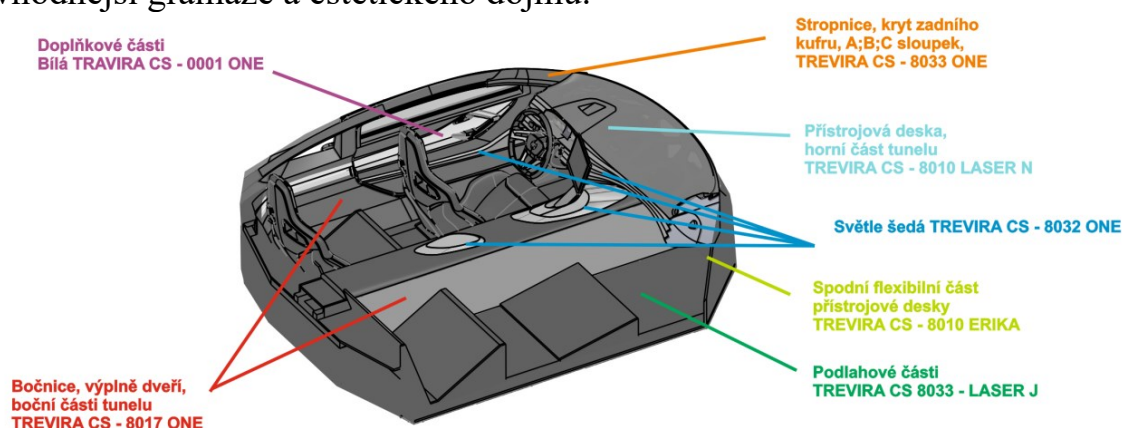
Obr. 55: Maketa interiéru vozu se čtyřmi dospělými figuranty



Obr. 56: Fyzická realizace makety interiéru s funkčními prvky

Nehořlavé materiály interiéru

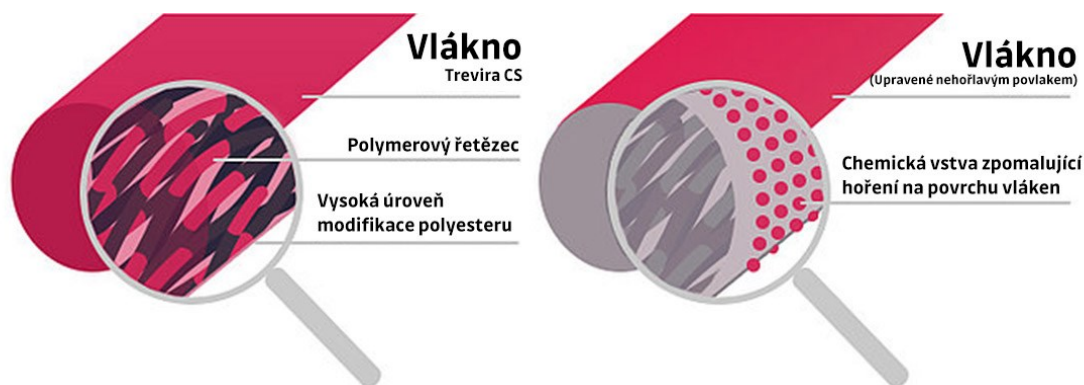
Pro interiér byly vybrány textilie vyrobené ze speciálního nehořlavého vlákna Trevira CS. Vlákno je recyklovatelné a zároveň nehořlavé. Výhodou tohoto vlákna je jeho široké použití napříč mnoha různými výrobci tkanin. Dle širokého spektra různých vzorů a gramáží látek bylo možno použít mnoho typů textilií vyrobených pouze z tohoto patentovaného vlákna. Do interiéru vozu bylo vybráno sedm různých vzorů tak, aby vhodně plnili účel i estetickou kvalitu, pro který byly vybrány. U podlahových částí se dbalo na mimořádně vysokou ořezuvzdornost materiálu vzoru LASER J, u látek přicházejících do častého styku s uživateli se selektovali typy s odolností vůči zašpinění a další byly selektovány dle nejvhodnější gramáže a estetického dojmu.



Obr. 57: Návrh rozložení různých textilií pro odlišné části interiéru

Materiál Trevira CS

Látky Trevira CS jsou rozdílné oproti běžným vláknům v principu konstrukce vlákna. Trevira CS obsahuje nehořlavé části uvnitř objemu vlákna oproti vláknům, která jsou nehořlavá pouze na povrchu. Textilie, které jsou na rozdíl od látek Trevira CS ošetřeny dodatečnou úpravou proti hoření, o tuto vlastnost vnějšími vlivy časem přichází a je nutné ji pravidelně obnovovat. Materiály vyrobené z vláken Trevira CS jsou vyráběny způsobem šetrným k životnímu prostředí, nevyžadují žádnou dodatečnou, životnímu prostředí škodlivou protipožární úpravu, jakou vyžadují běžně hořlavé materiály. Nehořlavá vlákna Trevira CS jsou také certifikována podle normy STANDARD 100 OEKO-TEX® a v případě požáru uvolňují velmi nízké množství toxických zplodin ve srovnání s jinými materiály. To je obzvláště důležité, protože při požáru je nebezpečí udušení kouřovými zplodinami větší než riziko zranění plamenem. (Trevira, 2021)



Obr. 58: Princip konstrukce vlákna Trevira CS (vlevo) je založen na nehořlavosti vlákna v celém objemu. Běžná nehořlavá vlákna (vpravo) jsou opatřena nehořlavou vrstvou pouze na povrchu a tuto vlastnost časem ztrácí v důsledku mechanického opotřebení, nebo stárnutí. [52] převzato, přeloženo

5.1 Aplikace systému snímacích kamer

Z hlediska redukce vnějších výčnělků a eliminaci mrtvého úhlu byl do makety vozu implementován systém snímacích kamer. Na předpisy o schvalování snímacích kamerových systémů, mezinárodních normách a implementaci do makety navrženého vozu byla již zpracována bakalářská práce „Návrh, implementace a realizace aplikace snímacích kamer nahrazující zpětné zrcátka elektromobilu Titan“ (Mácha, 2021)

Pro zajištění plynulého snímání byly vybrány kamery daA1920-160uc s globální uzávěrkou. Obraz se tedy nedeformuje ani při velmi rychlých pohybech. Jedná se o kameru s rozlišením senzoru 1920 x 1200 px a snímkovou frekvencí až 160 Hz.



Obr. 59: Kamera Basler - daA1920-160uc, [53]

Na maketě interiéru bylo otestováno umístění snímacích kamer a zobrazovacích displejů, které jsou atypicky umístěny přímo před řidičem v kapličce za volantem vozu. Pro zobrazování informací o stavu a rychlosti vozu slouží třetí 5,5" displej uprostřed.



Obr. 60: Boční kamery aplikovány na maketě vozu

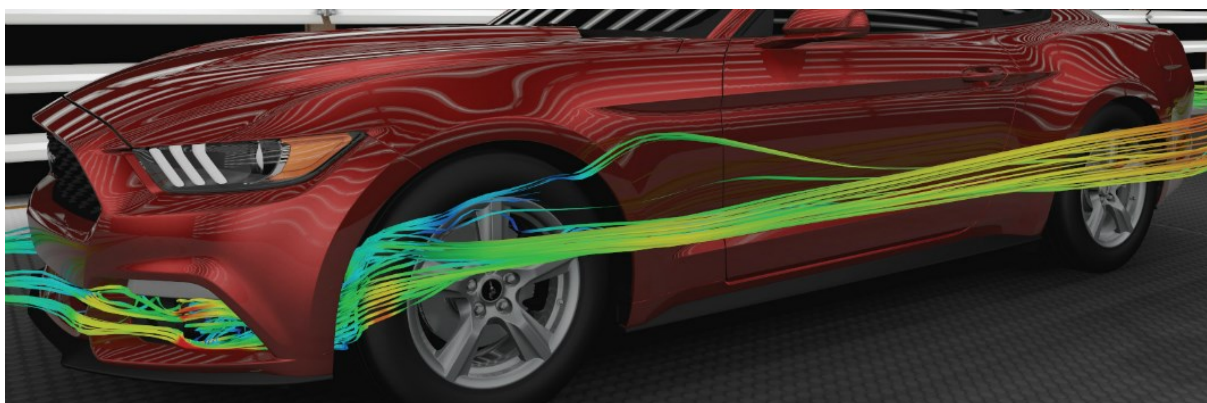
6 AERODYNAMIKA

V této části procesu navrhování bylo třeba přejít k další výzkumné části, která se zabývá aerodynamikou. Pro potenciál tohoto vozu bylo rozhodnuto zapracovat na přítláčných silách, které by měli zlepšovat ovladatelnost vozu v zatáčkách při vysokých rychlostech. Takto lze zjistit limity vozu a maximální výkonový potenciál podvozkové platformy. Po ukončení vývoje by bylo možné na vyvinuté platformě započít nový výzkum i pro účely snižování spotřeby paliva – to ovšem není obsahem této disertační práce.

Aerodynamika jako vědní obor zkoumá především silové působení na obtékané těleso. Pro téma disertační práce je klíčové pochopení základních principů chování aerodynamiky. Z toho důvodu jsou zmíněny alespoň klíčové parametry.

Velikost aerodynamického odporu se charakterizuje podle součinitele aerodynamického odporu C_d . Například u současných osobních vozů se tato hodnota pohybuje v rozmezí 0,2 až 0,4. Přičemž nižší hodnota znamená nižší odpor vzduchu a nižší spotřebu. U sportovních vozů je tato hodnota paradoxně vyšší, protože všechny přítláčné síly, které zajišťují, aby vůz nevzlétl zároveň zvyšují odpor a zvyšují spotřebu. U dokonale aerodynamických vozů F1 je hodnota C_d mezi 0,7 a 1.1 - což znamená, že samotná hodnota není vše vypovídající, pokud není znám konkrétní účel vozu. (Ferne, 2016)

Výstupními hodnotami aerodynamické analýzy je zpravidla rozložení silového pole, tvar proudnic a hodnota koeficientu aerodynamického odporu C_d . Silové pole demonstruje na zvýšený tlak na karoserii. Velikost tohoto tlaku je ovlivněna rychlostí obtékání.



Obr. 61: Ukázka funkce předního nasávacího kanálu eliminující víření kolem přední kol – Ford Mustang [53]

Aerodynamický součinitel vyjadřuje aerodynamickou pozvolnost obtékaného tělesa. Čím nižší hodnota, tím menší odpor vzduchu na těleso působí. Pro měření se využívají softwarová řešení, nebo aerodynamický tunel. Velikost odporové síly lze definovat za přímo úměrnou rychlosti tělesa. Ve vyšších rychlostech však odporová síla vzrůstá s druhou mocninou rychlosti. (Vlk, 2000)

6.1.1 Základní terminologie aerodynamiky

Tlakové pole

Na povrchu vozidla se vzduch různě stlačuje, čímž dochází k vytvoření nerovnoměrného tlakového pole, způsobujícího silovou nerovnováhu. Vlastnosti tlakového pole vychází ze zákona Zachování energie - Bernoulliho rovnice, který rozděluje tlak na statický, dynamický a celkový. (Kovanda, 1999)

Proudnice

Je dráha vybrané částice obtékající látky, např. vzduchu. Proudnice se spojují do tzv. proudového svazku. Tvary proudnic se dělí na laminární (ustálené) a turbulentní. (proudnice jsou roztočeny a kříží se). (Kovanda, 1999)

Vzdušný odpor

Celkový vzdušný odpor je dán výslednicí aerodynamických tlaků a třecích sil, které působí na povrchu a okolo karoserie. Vozidlo musí část vzduchu protlačit pod, nad a také skrz karoserii (chladicí a větrací systémy). U běžných vozů je od vozidlem je mírný přetlak a nad vozidlem velký podtlak, čímž dochází k víření vzduchu. (Kovanda, 1999)

Součinitel odporu vzduchu

Součinitel odporu vzduchu závisí především na tvaru a velikosti vozidla. Vozidlo s malou čelní plochou může mít vyšší odpor než vozidlo s větší a naopak. Hodnoty se zjišťují numerickými výpočty, počítačovou simulací a jeho skutečné hodnoty v aerodynamickém tunelu. (Kovanda, 1999)

Odporová síla

Směr síly je rovnoběžný se směrem pohybu vozidla. Vzniká tím, jak vozidlo proniká atmosférou. Čelní plocha vozidla má velký vliv na velikost odporové síly. Pro snížení se používají různé nástavby. (Kovanda, 1999)

Přítlak

Směr přítlaku je dolů normálově vzhledem k vozovce. Je to síla, která se tvoří při jízdě vozidla, kdy na horní straně jeho vnějšího pláště je vyšší aerodynamický tlak než na straně spodní. Dochází k většímu zatížení pneumatik v oblasti dezénu s povrchem vozovky bez zvýšení hmotnosti vozidla. Větší zatížení pneumatik při vysoké rychlosti zlepšuje přilnavost, akceleraci, zatáčení, obecně jízdní vlastnosti vozidla. (Kovanda, 1999)

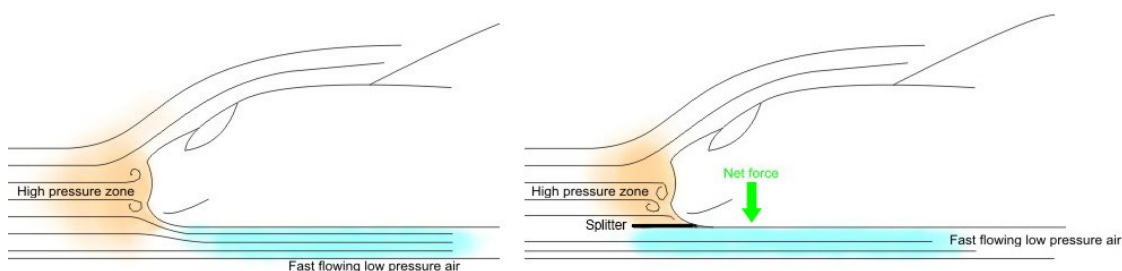
Vztlak

Směr vztlaku je nahoru normálově vzhledem k vozovce. Ovlivňuje schopnost řízení vozidla při vyšších rychlostech v opačném smyslu než přítlak. Vzduch proudící pod komponenty vozidla způsobuje turbulence. Toto nepříznivé proudění vzduchu přispívá ke snížení rychlosti vzduchu a tím nárůstu tlaku. Když

je menší světlá výška, vzduch proudí v omezené míře a rychleji, což způsobuje snížení vztlaku. Naopak když světlá výška je větší, proudění vzduchu pod vozidlem se zvyšuje. (Vlk, 2000) (Kovanda, 1999)

6.1.2 Funkce předního splitru

Přední splitr hromadí vzduch před vozidlem a tlačí tak přední část automobilu k zemi. Takto zvyšuje přítlak pneumatik na vozovku a usnadňuje manévrovatelnost s vozem a zatáčení. U sportovních vozů zrychluje ujetí standartního závodního okruhu o několik vteřin. Z pohledu bezpečnosti se jedná rovněž o vhodný doplněk vozu. Jeho nevýhodou je kladený odpor, který může zvyšovat spotřebu vozu. Z toho důvodu se nepoužívá plošně.



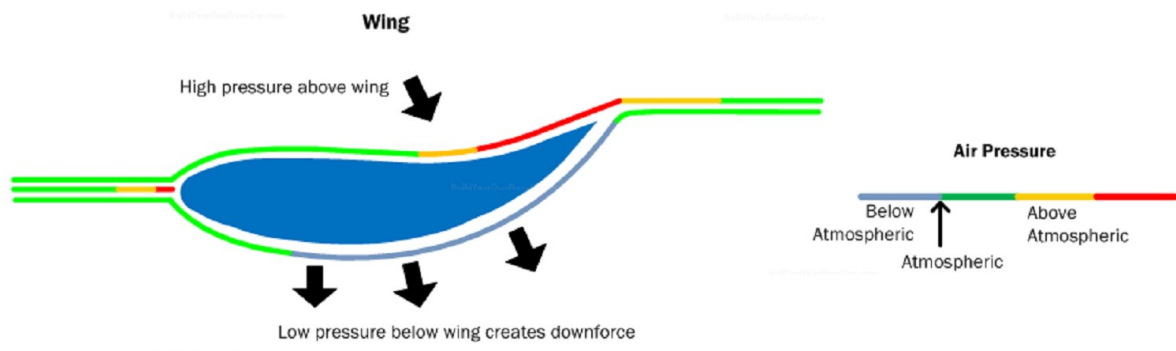
Obr. 62: Princip funkce splitteru – vůz Lotus Elise [55]



Obr. 63: Přední Splitter [56]

6.1.3 Princip funkce přítlačného křídla

Přítlačné křídlo napomáhá vozu v přenášení točivého momentu na vozovku, ale zároveň vytváří odpor vzduchu a zvyšuje celkovou spotřebu. Přítlačné křídlo se obvykle umísťuje v zadní části vozidla. U speciálních vozů je jej ovšem možné umístit i před přední část vozu. Takovými typy křidel obvykle disponují závodní vozy formule 1. Účinnost přítlačného křídla závisí také na výšce umístění od vozovky, proto je například vhodné křídlo v přední části vozidla umísťovat nízko. V zadní části vozu nízké umístění obvykle neumožňuje tvar karoserie. Z toho důvodu je důležité zvolit alespoň optimální výšku umístění nad karoserií. (Kovanda, 1999)



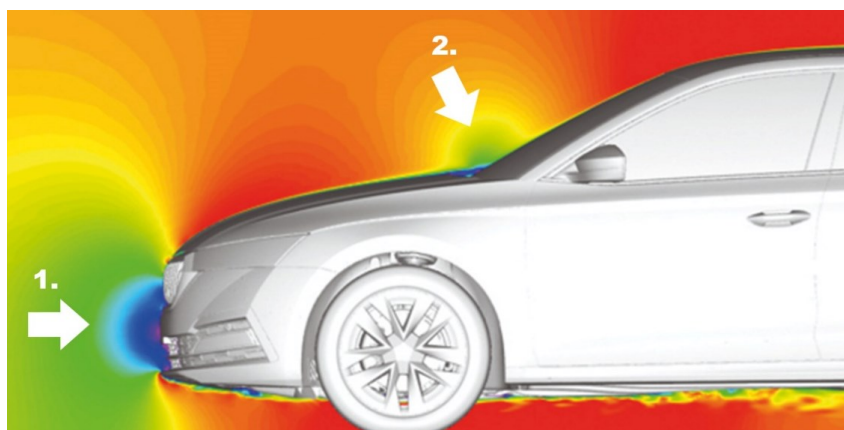
Obr. 64: Schéma přitlačného křídla [57]

6.1.4 Nejvhodnější umístění otvoru pro chlazení vozidla

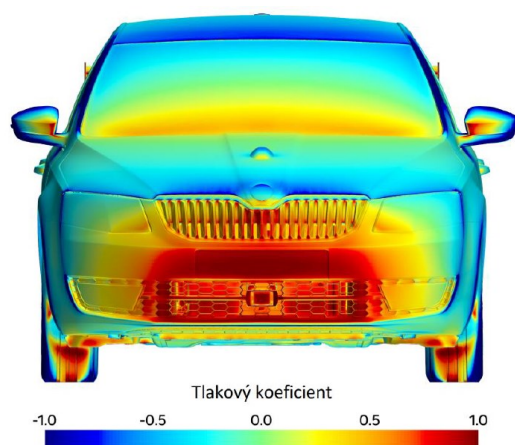
Na příkladu rychlosti proudění u vozidla Škoda Octavia (Obr. 65) je zřejmé, že nejvyšší vytvářený tlak na vozidlo je vytvářen ve spodní části předního nárazníku, z toho důvodu je umístění nasávacího otvoru nejvhodnější a nejefektivnější pro účely chlazení vozu. Šipka č. 1 znázorňuje pomalé proudění, které je způsobeno zvýšeným tlakem vzduchu, který vůz tlačí před sebou. Šipka č. 2 upozorňuje na sníženou rychlost také v oblasti čelního okna. U obrázku 66 je jasně patrné, že toto zpomalení způsobuje zvýšený tlak vzduchu. Tento tlak vytváří odpor a zároveň tlačí vůz k silnici. Měření bylo automobilkou provedeno na neaerodynamičtějším voze značky Škoda Octavia IV. Tento vůz dosáhl při měření hodnoty odporu pouhých C_d 0,24.

6.1.5 Simulace rozložení tlaku Škoda Octavia IV

Dle dat poskytnutých automobilkou Škoda lze zkoumat a popisovat fenomény, které se na voze při jeho aerodynamickém testování projevují. Na obrázku 66 je patrný zvýšený tlak uprostřed spodní části předního nárazníku. Toto měření tlaku jasně ukazuje, z jakého důvodu umisťují automobilky hlavní nasávací otvor a chladič přesně do tohoto místa. U měření tlaku z předního pohledu byl využit vůz Octavia III, jelikož jiný vůz automobilka neposkytla. Přesto je z obou příkladů zcela zřejmá korelace mezi zvýšeným tlakem vzduchu a sníženou rychlostí proudění.



Obr. 65: Snížená rychlost proudění vzduchu v oblastech 1. a 2. [58]



Obr. 66: Rozložení tlaku v přední části vozu Škoda Octavia III [58]

6.1.6 Možnosti odlišného tvarového řešení elektromobilů oproti automobilům se spalovacím motorem

Kvůli předpisům Euro NCAP pro pasivní bezpečnost musí být mezi motorem a přední kapotou vzduchová mezera pro ochranu chodců. Z toho důvodu musí být přední části vozů se spalovacím motorem vyboulené. (Obr. 67)



Obr. 67: Audi A6 [59], [60] upraveno

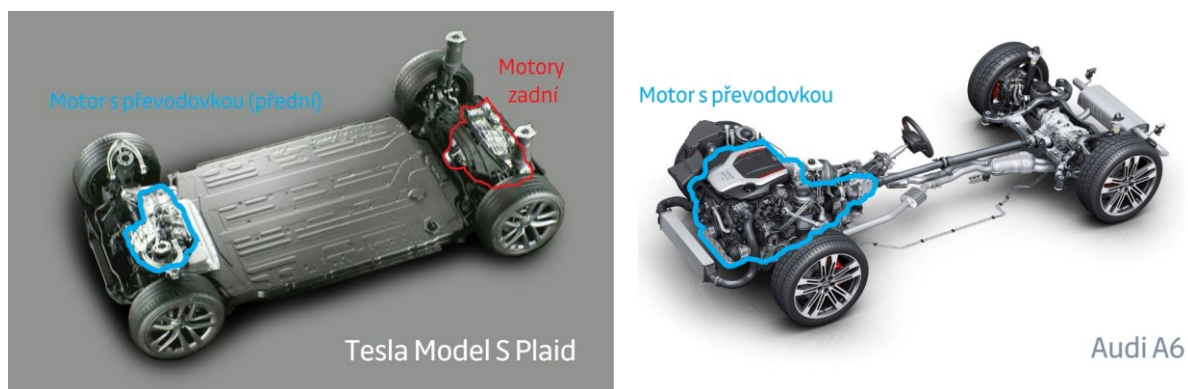
Absence velkého motoru pod kapotou umožňuje elektromobilům tvarovat aerodynamičtější přední části vozu. Tento tvar přispívá snížení odporu vzduchu a snižuje spotřebu. Tento prvek je zároveň poznávacím znakem některých elektromobilů. Na obrázku 67 je patrný rozdíl mezi vyboulením kapoty u vozu Audi A6 a snížené přední části Tesly Model S. Důvod tohoto vyboulení je znázorněn na obrázku 68. Podélně umístěný motor musí být uložen před přední nápravu, aby bylo možné přes poloosy z převodové skříně převést točivý moment.



Obr. 68: Motor Audi A6 [59] upraveno

Hnací ústrojí (Powertrain)

Na obrázku 69 je vyobrazen rozdíl hnacího ústrojí automobilu Audi A6 a elektromobilu srovnatelné třídy a velikosti (Model S). Elektromobil v tomto případě velmi zřetelně vyvažuje nevýhodu rozměrného bateriového packu malými a vysoce výkonnými motory.



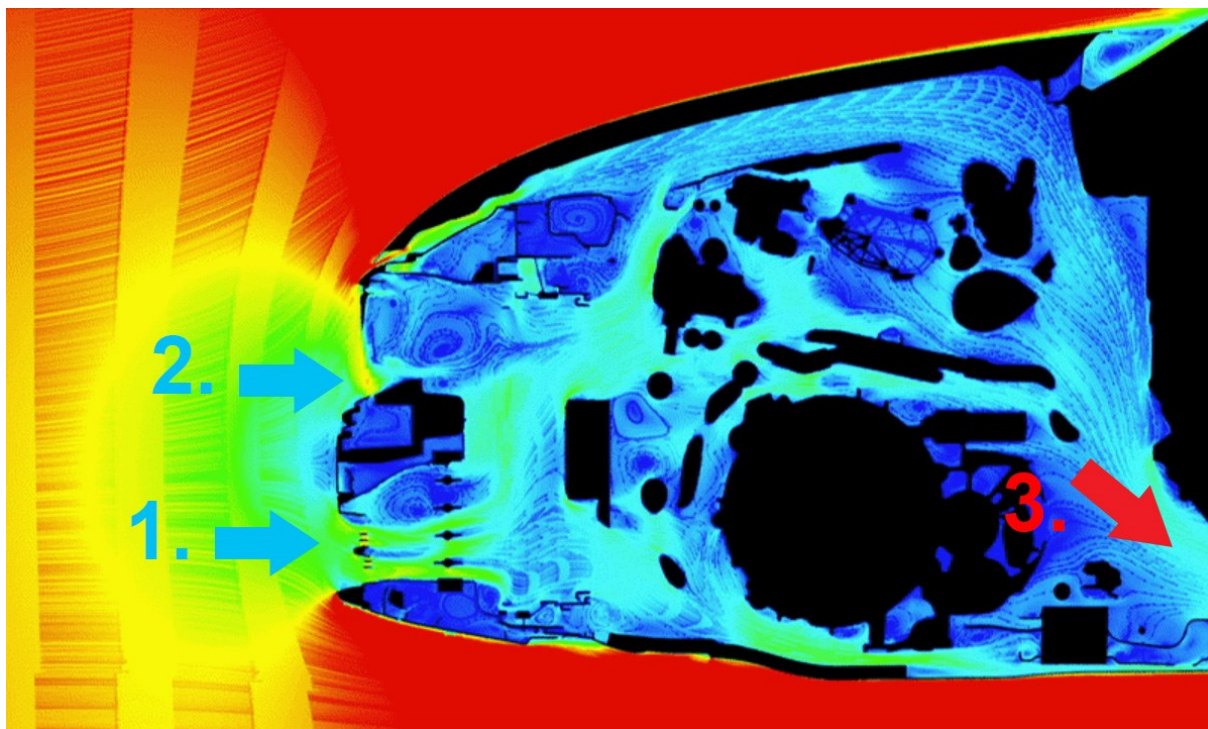
Obr. 69: Hnací ústrojí [61], [62] upraveno

7 NÁVRH PŘEDNÍ MASKY VOZU

Na základě znalostí převzatých z analýzy konkurenčních řešení a zkoumání aerodynamických principů byly navrženy dva typy přední masky vozu. První je varianta masky s vloženým jednostranným přitlačným křídlem, která by měla teoreticky generovat přítlak a odvádět ohřátý vzduch co neoptimálněji mimo vozidlo. Druhou variantou je konvenčnější řešení masky, které je používáno u přímé konkurence navrženého vozu. Ohřátý vzduch je vpuštěn do předních podběhů a následně je vzduchovým kanálem za vozidlem odváděn mimo vůz. U standartních vozů se spalovacím motorem je nasátý vzduch vypouštěn do celého motorového prostoru a následně je vypouštěn pod vozidlem. Z hlediska možné citlivosti prototypu na nasátí nepřiměřeného množství vody (spolu se vzduchem) bylo rozhodnuto o oddělení dutin chladících nasávačů od motorového prostoru.

7.1 Standartní řešení nasávání vzduchu

Pro pochopení problematiky chlazení vozů dobře slouží analýza společnosti Škoda auto provedena na voze Octavia IV se spalovacím motorem. Na řezu lze vidět, (Obr. 70) že je vzduch nasáván primárně spodní částí nárazníku (1.) a částečně horní maskou. (2.) Dále se volně pohybuje v motorovém prostoru. Drobné šipky ve virtuální simulaci ukazují, že přebytečný vzduch je vypouštěn pod vůz někde za zadním kolem. (3.) Řez nebyl proveden ve středové ose vozu. Lze vidět pouze drobné segmenty motoru a není vidět chladič. V tomto řezu je ovšem patrnější samotné proudění.



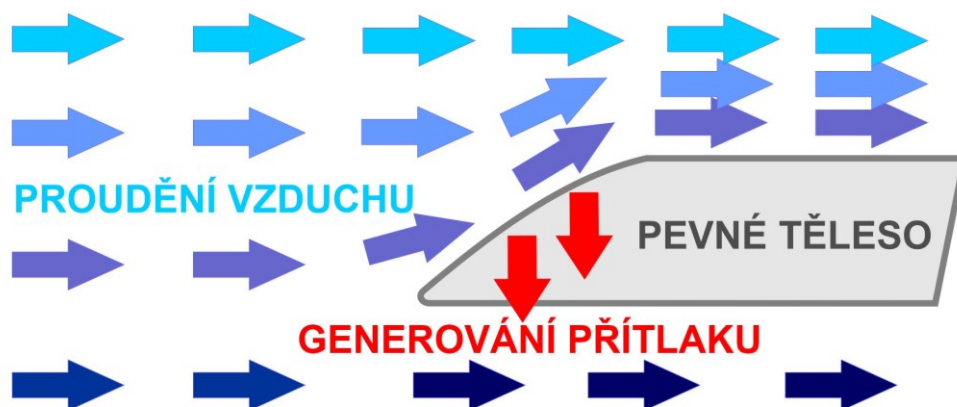
Obr. 70: Simulace proudění vzduchu ve voze Škoda Scala [58] upraveno



Obr. 71: Simulace proudění vzduchu kolem vozu Škoda Octavia IV [58] upraveno

7.1.1 Zakomponování principu přitlaku do masky vozu

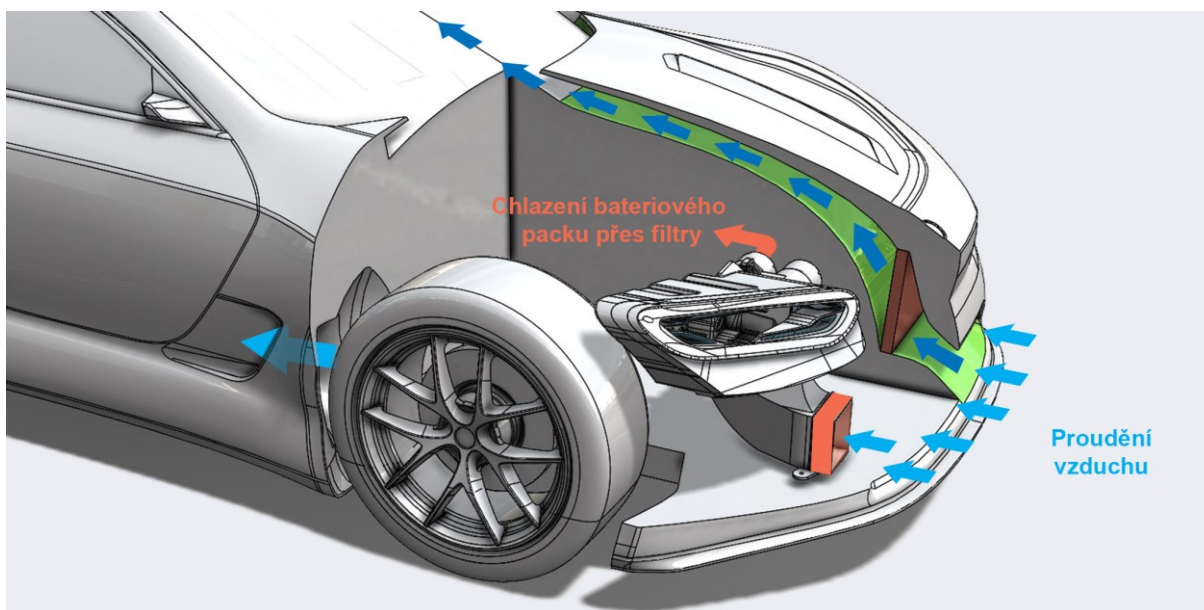
Podobný princip, jaký využívají přední splitry vozu (Kap. 6.1.2.) lze zkombinovat s jednostranným přitlačným křídlem a docílit tak zcela unikátního řešení přední masky vozu. (Obr 72; 73; 77) Těleso tohoto jednoduchého tvaru vytváří plynulý odpor a je tlačeno k zemi silou, která je nazývána přitlak. Nejedná se o tak efektivní generování přitlaku jako je při použití ideálně tvarovaného přitlačného křídla, nicméně tlak, který na těleso takového tvaru vzniká není zanedbatelný.



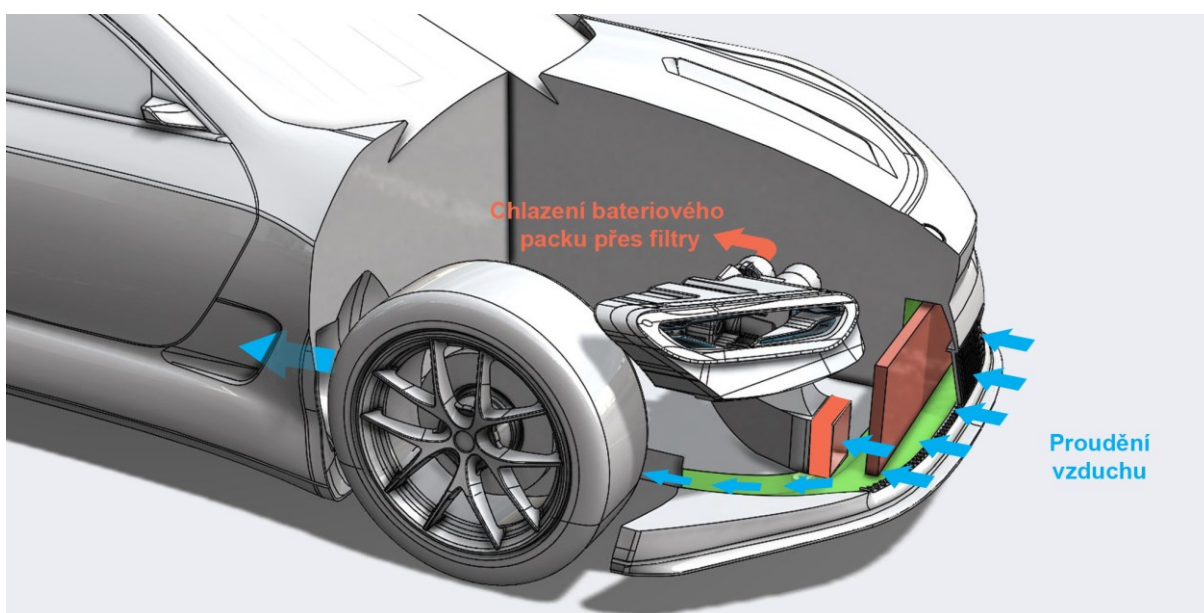
Obr. 72: Jednoduché schéma principu přitlaku klínového tělesa obtékaného vzduchem (například čelního skla automobilu)

Variantní řešení přední masky vozu

Na obrázku 73 je vyobrazena navržená maska s jednostranným křídlem, která by dle hypotézy mohla generovat přitlak vozu bez zvýšení odporu vzduchu. Na obrázku 74 je znázorněna varianta masky se standartním řešením nasávání vzduchu do vozidla. V tomto případě uniká přebytečný vzduch do podběhu a odtahovým kanálem za předním vozidlem je odváděn mimo vozidlo.



Obr. 73: Schéma teoretického proudění vzduchu – Varianta s jednostranným křídlem



Obr. 74: Schéma teoretického proudění vzduchu – Varianta s běžnou maskou

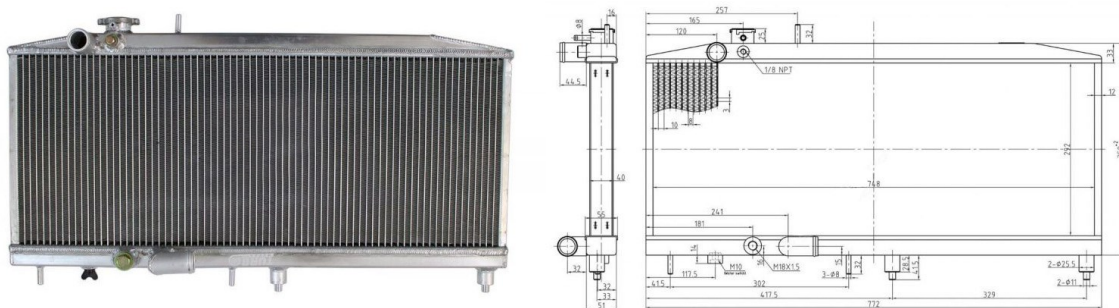
7.2 Karoserie uzpůsobená navrženému šasi vozu

Design karoserie, šasi a interiéru musel v průběhu vývoje probíhat ve vzájemné symbióze. Konstrukční úpravy šasi ovlivňovali design karoserie a úpravy designu karoserie v podobné míře ovlivňoval celou konstrukci samonosného bateriového boxu. Pro účely výzkumné části této práce je důležitý především chladič vozu, na který karoserie přesně navazuje, aby se zabránilo jakýmkoliv ztrátám proudění. Samotná konstrukce navrženého šasi je podrobně popsána v disertační práci zaměřující se na „Aplikaci hliníkových slitin při konstrukci samonosného bateriového boxu pro elektromobily.“ (Buráň, 2022)



Obr. 75: Pojízdná podvozková platforma Titan vyvinutá na VŠB-Technické univerzitě Ostrava a vizualizace karoserie určená pro podvozkovou platformu.

Pro vůz byl vybrán hluboký celohliníkový chladič Honda Civic 96-00 s o 40 % procent vyšší účinností oproti sériové verzi. Účinnost ovlivňuje hloubka jádra, technologie výroby a vodivost materiálu. Zde hloubka jádra činí nadstandartních 40 mm. Čelní plocha chladiče činí 748x292mm. Přímý konkurent Tesla Model S využívá chladič o rozměru 850x174mm. V tomto případě je Tesla ještě doplněna dvěma menšími chladiči klimatizace. Vůz Titan by měl být v budoucnu ještě dovybaven menším chladičem pro klimatizaci umístěným za primárním chladičem.



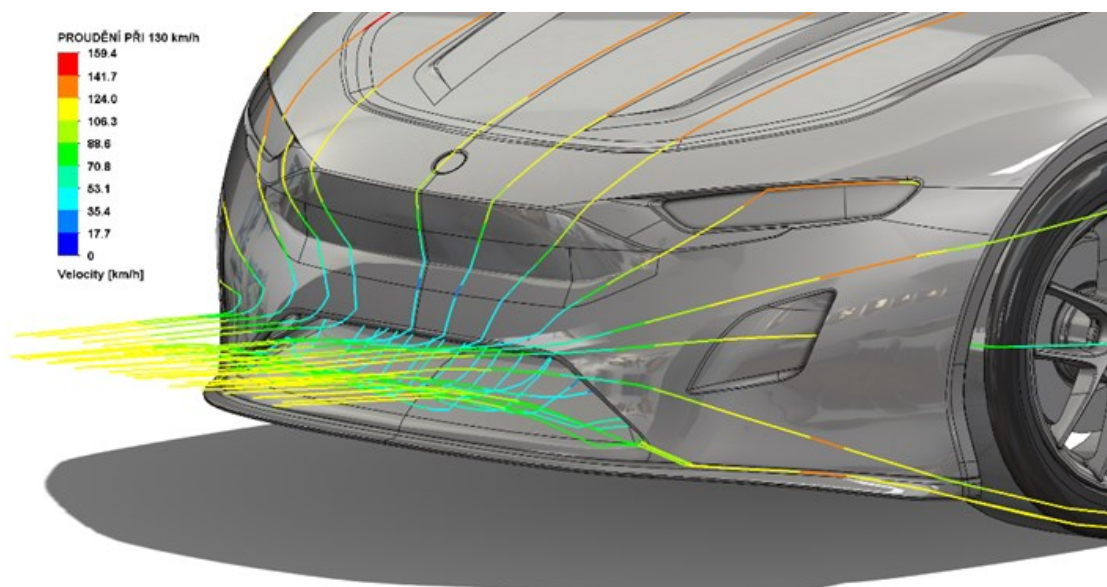
Obr. 76: Hliníkový vodní chladič pro Honda Civic 96-00 K20 SWAP XL [62]

8 PŘÍNOS NOVÉHO UNIKÁTNÍHO ŘEŠENÍ PŘEDNÍ MASKY

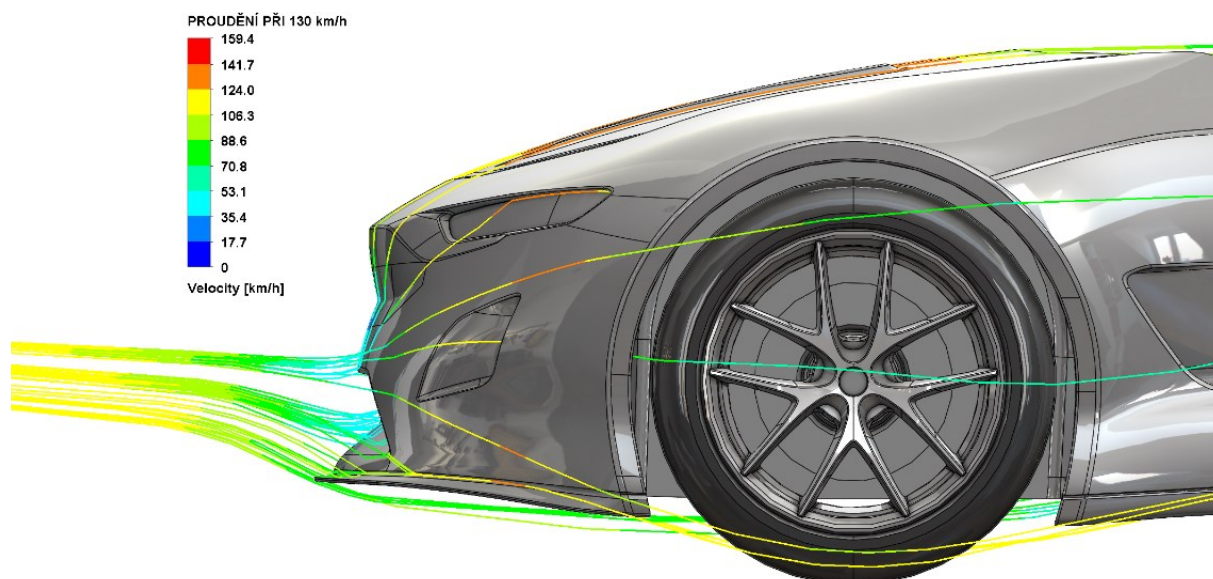
Z bezpečnostních a praktických důvodů nemohou mít běžné automobily aerodynamicky ideální přední část vozu jako je tomu běžné závodních monopostů Formule 1. Přední část vozu je třeba na začátku kapoty zakončit, aby nevznikly vozy s neúměrně dlouhými rozměry. Dále je třeba na vůz připevnit registrační značku, která může být naklopena pouze 5° oproti vertikále. (předpis EHK) Vertikální tvar předních nárazníků z druhé strany slouží pro efektivní chlazení vozu. Jedná se o nejvhodnější místo pro umístění chladiče, jelikož nejvyšší tlak vzduchu je v nejnižší části prostředku nárazníku. (Obr. 66) Běžný vůz bude před sebou vždy tlačít vzduch, který mu bude klást odpor. Zkoumané řešení by ovšem mělo tento problém obracet ve svůj prospěch.

Ověření teorie simulací obtékání vzduchu

Prvotní simulace v softwaru Solidworks Flow Simulation naznačuje, že byl tvar přední části vozu zvolen správně. Přední maska nasává a usměrňuje proud vzduchu do požadovaného prostoru. Boční nasávací kanál rovněž plní svou funkci. (Princip nasávacího kanálu podrobněji vyobrazen na obr. 61) Proudnice obtékají předpokládanými směry a nekříží se. Vůz před sebou tlačí proud vzduchu což je u konvenčních automobilů nevyhnutelné. Tento faktor naopak zvyhodňuje princip navrženého řešení.



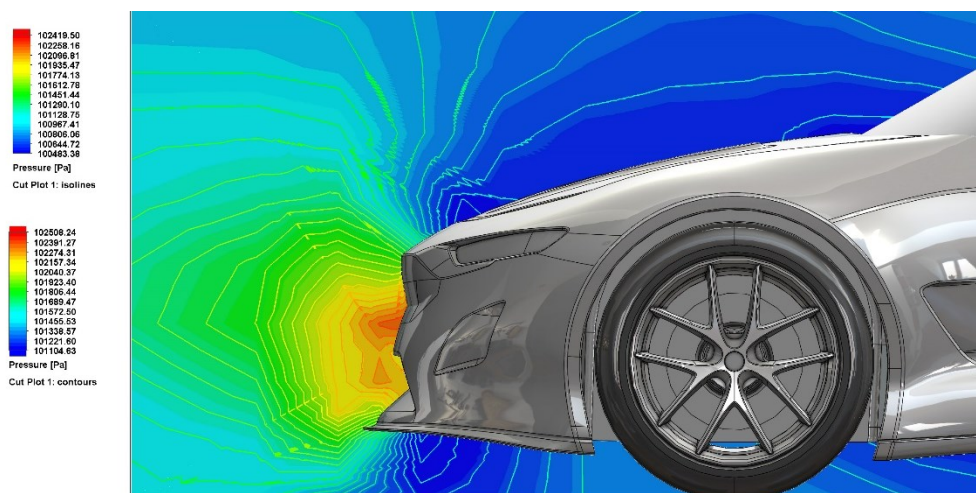
Obr. 77: CFD proudění při 130 km/h



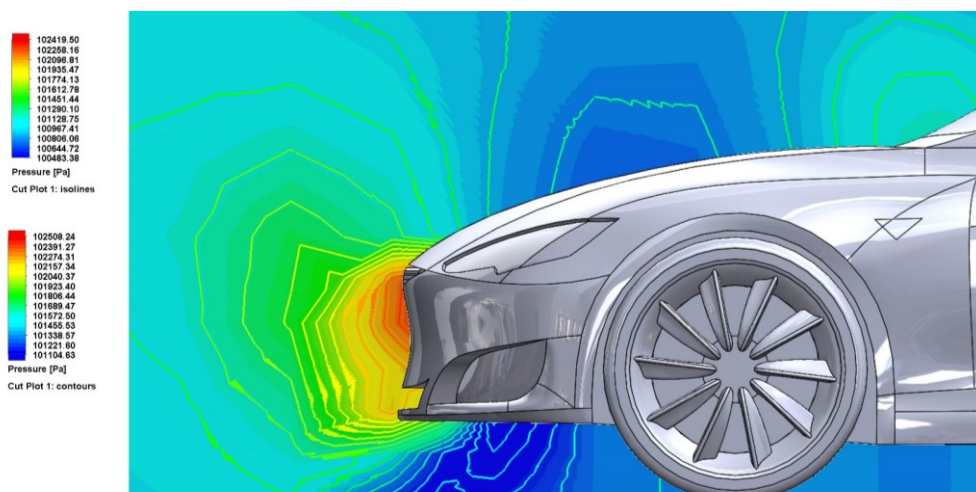
Obr. 78: CFD proudění při 130 km/h (boční pohled)

8.1.1 Referenční model – konvenční řešení přední části elektromobilu

Přední část zkoumaného vozu byla porovnávána s referenčním modelem Tesla Model S (facelift 2017). Tento elektromobil má svým aerodynamickým tvarem ke zkoumanému vozu tvarově a rozměrově nejbližší. (Obr. 80) Pro porovnání byla zvolena shodná dálniční rychlost 130 km/h. Při této rychlosti se aerodynamické síly projevují dostatečně silně pro zhodnocení měření. Měření bočního profilu vozu naznačuje, že je přední část vozu Titan vhodněji tvarovaná. (Obr. 79) Největší tlak vzduchu se soustřeďuje před a nad nasávacím tvorem pro chladič. Tlak zároveň vhodně tlačí na přítlačné křídlo v masce automobilu. Přední splitr odděluje vyšší tlak před vozidlem a nižší tlak pod ním. Tvar přední masky vrcholného vozu Tesla naopak naznačuje, že se tlak vzduchu soustřeďuje neefektivně v hodní části masky. Pravděpodobně kvůli nevhodnému tvarování vozu. Nejvyšší tlak vzduchu není v úzkém místě určeném pro chlazení, ale v zaslepené části masky. Absence předního splitru také méně efektivně odděluje vyšší tlak vzduchu před vozidlem s nižším tlakem pod ním. Měření proběhlo v modulu Flow Simulation pro SolidWorks.



Obr. 79: Tlak proudění při 130 km/h – StudentCar Titan



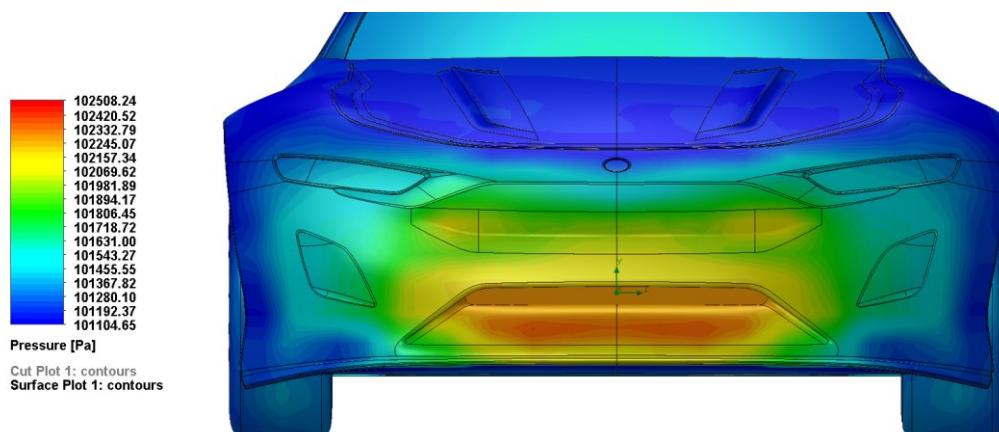
Obr. 80: Tlak proudění při 130 km/h – Tesla model S

Vůz Tesla může mít díky abnormálně nízkému chladiči nižší bod začátku přední kapoty, přesto je tento design dle aerodynamického měření tlaku méně efektivní, než je navržen u vozu SC Titan. Oba vozy byly vystaveny stejné rychlosti a barevné schéma tlaku je v obou případech identické. Vozy nebyli v tomto případě osazeny dopravní značkou, aby nekomplikovali výpočty. Osazení registračních značek nesmaže aerodynamické rozdíly mezi oběma vozy.

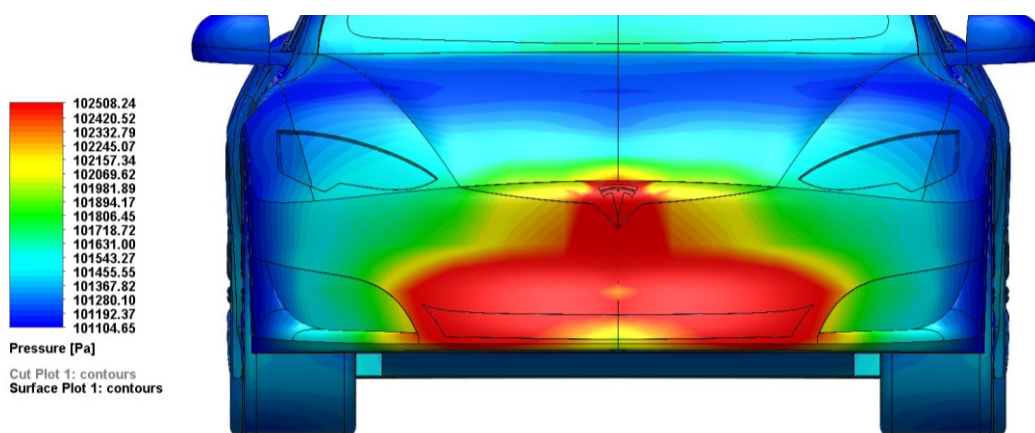
8.1.2 Rozložení tlaku vzduchu z čelního pohledu

Pro detailní porovnání obou koncepcí byla vytvořena simulace zobrazující rozložení tlaku z čelního pohledu. Navržené řešení SC Titan poměrně vhodně rozmělnuje tlak vzduchu působící na vozidlo. Pravděpodobně je to dáno šípovitým tvarem vozu z půdorysného pohledu. Měření při rychlosti 130 km/h dopadlo lépe, než bylo očekáváno. Nejvyšší tlak vzduchu působí na vložené přítláčné křídlo a chladič vozu.

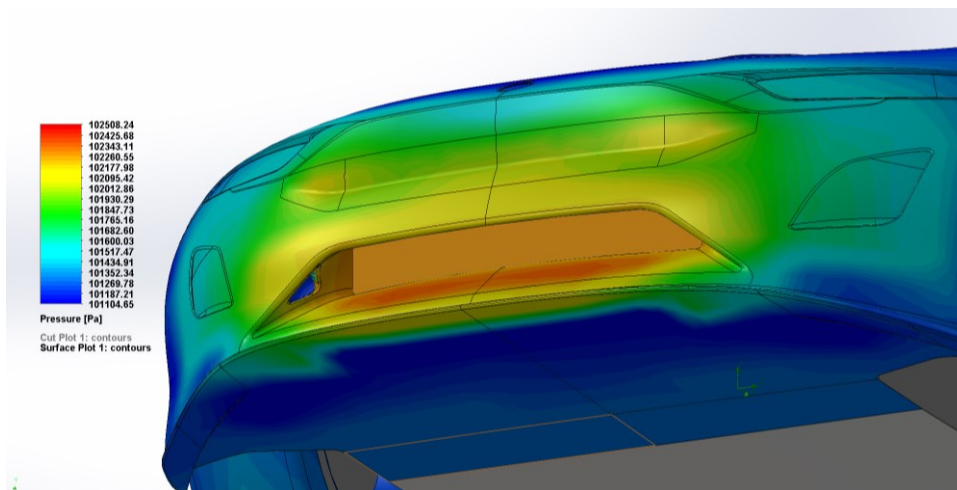
U vozu je Tesla Model S dopadlo měření nehodně, vůz před sebou tlačí vzduch v neefektivní části předního nárazníku. Široký nízký otvor pro chladič je ovšem pod vysokým tlakem.



Obr. 81: Tlak proudění při 130 km/h – SC Titan



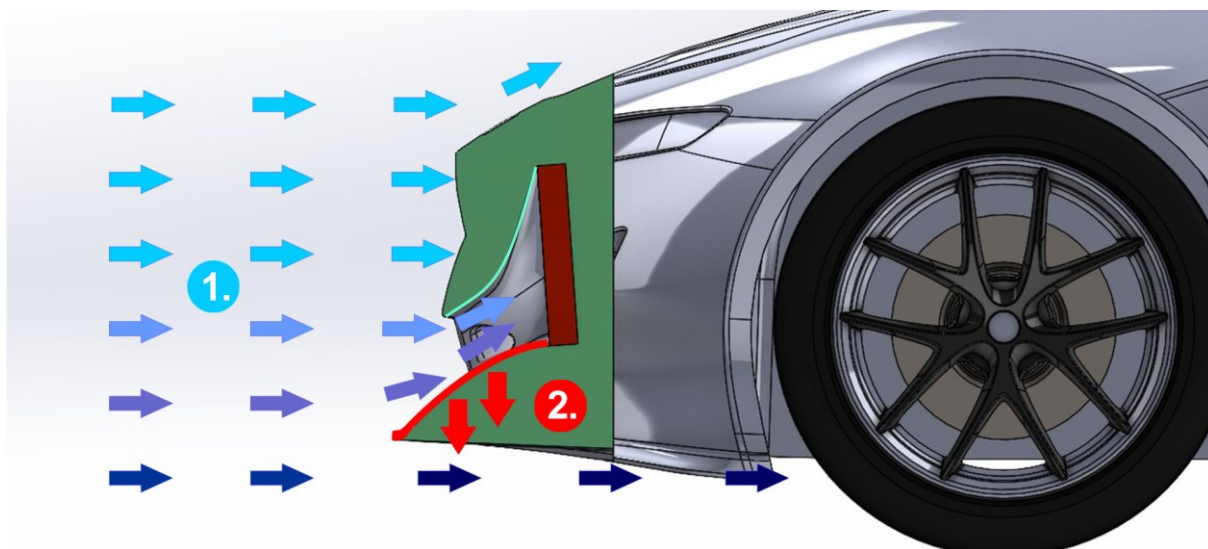
Obr. 82: Tlak proudění při 130 km/h – Tesla model S



Obr. 83: Tlak proudění při 130 km/h – SC Titan

8.2 Ověření hypotézy generování přtlaku

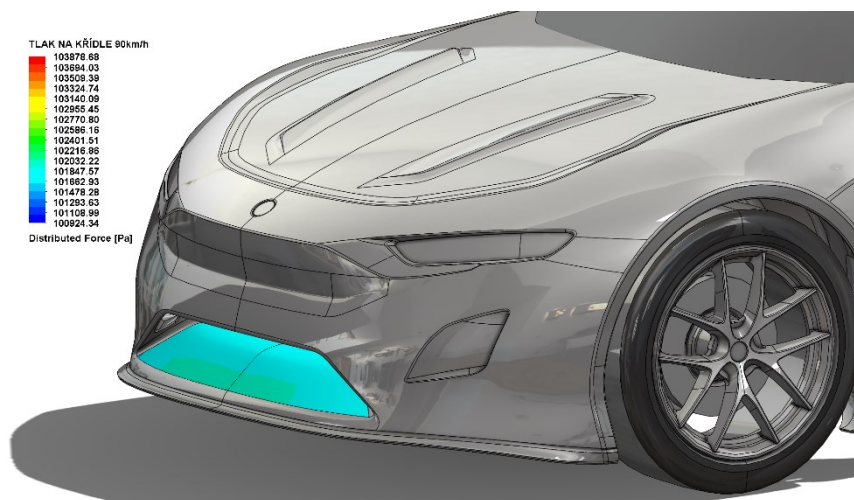
V této fázi výzkumu lze ověřit hypotézu týkající se možného generování přtlaku. Šipky ve schématu (1.) Ukazují předpokládaný směr proudění vzduchu. Toto proudění by mělo dle tlakových zkoušek (Obr. 82; 84) tlačit na vložené jednostranné křídlo a generovat přtlak. (2.)



Obr. 84: Schéma teoretického principu přtlaku u reálného modelu vozu
 č.1. – Proudění vzduchu č.2. – Generování přtlaku

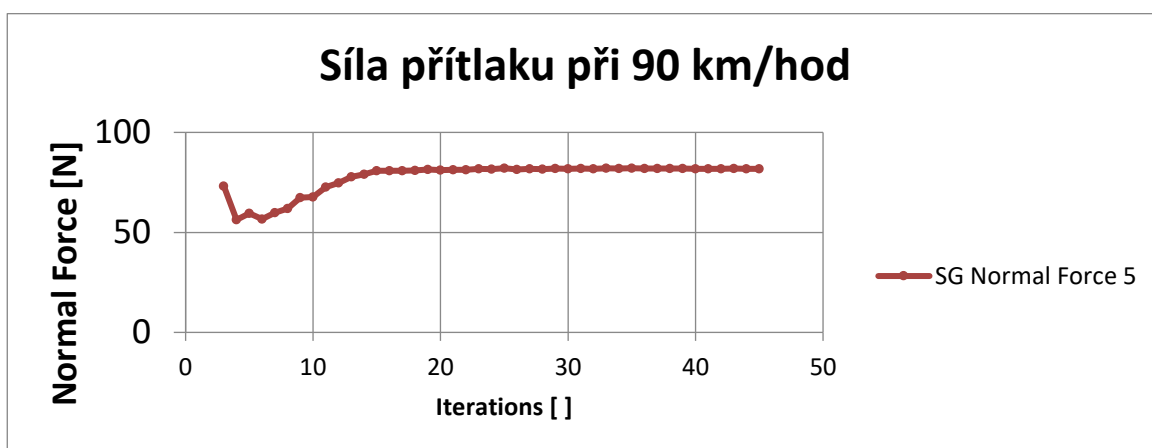
8.2.1 Měření přtláčných sil na vložené křídlo

Po ověření teorie rozložení tlaku před vozidlem byly provedeny měření konkrétních sil. Měření opět proběhlo v modulu Flow Simulation pro SolidWorks.

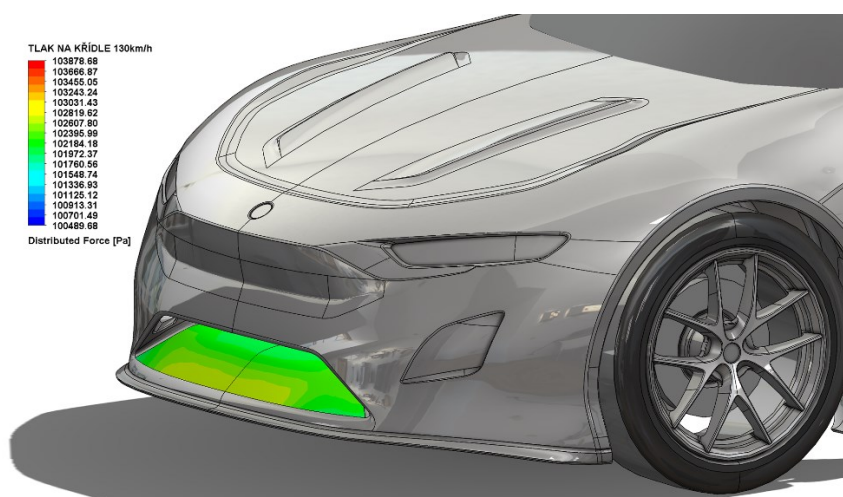


Obr. 85: CFD proudění při 90 km/h

Dle měření vychází přítlak vloženého jednostranného křídla na hodnotu 82 N.

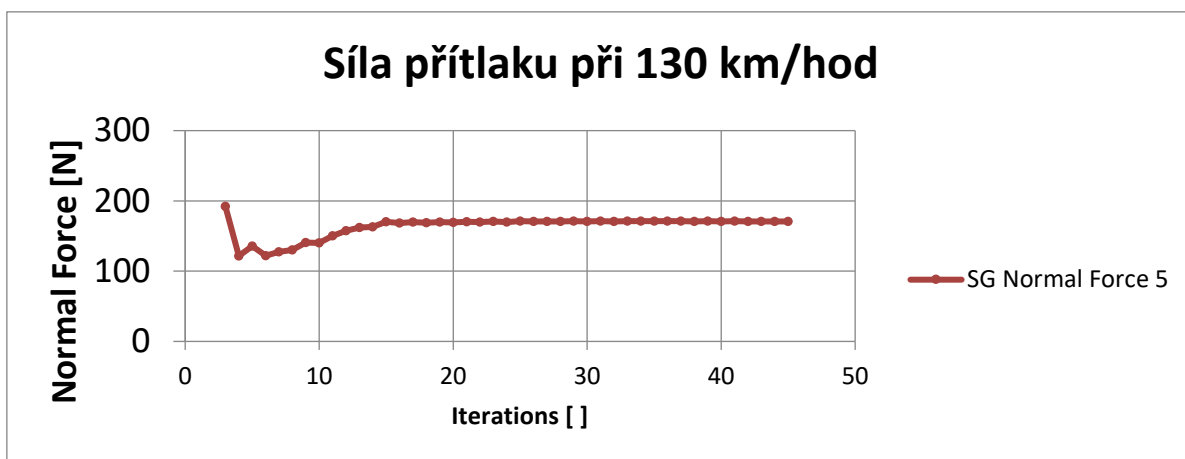


Graf 1 Grafické znázornění sil působících na vložené přítláčné křídlo směrem dolů

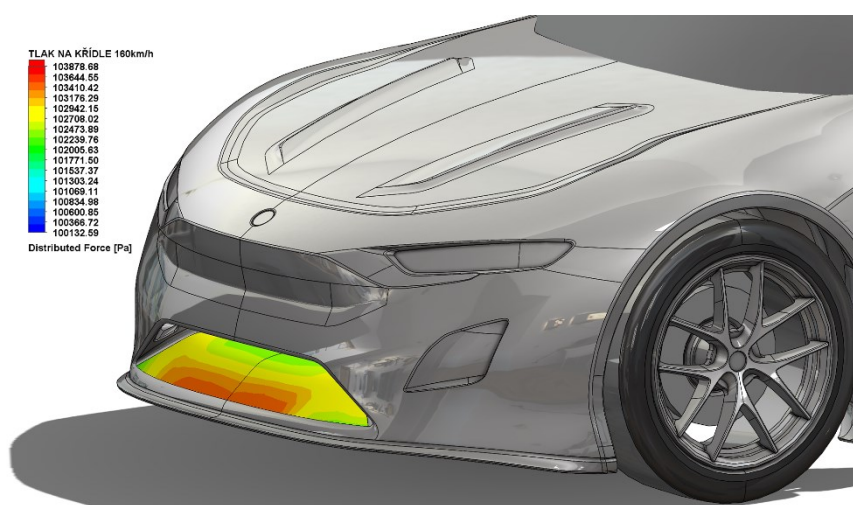


Obr. 86: CFD proudění při 130 km/h

Dle měření vychází přítlak vloženého jednostranného křídla na hodnotu 171 N.

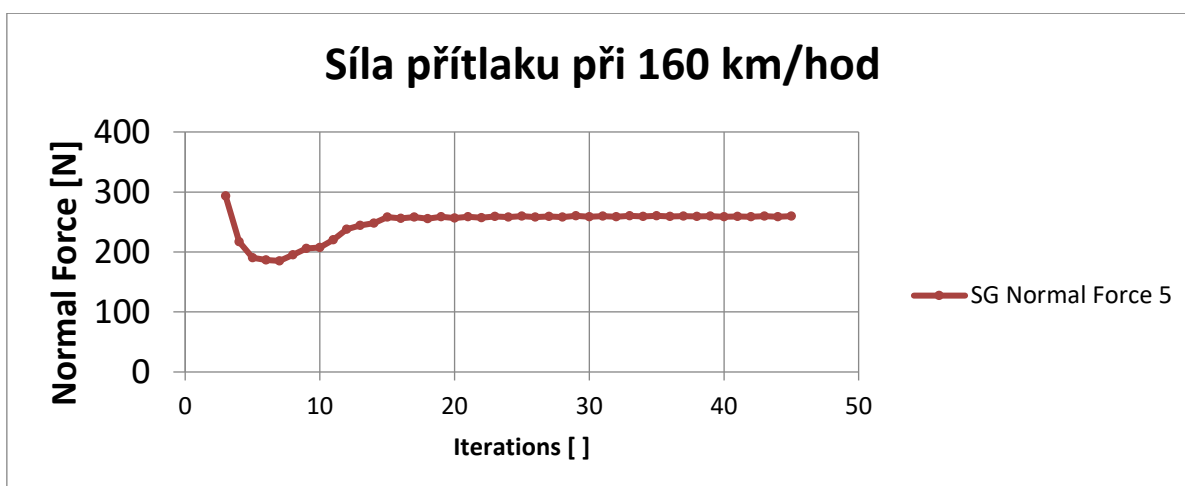


Graf 2 Grafické znázornění sil působících na vložené přitlačné křídlo směrem dolů

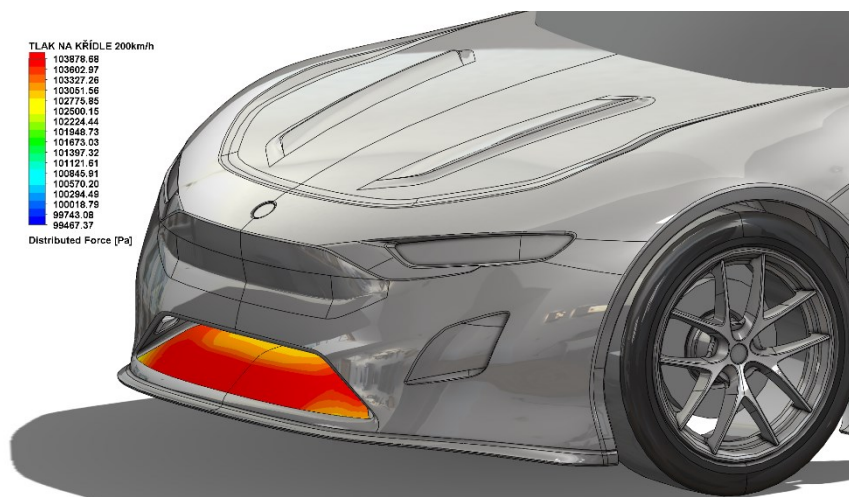


Obr. 87: CFD proudění při 160 km/h

Dle měření vychází přitlak vloženého jednostranného křídla na hodnotu 258 N.

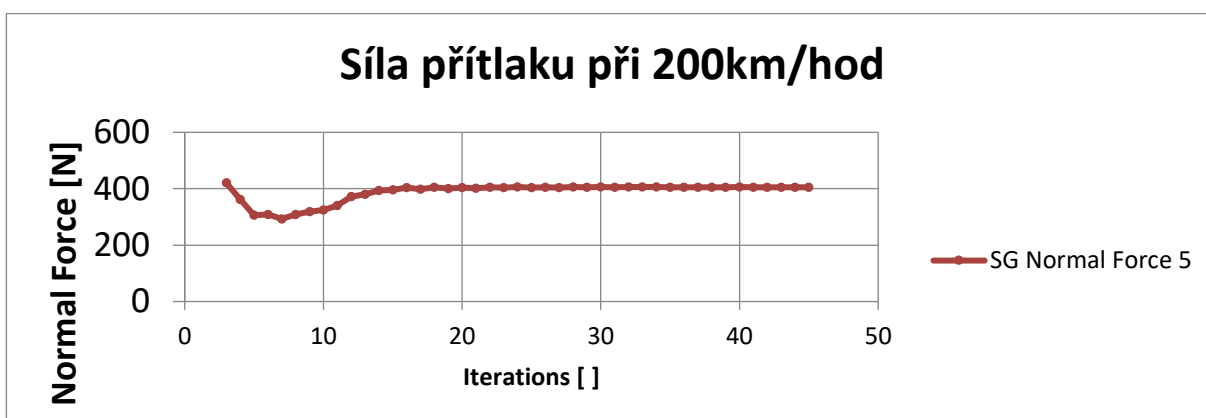


Graf 3 Grafické znázornění sil působících na vložené přitlačné křídlo směrem dolů



Obr. 88: CFD proudění při 200 km/h

Dle měření vychází přítlak vloženého jednostranného křídla na hodnotu 405 N. Což se jeví jako úspěšný výsledek potvrzující první hypotézu.



Graf 4 Grafické znázornění sil působících na vložené přítlačné křídlo směrem dolů

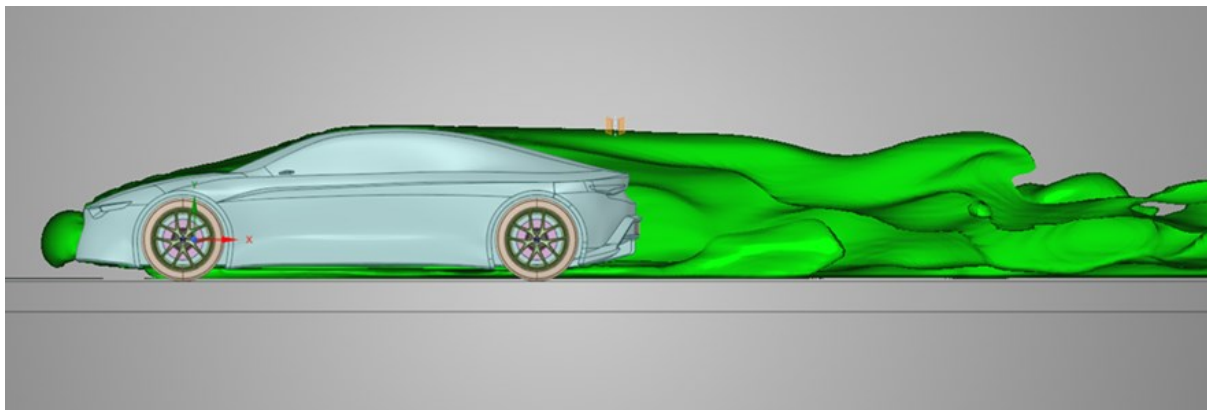
8.3 Vyhodnocení měření přítlaku a potvrzení hypotézy generování přítlaku a lepšího rozložení tlaku

U běžných vozů není vhodné použití přítlačných křidel nejen kvůli zvýšení výrobních nákladů, ale především kvůli zvýšení odporu vzduchu. Navržené řešení ovšem disponuje vloženým přítlačným křídlem v místě největšího tlaku na přední masku a využívá jej tak ve svůj prospěch. Aerodynamický odpor není vyšší, než by byl u běžného řešení masky. Hodnota přítlaku přední části vozidla se ovšem zvýšila. Ve vysokých rychlostech dané řešení zvyšuje přítlak přední říditelné nápravy, zlepšuje ovladatelnost a zvyšuje bezpečnost při vyšších cestovních rychlostech.

V poslední části výzkumu bude třeba ověřit, zda zvýšený přítlak nezhoršil celkový odpor vzduchu vozidla.

8.4 Celková aerodynamika vozu

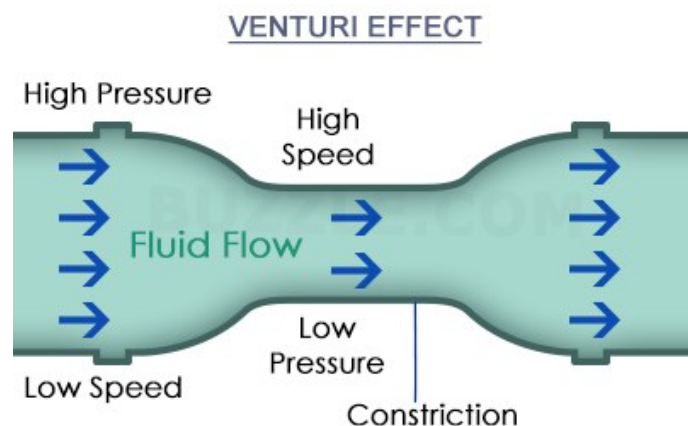
V průběhu vývoje byly vytvářeny a zkoušeny variantní řešení karoserie na kterých se testovali různá tvarová schémata. Navržený vůz využívá pro lepší přítlak vozu difuzor mezi zadní nápravou umožňující přirozené zvýšení přítlaku na zadní nápravu. Toto řešení je v současnosti u vrcholných sportovních vozů standardem, z toho důvodu nebyla těmto měřením přikládána tak vysoká výzkumná váha jako tomu je u unikátního řešení přední části vozu.



Obr. 89: CFD obtékání vozu u staršího typu karoserie– Software Ansys, Z toho důvodu bylo nutné simulace zopakovat v programu Flow design a Flow Simulation SolidWorks

8.5 Zadní přítlačný difuzor

Úlohou difuzoru na voze je urychlit proudění vzduchu pod vozem a vytvořit tak oblast s nízkým tlakem, čímž se vytváří přítlak. Funkce je založena na principu Venturiho trubice. I přesto, že řešení podvozků automobilů tvarově plně neodpovídá tvaru trubice a difuzor na vozidle je otevřený, jeho spodní část tvoří samotná vozovka. Pomocí tohoto efektu klesá tlak v zadní části vozu až do záporných hodnot a začne generovat přítlak. Rychlost proudění vzduchu pod vozidlem se zvyšuje a vyrovná rychlost proudění nad vozidlem a díky tomu se snižují vzdušné turbulence v oblasti za vozidlem, kde se oba proudy mísí. (Kovanda, 1999)



Obr. 90: Venturiho efekt [65]

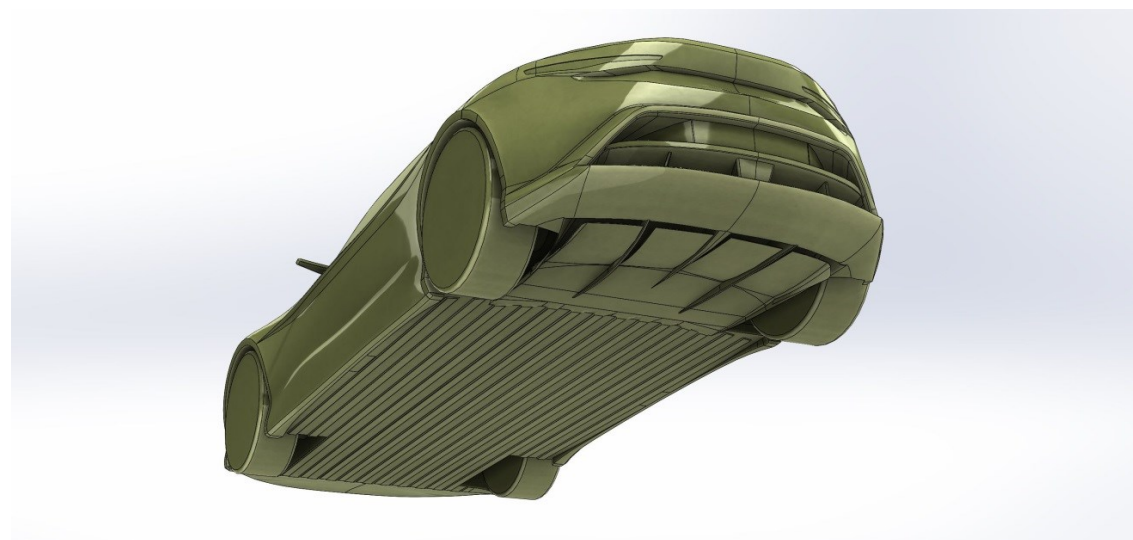
8.5.1 Navrhované varianty přitlačných difuzorů

Pro vůz byly navrženy čtyři různé varianty, u kterých proběhlo testování efektivity přitlaku. Varianta A – difuzor „Typ A“ byl navržen jako kombinace Venturiho trubice a vloženého přitlačného křídla. Lamely jsou vedeny do tvaru trychtýře, vložené přitlačné křídlo na zadní části m rozděluje proudění na dvě části.



Obr. 91: Difuzor „Typ A“

Varianta B – tento difuzor je variantou A s využitím prvku aktivní aerodynamiky, v difuzoru jsou umístěny aktivní klapky, které v rychlostech do 90 km/h zarovnávají spodní část vozu za účelem snížení spotřeby energie vozu v nižších rychlostech.



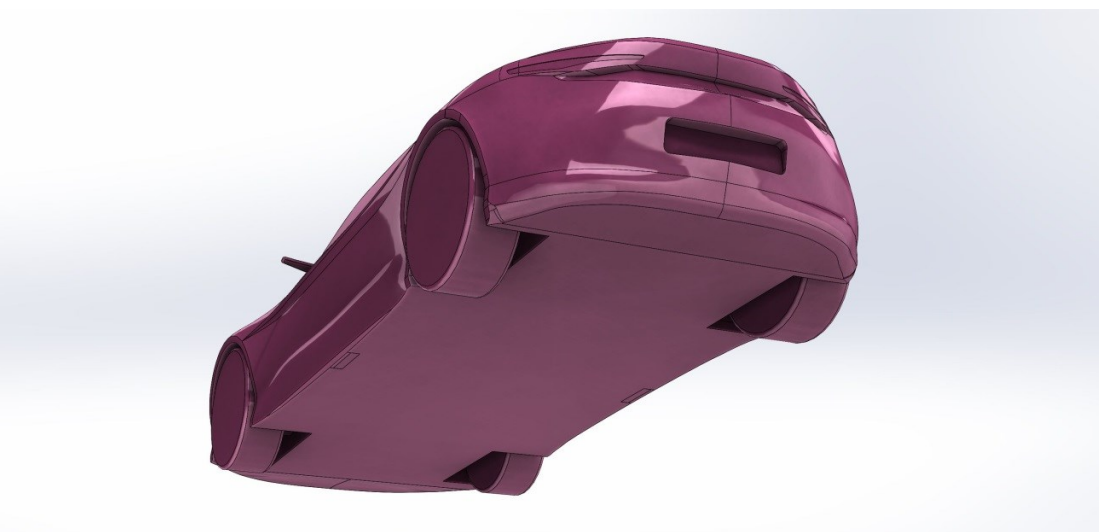
Obr. 92: Difuzor „Typ B“

Varianta C – čtvrtou variantou je aplikace klasického přitlačného difuzoru s běžných podélných lamel. Jedná se o nejrozšířenější řešení aerodynamiky u supersportovních vozů.



Obr. 93: Difuzor „Typ C“

Varianta D – poslední variantou je typ E záměrně vytvořen s absencí jakéhokoliv difuzoru. Zkosení nárazníku bylo vytvořeno pouze za účelem zlepšení nájezdových úhlů. Tato varianta slouží především k porovnání výsledků mezi běžnými a sportovními vozy.



Obr. 94: Difuzor „Typ D“

Pro účely pojednání k disertační práci je znázorněno pouze měření nejefektivnějšího typu difuzoru. Analýza byla provedena za pomoci programu Ansys. (Obr. 95.) Červená linie ohraničuje zkoumanou oblast funkční plochy difuzoru, které generují přítlak vozu k vozovce.

Z náhledu je patrné, že hodnoty v oblasti difuzoru se dostávají do záporných hodnot, což značí správnou funkci difuzoru generující přítlačnou sílu. Vložené křídlo negativně neovlivňuje aerodynamiku vozu. Tato vizualizace zobrazuje hodnoty tlaku pod vozidlem při rychlosti 160 km/h. Výsledná síla tlačící vůz k vozovce dle měření činí 1220,5 N. Tato varianta se jeví jako nejefektivnější a měla by být realizována na reálném vozidle.



Obr. 95: Vyobrazení varianty „A“ v programu Flow design (pohled spodní)

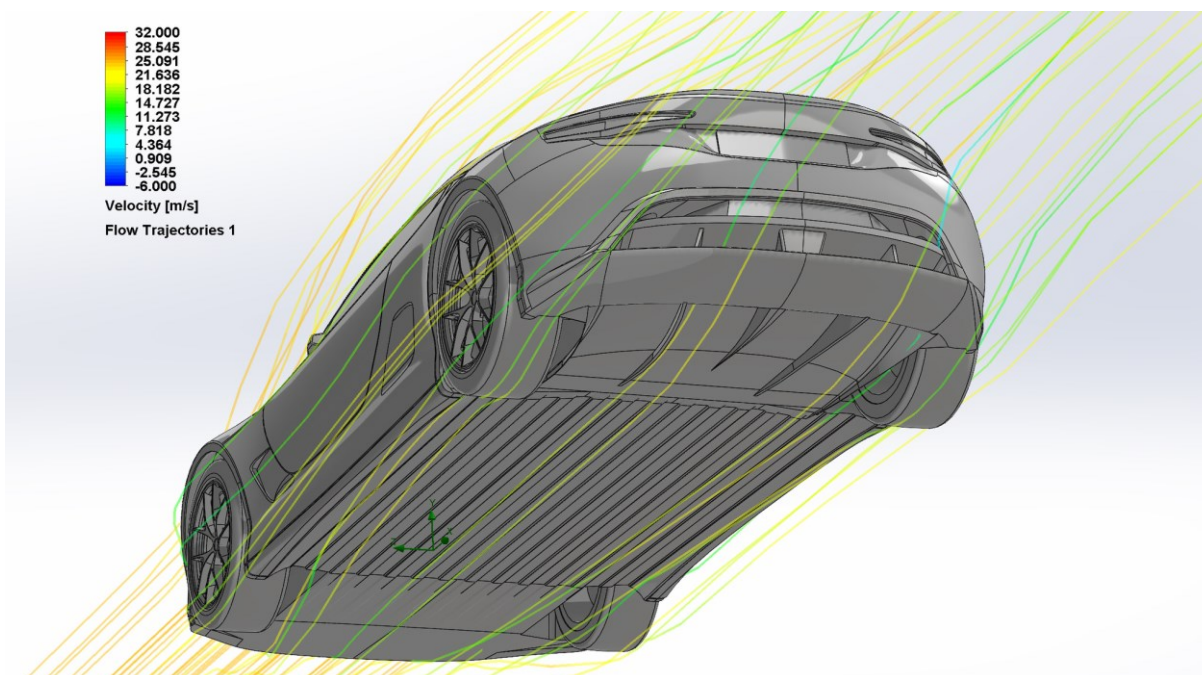
Výsledky shrnutí měření přítlaku shrnuje tabulka č. 1. Varianta A byla od počátku preferována pro své poměrně neobvyklé tvarové řešení. Výsledky potvrdili zajímavý potenciál zakroucených lamel vozu a vloženého křídla. Varianta B by byla vhodná pro úspornou ekonomickou jízdu na rovinných úsecích, při kterých nehrozí vyjetí z jízdní dráhy. Varianta C kopíruje standartní praxi uplatněnou u konkurence. Přítlak je ovšem nižší než u nejoriginálnější varianty A. Varianta D se přibližuje tvaru běžných vozů, nejnižší hodnoty byly očekávatelné. Výpočty byly provedeny v programu Flow design.

Tab. 1 výsledné síly působící na jednotlivé typy difuzorů při 160 km/h

Název	Výsledná síla
Varianta A	-1220,5 N
Varianta B	199,6 N
Varianta C	-919,5 N
Varianta D	187,22 N

8.6 Potvrzení třetí hypotézy

Naměřené výsledky potvrzují druhou hypotézu, že zakroucené lamely difuzoru zlepšují přítlak konvenčního řešení s rovnými lamelami. Zakroucení lamel je patrné na obrázku 96 u, kterého jsou vyobrazeny i některé proudnice.



Obr. 96: Ilustrační vyobrazení chování menšího počtu proudnic u varianty „A“ v modulu Flow Simulation SolidWorks (pohled spodní)

8.7 Měření aerodynamického odporu elektromobilu Titan

Pro zjištění aerodynamických vlastností karoserie se využívá výpočtu tzv. Aerodynamického koeficientu, který se používá jako srovnávací veličina mezi vozy. Nižší koeficient znamená nižší odpor vzduchu a nižší spotřebu, vyšší koeficient naopak spotřebu zvyšuje. U sportovních vozů je koeficient odporu paradoxně poměrně vysoký i přes špičkovou aerodynamiku. Je to z důvodu implementace přitlačných křídel nebo difuzorů které tlačí vůz k zemi, ale zároveň zvyšují spotřebu. Z toho důvodu není tak jednoduché navrhnout dokonalý vůz. Vozy Formule 1 z těchto důvodů používají různé nastavení úhlů přitlačných křídel. Nejlepší týmy na světě využívají perfektní kompromis mezi vysokým přitlakem a nízkým aerodynamickým odporem.

8.8 Přesnost měření

Měření naprosto přesného koeficientu odporu a celkové aerodynamiky lze považovat za samostatnou vědní disciplínu, které je svým obsahem tak obsáhlá, že o které by se mohla zabývat další disertační práce. Smyslem této disertační práce nicméně není navrhnout vůz s nejnižším koeficientem odporu, ale vůz, který využívá designérského prvku ke zlepšení jízdních vlastností.

Velikost aerodynamického odporu se charakterizuje podle součinitele aerodynamického odporu C_d .

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
CDx	0.309158	Achieved (IT = 125)	0.0876073	0.310269

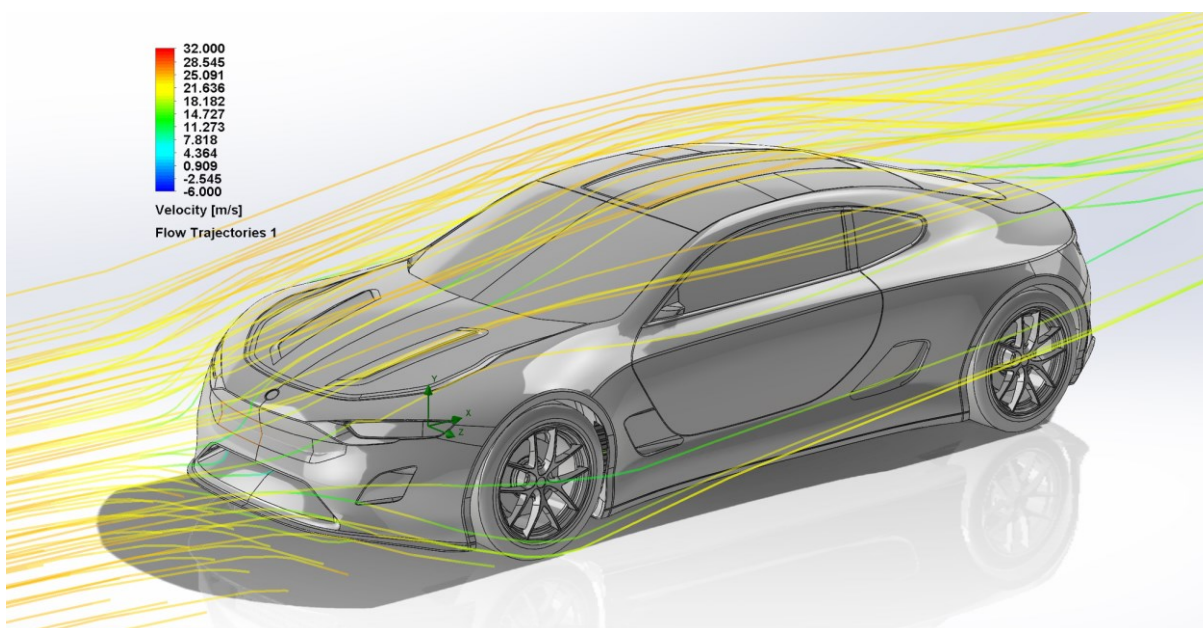
Obr. 97: Verze s vloženým jednostranným křídlem (celková průměrná hodnota ohraničena červeně)

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
CDx	0.330725	Achieved (IT = 134)	0.0810887	0.336713

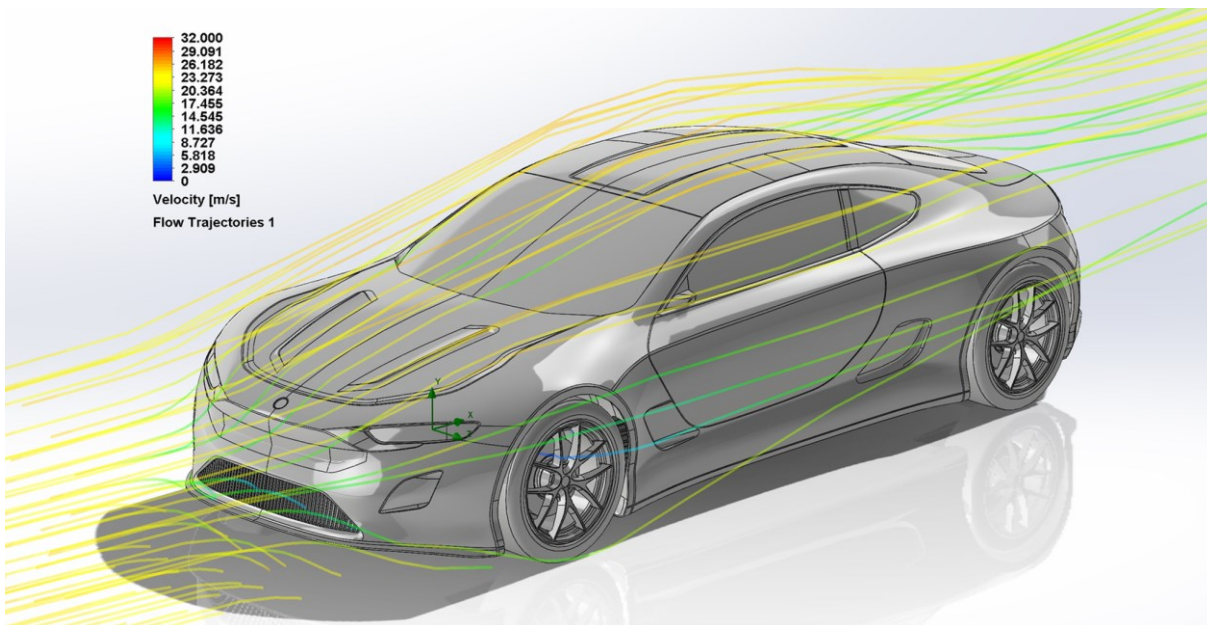
Obr. 98: Verze s běžnou maskou (celková průměrná hodnota ohraničena červeně)

8.9 Potvrzení závěrečné části hypotézy

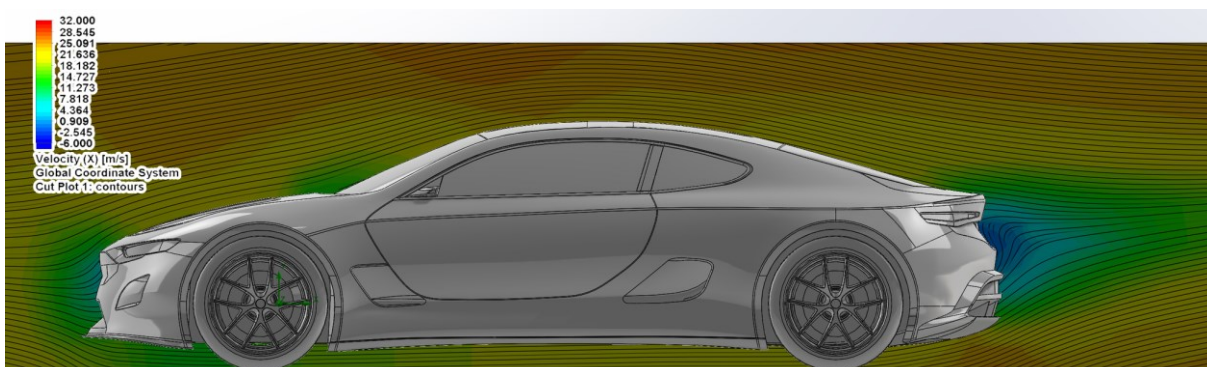
Výsledky zřetelně ukazují že varianta s vloženým jednostranným přítlačným křídlem má nižší koeficient odporu než konvenční řešení masky. Navržené celkové komplexní řešení tedy nejen že generuje přítlak, kterým zlepšuje ovladatelnost vozu, ale zároveň i snižuje spotřebu vozu. Výsledky byly naměřeny v modulu Flow Simulation SolidWorks.



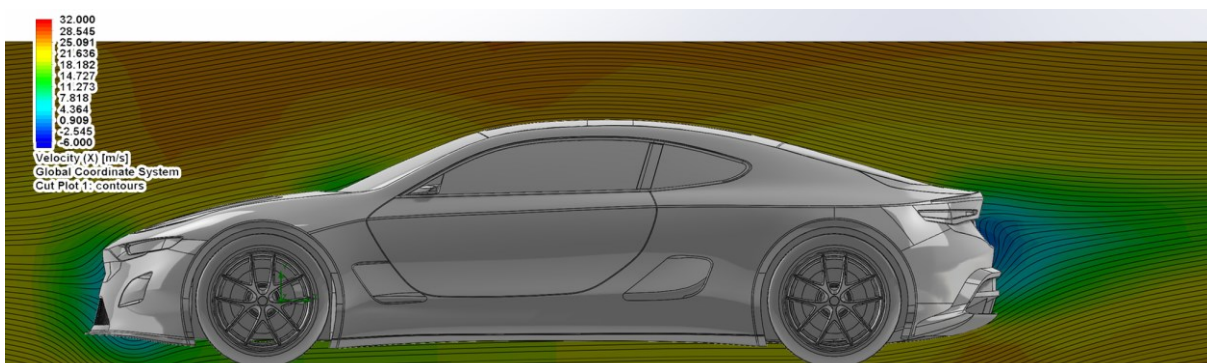
Obr. 99: Verze s vloženým jednostranným křídlem (ilustrace proudnic) $C_d=0.31$



Obr. 100: Verze s běžnou maskou (ilustrace proudnic) $C_d=0.34$



Obr. 101: Simulace proudění rychlosti vzduchu. Verze s křídlem ($C_d=0.31$)



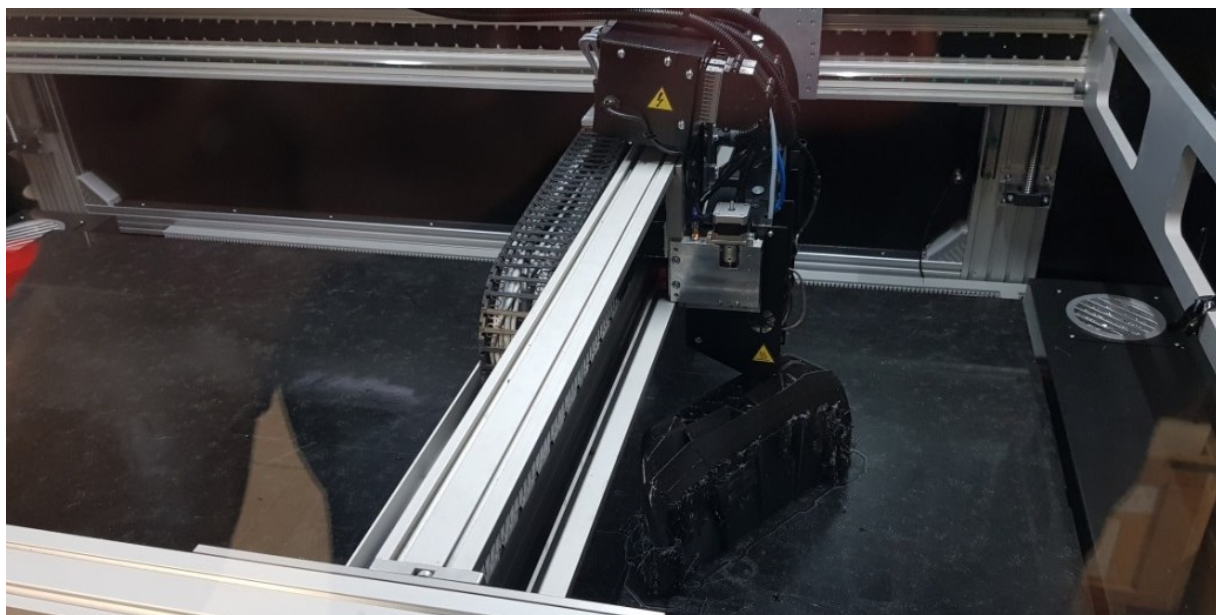
Obr. 102: Simulace proudění rychlosti vzduchu. Verze s běžnou maskou ($C_d=0.34$)

8.9.1 Výroba makety vozu na velkoformátové 3D tiskárně

I přes pokročilou simulaci ve virtuální projekci bylo třeba vytvořit model vozu v měřítku 1:4 za účelem možnosti prezentace modelu pro více účastníků. Výhodou zmenšeniny je neomezený počet pozorovatelů a snadná pochopitelnost pro všechny účastníky bez rizika vzniku nevolnosti. Nevýhodou jsou ovšem optické nepoměry jednotlivých částí nebo komponentů, které zkreslují úsudek a mohou být zavádějící. Z těchto důvodů je maketa vozu vhodná především pro méně technické konzultace a prezentační účely. Dále byl model využit k testování odstínů povrchového laku, čímž jsou eliminovány možnosti chyby ve výběru odstínů.

Modelové makety vozů v měřítku se zpravidla vyrábějí za pomoci frézování mohutných bloků materiálu, často vrstvených a lepených ze 40 mm MDF desek. Nevýhodou těchto modelů je velmi vysoká hmotnost a vysoká inženýrská náročnost na programování. Zároveň nelze frézovat složitější dutiny s negativními úkoly, nebo zhoršeným přístupem pro nástroj.

Z důvodu složitosti tvarových dutin byl tento model prototypován na velkoformátové 3D tiskárně, která zároveň umožnila vyzkoušení skladebnosti dělení jednotlivých částí karoserie tak jako to bude i ve skutečnosti. Zároveň se od tištěného modelu v měřítku 1:4 očekává dlouhodobá trvanlivost, odolnost a tvarová stálost. Tištěná maketa disponuje nižší hmotností a umožňuje navrhování subtilnějších tvarů, které jsou důležité z pohledu aerodynamiky či chlazení vozu. Jednotlivé díly byly tisknuty FMD metodou převážně na velkoformátové tiskárně ATMAT.



Obr. 103: Tisk zadního difuzoru na velkoformátové tiskárně ATMAT



Obr. 104: První velkoformátový 3D tisk -přední nárazník (PET)



Obr. 105: Vybroušení první vrstvy polyesterového tmelu

8.9.2 Finalizace zmenšeniny vozu

Nevýhodou FMD tiskárny jsou nepřesnosti vznikající při tisku, které je třeba redukovat tmelením kompletní karoserie. Po tmelení, broušení a opětovném tmelení detailů nastává čas lakování, který si vyžaduje pečlivou přípravu, mnoho vrstev a neustálou kontrolu kvality ploch a tvarů.



Obr. 106: Lakování makety modelu Titan 1:4 - nástřik bílý plnič



Obr. 107: Lakování makety modelu Titan 1:4 -nástržik šedá základní



Obr. 108: Lakování makety modelu Titan 1:4 vybrušování ploch pod vodou



Obr. 109: Lakování makety modelu Titan 1:4 stříbrný lak



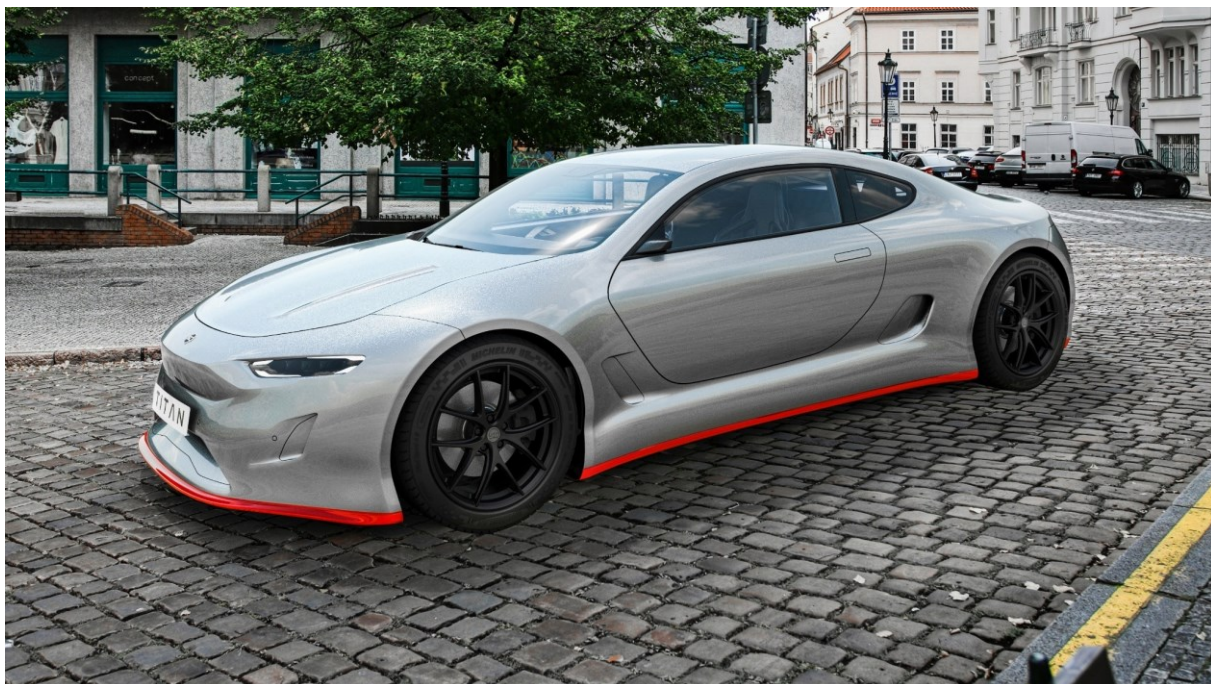
Obr. 110: Finální maketa vozu v měřítku 1:4



Obr. 111: Finální maketa vozu v měřítku 1:4

8.9.3 Finální vizualizace vozu StudentCar Titan

Pro simulaci vozu v reálném prostředí byl využit specializovaný renderovací software KeyShot 10. Vzhledem k charakteru vysoko výkonového elektromobilu byly pro minimalizaci aerodynamického odporu zakomponovány boční snímací kamery do prostoru dělení bočních skel dveří. Zároveň byl konkretizován návrh svítlen a světlometů využívající možnosti pasivního chlazení a LED technologie.



Obr. 112: Exteriér vozu



Obr. 113: Exteriér vozu



Obr. 114: Exteriér vozu



Obr. 115: Exteriér vozu

Světlomety

Pro vůz byly pochopitelně navrženy i světlomety ve spolupráci s Varroc Lighting Systems, s.r.o. Na základě designérského návrhu, vypracoval konstrukční tým řešení zadních svítilen a předních světlometů.



Obr. 116: Zadní svítilny Titan



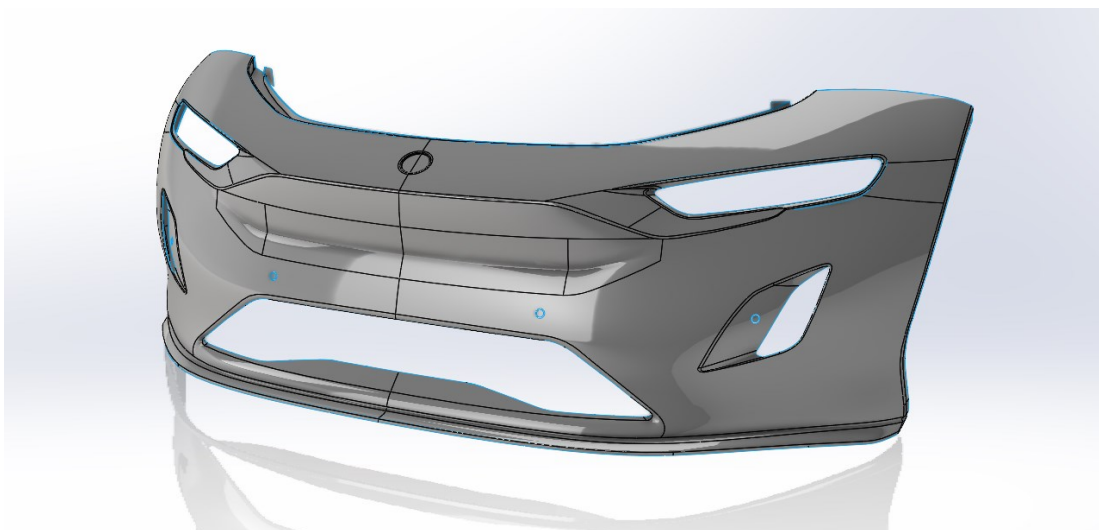
Obr. 117: Přední světlometry Titan – Příprava práškového 3D tisku

8.10 Příprava výroby karoserie

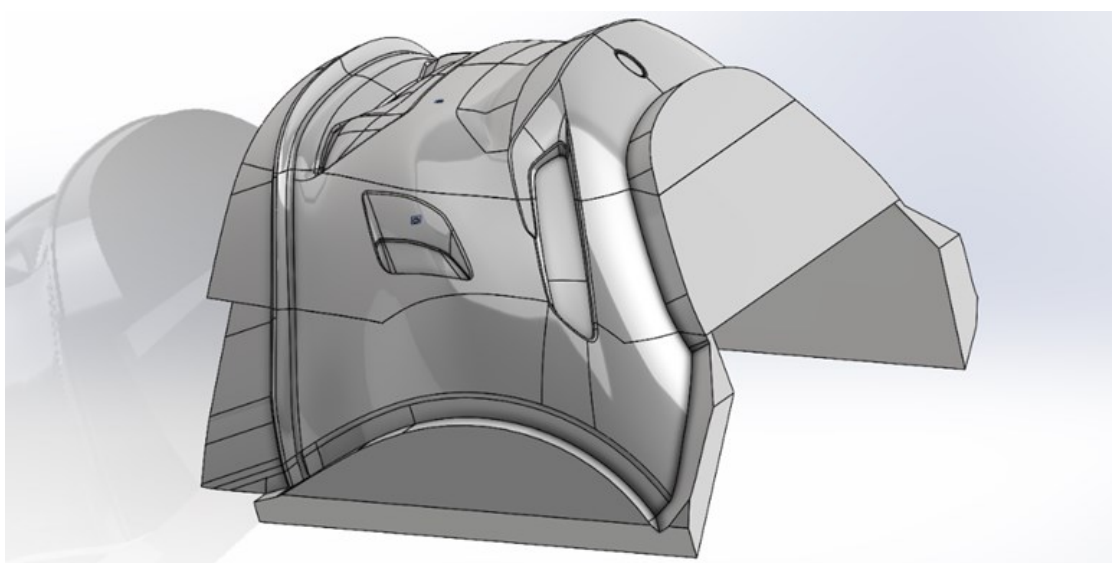
Celý vůz byl navržen s ohledem na vyrobiteľnosť a použiteľnosť v reálnom provozu. Z toho dôvodu je v práci reflektovaný i proces prípravy výroby.

Forma predného nárazníku vozu bude sestavena ze speciálních SIKa bloků a následně frézována do dokonalého povrchu. Následně bude nanesen tzv. gelcoat a posléze bude z pozitivu sejmutý negativ vyrobený ze sklolaminátu. Forma musela být zvětšena o 1,5 % kvůli smrštivosti sklolaminátu. Následně bude po separaci do sklolaminátové formy otisknut sklolaminátový nárazník-tedy finální výrobek.

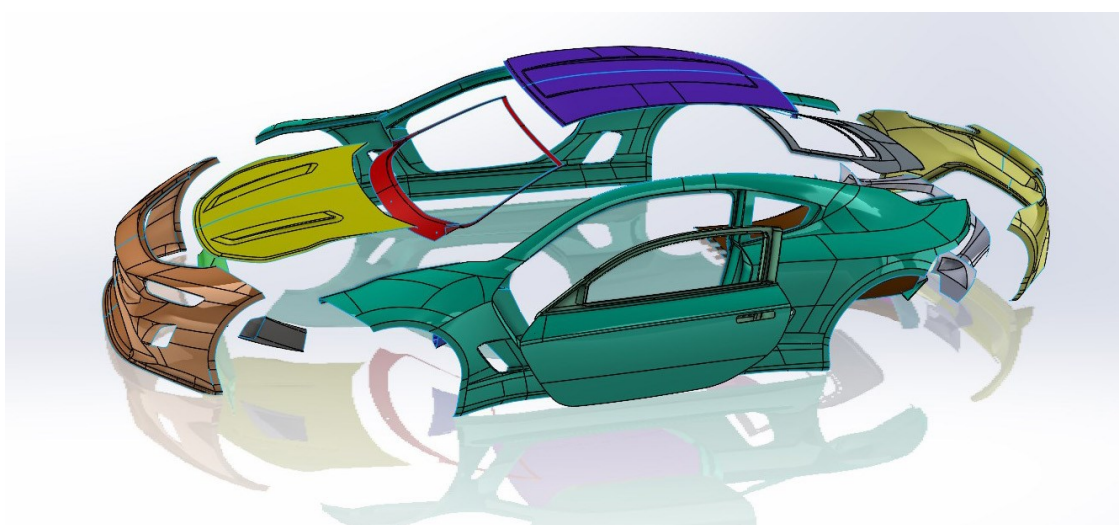
Z finančných i geopolitických dôvodů nebylo možné využit technologie uhlíkových kompozitů. S ohledem na nižší finanční náročnosť byla zvolena technologie sklolaminátových kompozitů. Všetchny práce, vývoj a konzultace byli zajištěny ve spolupráci se společností FORM s.r.o. Horní Lideč. Ukázkovým dílem je virtuální konstrukční návrh predného nárazníku, ze kterého bude vyrobena matrice. (pozitiv) Z matrice bude posléze sejmuta sklolaminátová forma (negativ) od které bude po separaci vylaminován finální výrobek odpovídající virtuálním modelu.



Obr. 118: Požadovaný návrh výrobku ze sklolaminátu o síle stěny skořepiny 3 mm

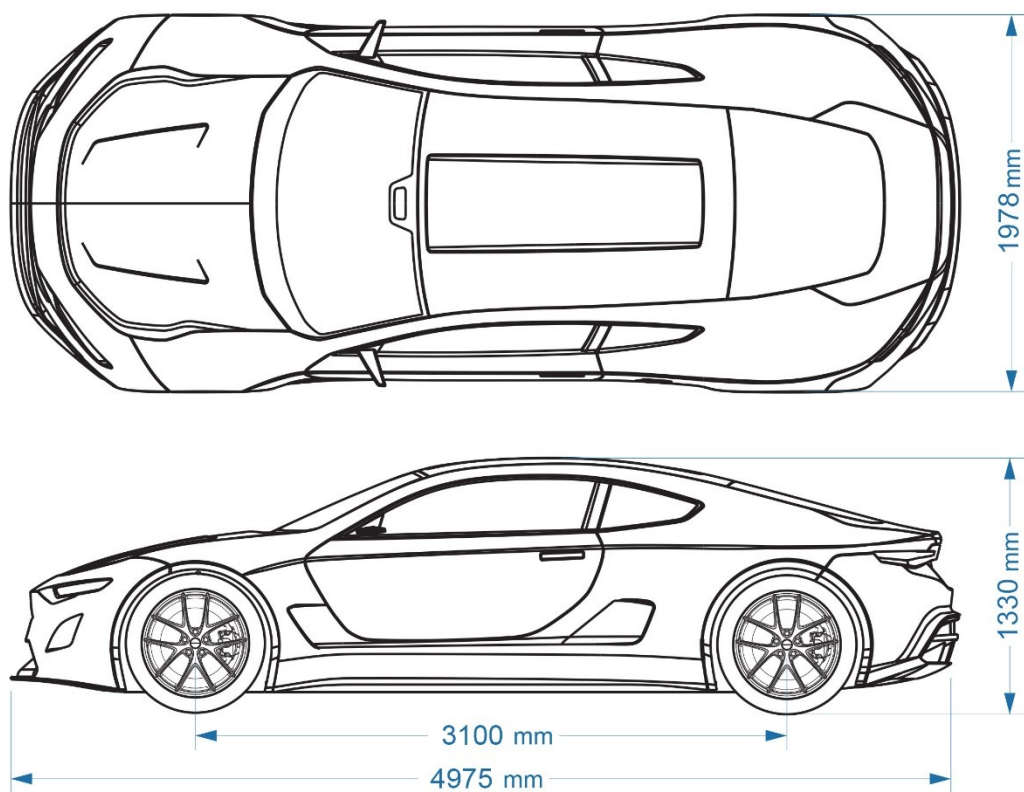


Obr. 119: Návrh pozitivní formy pro výrobu sklolaminátové formy



Obr. 120: Požadovaný návrh výrobků ze sklolaminátu pro sílu stěny skořepiny 3 mm

8.11 Zjednodušený technický výkres elektromobilu SC Titan



Obr. 121: Náhled základních rozměrů vozu StudentCar Titan

PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE

Přínos vědě

Výzkum osvětluje možnosti funkčního uplatnění designérských inovací na vědeckých projektech s přesnými výsledky. Výzkum proudění vzduchu ukázal jednoznačné zlepšení zkoumaných parametrů u nového návrhu masky ve srovnání s konvenčním řešením.

Přínos pro praxi

Spolupráce s českými společnostmi Hanon Systems Autopal s.r.o., EVC Group s.r.o., a Varroc Lighting Systems, s.r.o. vykazuje ideální cestu spolupráce firem a univerzit.

Přínos pro pedagogiku

Projekt je ukázkovým příkladem aplikace designu ve vědecké a firemní praxi. Na toto téma navazovala disertační, diplomová i bakalářská práce. Studenti zapojení v realizaci se učí navrhování, konstrukci a stavbě automobilů. Zároveň jsou spoluúčastníci projektu mnohem lépe uplatnitelní v praxi. Přímá podpora a výchova konstruktérů, vědeckých a výzkumných pracovníků pro české firmy a instituce nastiňuje naplňování cílů Průmyslu 4.0.

ZÁVĚR

Navrhování vozidel s sebou nese celou řadu komplikovaných aspektů, které do vývoje zasahují. Teorii tvarování vozidel nelze vždy uplatnit v reálné praxi. Fyzikální omezení umožňují jen určité tvarování objektu. Testy pasivní bezpečnosti, a především crash testy podněcují zmožňování vozů a rozšiřování deformačních zón. Bateriový pack, pohonné jednotky a obsáhlé příslušenství zaplňují výrazný objem vozidla. Předpisy EHK přímo definují oblasti pro povinné osazení klíčových prvků a komplexně omezují celý výsledný vzhled vozidla. Z těchto důvodů je i v souvislosti s masivní konkurencí nesmírně náročné inovovat tak zdokonalovaný produkt, jako je elektromobil. Finanční omezení jsou neúprosná, a proto bylo třeba hledat cestu, která nezdrazí vývoj a přirozeně zapadne do celé koncepce. Jako klíčový prvek vozu se projevilo unikátní řešení přední masky, které bylo pro svůj potenciál zvoleno jako hlavní část výzkumného zájmu.

Testy ukázaly jednoznačné výsledky, které předpokládala designérská teorie tvarování vozu. Všechny hypotézy byly úspěšně potvrzeny výzkumem. Design vozu s jednostranným přitlačným křídlem v oblasti masky přispěl ke zlepšení všech zkoumaných parametrů.

Tato práce sekundárně reflektuje široké možnosti designéra, který je za pomoci komplexních analytických a konstrukčních softwarů schopen sám navrhovat a testovat experimentální tvarové řešení. Nové vývojářské nástroje umožňují zefektivňovat komunikaci mezi konstruktérem a designérem, zrychlovat vývoj a eliminovat chyby, které nastávají při vývoji takto nesmírně komplikovaných technologických ústrojích.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BABORSKÝ, Jiří. Vision E není první elektrická Škoda. Škoda Eltra 151 L: Elektrický Favorit měl čtystupňovou převodovku. In: *auto.cz* [online]. CZECH NEWS CENTER a.s. ©2020 [cit. 21. 10. 2021]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/skoda-eltra-151-l-elektricky-favorit-mel-ctystupnovou-prevodovku-134442>

BAER, Drake. The making of Tesla: invention, betrayal and the birth of the roadster. In: *businessinsider.com* [online]. Insider Inc., ©2014 [cit. 20. 7. 2018]. Dostupné z: <https://www.businessinsider.com/tesla-the-origin-story-2014-10>

BELL, Sebastian. Rimac Completes The Final U.S. Crash Test For The Nevera Supercar. In: *carscoop.com* [online] Carscoops. ©2022. 17. 2. 22 [cit. 5. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.carscoops.com/2022/02/rimac-completes-the-final-u-s-crash-test-for-the-nevera-supercar/>

BERMAN, Bradley. Ford Electric Cars: Past, Present and Future. In: *insideevs.com* [online] insideevs ©2019. 22. 1. 2019 [cit. 22. 11. 2019]. Dostupné z: <https://insideevs.com/features/342330/ford-electric-cars-past-present-and-future/>

BLACK, Frank. AC propulsion – the quiet revolutionaries. In: *evworld.com* [online]. EVWORLD.COM. 27th october ©2009 [cit. 20. 7. 2018]. Dostupné online z: <https://evworld.com/article.cfm?storyid=1772>

BURÁŇ, Michal. Aplikace hliníkových slitin při konstrukci samonosného bateriového boxu pro elektromobily [online]. Ostrava, 2022 [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/148532>. Disertační práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

BUSVINE, Douglas. Audi to invest 14 billion euros in e-mobility, self-driving cars. In: *reuters.com* [online]. Reuters, ©2018 [cit. 1. 2. 2019]. Dostupné z: <https://www.reuters.com/article/us-audi-strategy-idUSKBN1O30Q8>

DITTRICH, Lukáš. Vision E není první elektrická Škoda. Přečtěte si příběh Škody Eltra a Shortcut In: *autobible.euro.cz* [online]. Internet Info, s.r.o. ©2017 [cit. 21. 10. 2021]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/vision-e-neni-prvni-elektricka-skoda-precete-si-pribeh-skody-eltra-shortcut/>

DUSIL, Tomáš. Škoda Shortcut: Tohle je první elektrická Škoda! Znáte raritní elektrofavorit?. In: *auto.cz* [online]. CZECH NEWS CENTER a.s. ©2017 [cit. 21. 10. 2021]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/skoda-shortcut-tohle-je-prvni-elektricka-skoda-znate-raritni-elektrofavorit-104095>

EDDY, Nathan. VW plans to restart sales of e-Up electric minicar as demand surges for affordable EVs In: *europe.autonews.com* [online]. Crain

Communications, Inc., ©2022 [cit. 6. 5. 2022]. Dostupné z: <https://europe.autonews.com/automakers/vw-plans-restart-sales-e-electric-minicar-demand-surges-affordable-evs>

EWING, Jack. BMW Has Fallen Behind in the Electric Vehicle Race. Can It Catch Up? In: *nytimes.com* [online]. The New York Times Company, ©2021 [cit. 7. 5. 2022]. Dostupné z: <https://www.nytimes.com/2021/08/10/business/bmw-electric-car.html>

FERNIE, Michael. Drag Coefficients Explained: Which Kind Of Car Is Slippiest? In: *carthrottle.com* [online]. carthrottle.com, ©2016 [cit. 3. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.carthrottle.com/post/drag-coefficients-explained-which-kind-of-car-is-slippiest/>

GERTZ, Marisa. GREINER, Melinda. 171 Years Before Tesla: The Evolution of Electric Vehicles. In: *bloomberg.com* [online]. Bloomberg L.P., ©2019 [cit. 5. 10. 2019]. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/news/photo-essays/2019-01-05/171-years-before-tesla-the-evolution-of-electric-vehicles>

GOLDBERGER, Paul. Driving the EV1-On the road with General-Motors' electric car. ARCHITECTURAL DIGEST. May 1998, Vol. 55, is. 5, s. 116-117. ISSN: 0003-8520.

HIRSCH, Jerry. Elon Musk's growing empire is fueled by \$4.9 billion in government subsidies. In: *latimes.com* [online] ©2015 [cit. 5. 3. 2018]. Dostupné z: <https://www.latimes.com/business/la-fi-hy-musk-subsidies-20150531-story.html>

HOLLOWAY, Hilton. Smart Fortwo and Bugatti Veyron head up list of top loss-making cars. In: *autocar.com* [online]. Autocar, Haymarket Media Group ©2013 [cit. 20. 7. 2018]. Dostupné z: <https://www.autocar.co.uk/car-news/industry/smart-fortwo-and-bugatti-veyron-head-list-top-loss-making-cars>

HØYER, Karl Georg. The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. *Utilities Policy*, June 2008, Vol. 16, is. 2, s. 63-71. ISSN: 0957-1787.

CHARLTON, Alistair. Porsche Beats Tesla's Nurburgring EV Record With Taycan Turbo S. In: *forbes.com* [online] MediaRey, SE. ©2022. 10. 8. 22 [cit. 25. 8. 2022]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/alistaircharlton/2022/08/10/porsche-beats-tesla-nurburgring-ev-record-with-taycan-turbo-s/?sh=7ace37294a07>

KANTOR, Vojtěch. Návrh a výroba prototypu dveří elektromobilu Titan - reengineering [online]. Ostrava, 2021 [cit. 2022-08-06]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/144337>. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

KOROSEK, Kristen. Tesla has a new kind of buyer. In: *fortune.com* [online]. Fortune Media IP, ©2015 [cit. 1. 3. 2018]. Dostupné z: <https://fortune.com/2015/07/29/tesla-millennials/>

KOVANDA, Bohuslav a Jan KOVANDA. Aerodynamika vozidel. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. ISBN 80-01-01942-X.

LAGO, Carlos. Tesla vs Fisker: The Epilogue (Or, Why Tesla Owes Fisker \$1.1 Million). In: *motortrend.com* [online] MOTOR TREND GROUP, LLC. ©2018. 5. 12. 2008 [cit. 9. 10. 2017]. Dostupné z: <https://www.motortrend.com/news/tesla-vs-fisker-the-epilogue-or-why-tesla-owes-fisker-11-million-3052/>

LAMBERT, Fred. VW ends production of electric e-Golf in favor of new ID.3. In: *electrek.co* [online]. Electrek, ©2021 [cit. 6. 5. 2022]. Dostupné z: <https://electrek.co/2020/12/23/vw-ends-production-electric-e-golf-favor-id3/>

LAMBERT, Fred. Lucid unveils its electric sedan called 'Air': 400 miles of range, 1000 hp, 'autonomous-ready' and 'more than \$100,000'. In: *electrek.co* [online]. Electrek, ©2016 [cit. 2. 5. 2021]. Dostupné z: <https://electrek.co/2016/12/14/lucid-air-electric-sedan-range-price/>

LASÍK, Jindřich. Výročí Křižíkova elektromobilu. In: *autoperiskop.cz* [online]. Svět v bezpečí s.r.o., ©2000 [cit. 21. 7. 2018]. Dostupné z: <https://autoperiskop.cz/vyroci-krizikova-elektromobilu/>

LOVEDAY, Eric. 2011 Nissan LEAF: Design Aimed at Mainstream Appeal. In: *greencarreports.com* [online]. MH Sub I, LLC, ©2009 [cit. 15. 8. 2018]. Dostupné z: https://www.greencarreports.com/news/1033843_2011-nissan-leaf-design-aimed-at-mainstream-appeal

LOVEDAY, Steven. Turns Out Tesla Actually Made An Electric Smart Fortwo That Could Do Wheelies. In: *insideevs.com* [online]. InsideEVs.com, ©2017 [cit. 5. 5. 2020]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/331390/turns-out-tesla-actually-made-an-electric-smart-fortwo-that-could-do-wheelies/>

MÁCHA, Jiří. Návrh, implementace a realizace aplikace snímacích kamer nahrazující zpětné zrcátka elektromobilu Titan [online]. Ostrava, 2021 [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/144183>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN) č. 121 – Jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska jejich vnějších výčnělků

PULMAN, Ben. Renault Zoe ZE electric concept at 2009 Frankfurt motor show. In: *carmagazine.co.uk* [online]. Bauer Media Group, ©2009 [cit. 16. 8. 2018]. Dostupné z: <https://www.carmagazine.co.uk/car-news/first-official-pictures/renault/renault-zoe-ze-electric-concept-at-2009-frankfurt-motor-show/>

RADU, Vlad. The American-Built CitiCar Was an EV That Sold by the Thousands in the 1970s. In: *autoevolution.com* [online]. SoftNews Net SRL., ©2021 [cit. 20. 10. 2021]. Dostupné z: <https://www.autoevolution.com/news/the-american-built-citicar-was-an-ev-that-sold-by-the-thousands-in-the-1970s-169045.html>

Renault Group [online]. ©2022 [cit. 5. 5. 2022]. Dostupné z: <https://www.renaultgroup.com/en/finance-2/key-figures/monthly-sales/>

Renault Group [online]. ©2020 [cit. 15. 1. 2021]. Dostupné z: <https://en.media.groupe.renault.com/news/renault-leader-of-ev-sales-in-europe-9c0d-989c5.html>

SHAHAN, Zachary. Electric Car Evolution. In: *cleantechnica.com* [online] Sustainable Enterprises Media, Inc. ©2015. 26. 4. 2015 [cit. 22. 7. 2018]. Dostupné z: <https://cleantechnica.com/2015/04/26/electric-car-history/>

SCHOPPERT, Stephanie. Thomas Parker Invented the First Electric Car in 1884. In: *historycollection.com* [online]. Spike Media, ©2017 [cit. 25. 7. 2018]. Dostupné z: <https://historycollection.com/thomas-parker-invented-first-electric-car-1884/2/>

SOCHOR, Jan. Vývoj auta trvá tři a půl roku a přijde na miliardy. Rozbije se při něm 150 vozů. In: *hn.cz* [online]. Hospodářské Noviny, Economia, a.s. ©2013 [cit. 1. 3. 2018]. Dostupné z: <https://auto.hn.cz/c1-59663620-vyvoj-auta-trva-tri-a-pul-roku-rozbije-se-150-vozu>

ŠUMAN-HREBLAY, Marián. Tatra: nákladní a užitková vozidla, autobusy a trolejbusy. 2. vyd. Brno: CPress, 2012. Autosalon (Computer Press). ISBN 978-80-264-0136-0.

Tesla Inc. ©2012 [cit. 25. 1. 2019]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20160516203427/http://ir.teslamotors.com/secfiling.cfm?filingid=1193125-13-96241&cik=>

THOMAS, V. J. MAINE, Elicia. Market entry strategies for electric vehicle start-ups in the automotive industry - Lessons from Tesla Motors. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION. October 2019 Vol. 235 s. 653-663. ISSN: 0959-6526.

THOMPSON, Cadie. How the electric car became the future of transportation. In: *businessinsider.com* [online]. Insider Inc., ©2017 [cit. 23. 7. 2018]. Dostupné z: <https://www.businessinsider.com/electric-car-history-2017-5>

TOLAR, Martin. LIAZ vyvíjel v 90. letech i osobní auto. Byl to elektromobil. In: *garaz.cz* [online]. Seznam.cz, ©2017 [cit. 2. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/liaz-vyvijel-v-90-letech-i-osobni-auto-byl-to-elektromobil-1459>

VÍTEK, Antonín; LÁLA, Petr. Malá encyklopedie kosmonautiky. Praha: Mladá fronta, 1982. Kapitola Americké kosmické lety, s. 328.

VLK, František. Příslušenství vozidlových motorů. Brno: František Vlk, 2002. ISBN 80-238-8755-6.

WAKEFIELD, Ernest. History of the electric automobile: Battery-only powered cars. Portland, Or.: Society of Automotive Engineers, 1994. ISBN 978-1560912996.

WAKSMAN, Steve. Electric ladyland: Women and rock culture. *JOURNAL OF AMERICAN HISTORY*. March 2006, Vol. 92, is. 4, s. 1516-1517. ISSN: 0021-8723.

WESTENENG, Arnie. Dit moet je weten over Lightyear, de zonneauto uit Nederland die Tesla uitdaagt. In: *businessinsider.nl* [online]. Insider Inc., ©2018 [cit. 2. 5. 2022]. Dostupné z: <https://www.businessinsider.nl/dit-moet-je-weten-over-lightyear-de-zonneauto-uit-nederland-die-iets-revolutionairs-gaat-doen/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Obr.	Obrázek
km/h	Kilometry za hodinu
C_x/C_d	Součinitel aerodynamického odporu vzduchu
kW	Kilowatt
N	Newton
OSN/EHK	homologační předpisy Evropské hospodářské komise OSN

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: Elektrický vozík Sibranduse Stratingha z roku 1835 a elektromobil Gustava Trouvé</i>	16
<i>Obr. 2: Elektromobil Thomase Parkera z roku 1884 (vlevo) a Františka Křížíka z roku 1895</i>	16
<i>Obr. 3: La Jamais Contente (1899)</i>	17
<i>Obr. 4: Detroit Electric (1911)</i>	18
<i>Obr. 5: Tama Electric Car (1947) a detail baterií umístěných ve vysoké podlaze [8],[9]</i>	18
<i>Obr. 6: Henney Kilowatt (1959)</i>	19
<i>Obr. 7: EMA 1 (1969)</i>	19
<i>Obr. 8: Lunar Rover-exemplář vlevo vystaven s podstavcem kvůli pozemské gravitaci, vůz vpravo zachycen v provozu na povrchu měsíce (1971)</i>	20
<i>Obr. 9: Sebring-Vanguard Citicar (1974)</i>	20
<i>Obr. 10: Škoda Shortcut (vlevo 1990) a Škoda Favorit ELTRA 151L (1992) [18]</i>	21
<i>Obr. 11: Tatra/Škoda Beta (1996)</i>	22
<i>Obr. 12: General Motors EV1 v karosářské verzi s předním nasávačem (1996)</i>	22
<i>Obr. 13: Smart electric drive (2011)</i>	23
<i>Obr. 14: Nissan Leaf (2010)</i>	23
<i>Obr. 15: Renault Zoe (2012)</i>	24
<i>Obr. 16: Volkswagen e-Up! (2013)</i>	24
<i>Obr. 17: BMW i3 (2013)</i>	25
<i>Obr. 18: Volkswagen e-Golf s elektrickou zástavbou (2014) (převzato)</i>	25
<i>Obr. 19: Tesla roadster (2008) (upraveno)</i>	27
<i>Obr. 20: Tesla Model S (2012) (upraveno)</i>	28
<i>Obr. 21: Rimac Nevera (2021) (upraveno)</i>	28
<i>Obr. 22: Tesla Model X (2015) (upraveno)</i>	29
<i>Obr. 23: Tesla Model 3 (2017) (upraveno)</i>	29

<i>Obr. 24: Ford E-mach (2019) (upraveno)</i>	30
<i>Obr. 25: Porsche Taycan (2019) (upraveno)</i>	30
<i>Obr. 26: Audi e-tron GT (2021) (upraveno)</i>	31
<i>Obr. 27: Škoda Enyaq RS iV (2022) (upraveno)</i>	31
<i>Obr. 28: Lucid Air (2022) (upraveno)</i>	32
<i>Obr. 29: Mercedes-Benz EQS (2022) (upraveno)</i>	32
<i>Obr. 30: Lightyear One (2022) (upraveno)</i>	33
<i>Obr. 31: StudentCar SCX – 2014</i>	34
<i>Obr. 32: StudentCar SCE – 2017</i>	34
<i>Obr. 33: Variantní kresebné návrhy elektromobilu StudentCar Titan</i>	36
<i>Obr. 34: Klíčová skica StudentCar Titan</i>	36
<i>Obr. 35: Návrh interiéru v kresebné formě</i>	37
<i>Obr. 36: Package a základní plášť vozu (zprůhledněno)</i>	37
<i>Obr. 37: První prototyp karoserie ve 3D-náhled ergonomické studie (zprůhledněno)</i>	39
<i>Obr. 38: Inspirační zdroj při navrhování interiéru – BMW i8</i>	39
<i>Obr. 39: První prototyp karoserie ve 3D</i>	40
<i>Obr. 40: Porovnání nové koncepce vozu s předcházející generací SCX (3D tisk)</i>	40
<i>Obr. 41: Druhý prototyp karoserie ve 3D</i>	40
<i>Obr. 42: Implementace funkčnosti motýlích dveří</i>	41
<i>Obr. 43: Exteriér vozu v modelovacím CAD softwaru Solidworks (náhled)</i> .	41
<i>Obr. 44: Skenování ocelových pantů BMW i8 - č. 1: scanner; č. 2: ocelový pant; č. 3. pant vymodelovaný ve 3D softwaru; č. 4: část karoserie; č. 5: otevřené dveře</i>	42
<i>Obr. 45: Exteriér vozu v modelovacím CAD softwaru Solidworks (náhled)</i> .	42
<i>Obr. 46: Vyhlazování ploch v modelovacím modulu NPowerSurface (zadní „ducktail“)</i>	43
<i>Obr. 47: Virtuální projekce rozpracované karoserie</i>	44
<i>Obr. 48: Vnější náhled do interiéru v prostředí virtuální reality</i>	44

<i>Obr. 49: Virtuální projekce karoserie v reálné velikosti zobrazuje velikost svítílen vůči lidské ruce.....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 50: Návrh interiéru další generace – kombinace vizualizace a skici</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 51: Interiér vozu ve virtuální realitě</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 52: Interiér závodního kokpitu navržený a uzpůsobený pro přežití případné havárie ve vysoké rychlosti</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 53: Řez interiéru vozu Titan – plánovaná pozice spolujezdce</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 54: Návrh předpokládaného třízónové klimatizace</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 55: Maketa interiéru vozu se čtyřmi dospělými figuranty</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 56: Fyzická realizace makety interiéru s funkčními prvky</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 57: Návrh rozložení různých textilií pro odlišné části interiéru.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 58: Princip konstrukce vlákna Trevira CS (vlevo) je založen na nehořlavosti vlákna v celém objemu. Běžná nehořlavá vlákna (vpravo) jsou opatřena nehořlavou vrstvou pouze na povrchu a tuto vlastnost časem ztrácí v důsledku mechanického opotřebení, nebo stárnutí. převzato, přeloženo.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 59: Kamera Basler - daA1920-160uc,</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 60: Boční kamery aplikovány na maketě vozu.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 61: Ukázka funkce předního nasávacího kanálu eliminující víření kolem přední kol – Ford Mustang</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 62: Princip funkce splitteru – vůz Lotus Elise</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 63: Přední Splitter</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 64: Schéma přitlačného křídla</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 65: Snižená rychlost proudění vzduchu v oblastech 1. a 2.</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 66: Rozložení tlaku v přední části vozu Škoda Octavia III</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 67: Audi A6 upraveno</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 68: Motor Audi A6 upraveno</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 69: Hnací ústrojí upraveno</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 70: Simulace proudění vzduchu ve voze Škoda Scala upraveno</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 71: Simulace proudění vzduchu kolem vozu Škoda Octavia IV upraveno</i>	<i>59</i>

<i>Obr. 72: Jednoduché schéma principu přítlaču klínového tělesa obtékaného vzduchem (například čelního skla automobilu)</i>	59
<i>Obr. 73: Schéma teoretického proudění vzduchu – Varianta s jednostranným křídlem.....</i>	60
<i>Obr. 74: Schéma teoretického proudění vzduchu – Varianta s běžnou maskou</i>	60
<i>Obr. 75: Pojízdna podvozková platforma Titan vyvinutá na VŠB-Technické univerzitě Ostrava a vizualizace karoserie určená pro podvozkovou platformu.</i>	61
<i>Obr. 76: Hliníkový vodní chladič pro Honda Civic 96-00 K20 SWAP XL ...</i>	61
<i>Obr. 77: CFD proudění při 130 km/h.....</i>	62
<i>Obr. 78: CFD proudění při 130 km/h (boční pohled)</i>	63
<i>Obr. 79: Tlak proudění při 130 km/h – StudentCar Titan</i>	64
<i>Obr. 80: Tlak proudění při 130 km/h – Tesla model S.....</i>	64
<i>Obr. 81: Tlak proudění při 130 km/h – SC Titan.....</i>	65
<i>Obr. 82: Tlak proudění při 130 km/h – Tesla model S.....</i>	65
<i>Obr. 83: Tlak proudění při 130 km/h – SC Titan.....</i>	66
<i>Obr. 84: Schéma teoretického principu přítlaču u reálného modelu vozu.....</i>	66
<i>Obr. 85: CFD proudění při 90 km/h.....</i>	67
<i>Obr. 86: CFD proudění při 130 km/h.....</i>	67
<i>Obr. 87: CFD proudění při 160 km/h.....</i>	68
<i>Obr. 88: CFD proudění při 200 km/h.....</i>	69
<i>Obr. 89: CFD obtékání vozu u staršího typu karoserie– Software Ansys, Z toho důvodu bylo nutné simulace zopakovat v programu Flow design a Flow Simulation SolidWorks</i>	70
<i>Obr. 90: Venturiho efekt</i>	70
<i>Obr. 91: Difuzor „Typ A“</i>	71
<i>Obr. 92: Difuzor „Typ B“</i>	71
<i>Obr. 93: Difuzor „Typ C“</i>	72
<i>Obr. 94: Difuzor „Typ D“</i>	72

Obr. 95: Vyobrazení varianty „A“ v programu Flow design (pohled spodní)	73
Obr. 96: Ilustrační vyobrazení chování menšího počtu proudnic u varianty „A“ v modulu Flow Simulation SolidWorks (pohled spodní)	74
Obr. 97: Verze s vloženým jednostranným křídlem (celková průměrná hodnota ohraničena červeně)	75
Obr. 98: Verze s běžnou maskou (celková průměrná hodnota ohraničena červeně)	75
Obr. 99: Verze s vloženým jednostranným křídlem (ilustrace proudnic) $C_d=0.31$	75
Obr. 100: Verze s běžnou maskou (ilustrace proudnic) $C_d=0.34$	76
Obr. 101: Simulace proudění rychlosti vzduchu. Verze s křídlem ($C_d=0.31$)	76
Obr. 102: Simulace proudění rychlosti vzduchu. Verze s běžnou maskou ($C_d=0.34$)	76
Obr. 103: Tisk zadního difuzoru na velkoformátové tiskárně ATMAT	77
Obr. 104: První velkoformátový 3D tisk -přední nárazník (PET)	78
Obr. 105: Vybroušení první vrstvy polyesterového tmelu	78
Obr. 106: Lakování makety modelu Titan 1:4 - nástřik bílý plnič	78
Obr. 107: Lakování makety modelu Titan 1:4 -nástřik šedá základní	79
Obr. 108: Lakování makety modelu Titan 1:4 vybrušování ploch pod vodou	79
Obr. 109: Lakování makety modelu Titan 1:4 stříbrný lak	79
Obr. 110: Finální maketa vozu v měřítku 1:4	79
Obr. 111: Finální maketa vozu v měřítku 1:4	80
Obr. 112: Exteriér vozu	80
Obr. 113: Exteriér vozu	81
Obr. 114: Exteriér vozu	81
Obr. 115: Exteriér vozu	82
Obr. 116: Zadní svítilny Titan	82
Obr. 117: Přední světlometry Titan – Příprava práškového 3D tisku	83

<i>Obr. 118: Požadovaný návrh výrobku ze sklolaminátu o síle stěny skořepiny 3 mm</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 119: Návrh pozitivní formy pro výrobu sklolaminátové formy</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 120: Požadovaný návrh výrobků ze sklolaminátu pro sílu stěny skořepiny 3 mm</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 121: Náhled základních rozměrů vozu StudentCar Titan</i>	<i>85</i>

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ OBRÁZKŮ

- [1] DE EERSTE ELEKTRISCHE AUTO UIT NEDERLAND - DE VLUCHTSTROOK. ©2021 [online]. Dostupné z: <https://www.autoweek.nl/autonieuws/artikel/de-eerste-elektrische-auto-uit-nederland-de-vluchtstrook/>
- [2] Quand a été inventée la première voiture électrique ? 2021 [online]. Dostupné z: <https://fhe-france.com/en/premiere-voiture-electrique>
- [3] VOKÁČ, Luděk. První hybridní vůz postavil Čech. Buď Křižík nebo Porsche. ©2009 [online]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/prvni-hybridni-vuz-postavil-cech-bud-krizik-nebo-porsche.A091023_002851_automoto_vok
- [4] ARTOYZ. The crazy story of the car. ©2022[online]. Dostupné z: <https://artoyz.com/en/blogs/news/la-folle-histoire-de-la-voiture>
- [5] HAMALČÍKOVÁ, Kamila. Elektromobily vs. automobily: Kdo lámal první rychlostní rekordy? ©2015 [online]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/elektromobily-vs-automobily>
- [6] SADLER, Bob. The Detroit Electric and Its Place in Automotive History [online]. ©2022 Dostupné z: <https://www.motorcities.org/story-of-the-week/2022/the-detroit-electric-and-its-place-in-automotive-history>
- [7] Autoportal Električni automobili: ovo je 11 povijesnih modela na struju. ©2020 [online]. Dostupné z: <https://autoportal.hr/tehnika/elektricni-automobili-ovo-je-11-povijesnih-modela-na-struju/>
- [8] MEYER, Björn. 50 år med Carrera! ©2022 [online]. Dostupné z: <https://www.klassiker.nu/reportage/50-ar-med-carrera>
- [9] NISSAN. ©2022 [online]. Dostupné z: https://www.nissan-global.com/JP/HERITAGE/LEGENDS/LEGEND_08/
- [10] MCGLOTHLIN, Mike. 7 THINGS YOU MIGHT NOT KNOW ABOUT BATTERY ELECTRIC VEHICLES ©2022 [online]. Dostupné z: <https://www.drivingline.com/articles/7-things-you-might-not-know-about-battery-electric-vehicles/>
- [11] COSTUMER GUIDE ©2022 [online]. Dostupné z: <https://blog.consumerguide.com/what-was-the-henney-kilowatt/>
- [12] DUSIL, Tomáš. EMA 1: Toto je první československý elektromobil. Jak vznikl, jezdil a kde je dnes k vidění? ©2017 [online]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/ema-1-toto-je-prvni-ceskoslovensky-elektromobil-jak-vznikl-jezdil-a-kde-je-dnes-k-videni-104521>

- [13] Elekřrina.cz Tuzemský elektromobil EMA předběhl dobu o desítky let. 2018 [online]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/elektromobil-ema>
- [14] INTERNET ARCHIVE 2022 [online]. Dostupné z: <https://archive.org/details/MSFC-0101292>
- [15] NASA-National Aeronautics and Space Administration 2022 [online]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/image-feature/taking-a-ride-on-the-moon-in-the-lunar-roving-vehicle>
- [16] O'TOOLE, James. 2019 [online]. Dostupné z: <https://www.voltagehire.com/blog/2019/2/4/electric-vehicles-a-brief-history>
- [17] History of Automotive Engineering 2021 [online]. Dostupné z: <https://auto-history.livejournal.com/207005.html>
- [18] DUSIL, Tomař. řkoda Auto predstavila svuj prvni elektromobil uř v roce 1990. Prohlednete si model Shortcut 2017 [online]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/byznys/fleet-special/skoda-auto-predstavila-svuj-prvni-elektromobil-uz-v-roce-1990-prohlednete-si-model-shortcut-1329638>
- [19] Dominiccars.sk řkoda Eltra 151 – o priniesol elektrický Favorit? 2018 [online]. Dostupné z: <https://dominiccars.sk/skoda-eltra-151-co-priniesol-elektricky-favorit/>
- [20] MARKOVIČ, Jan. Tatra Beta byla elektromobil i mix Hyundai a řkoda Favorit. Pak ji seřzrala rez. 2019 [online]. Dostupné z: <https://www.denik.cz/automagazin/tatra-beta-byla-elektromobil-i-mix-hyundai-a-favoritu-pak-ji-sezrala-rez-20191110.html>
- [21] DOSSIERS, P. Retour sur la GM EV1: generation sacrifiee. 2014[online]. Dostupné z: <https://www.blog-moteur.com/16861/retour-gm-ev1-quel-gachis.html>
- [22] BLOOMFIELD, Niki 2013 Smart ForTwo Electric. 2012 [online]. Dostupné z: https://www.greencarreports.com/news/1076956_2013-smart-fortwo-electric-production-starts-due-q4-2012
- [23] NISSAN. 2022 [online]. Dostupné z: <https://nissanevmedia.com.au/en-gb/releases/117>
- [24] HORRELL, Paul. Nissan Leaf news - Nissan Leaf: driven - 2010 [online]. 2010 Dostupné z: <https://www.topgear.com/car-news/nissan-leaf-news-nissan-leaf-driven-2010>
- [25] GOODWIN, Andy. Renault ZOE: old vs new. 2020 [online]. Dostupné z: <https://www.carbuyer.co.uk/news/173256/renault-zoe-old-vs-new>
- [26] LAMBERT, Fred. Renault Zoe sales are up 132% in France, giving more weight to the battery pack leasing model. 2015 [online]. Dostupné z: <https://www.carbuyer.co.uk/news/173256/renault-zoe-old-vs-new>

<https://electrek.co/2015/09/24/renault-zoe-sales-are-up-132-in-france-giving-more-weight-to-the-battery-pack-leasing-model/>

[27] MODELLEN, N. <https://www.carsite.co.uk/guides/best-small-electric-car> ©2013 [online]. VW Elektroauto e-up!: Neue Bilder & Technik-Grafiken veröffentlicht. Dostupné z: <https://ecomento.de/2013/09/06/vw-elektroauto-e-up-neue-bilder-technik-grafiken-veroeffentlicht/>

[28] Carsite UK. Best small electric cars ©2022 [online]. Dostupné z: <https://www.carsite.co.uk/guides/best-small-electric-car>

[29] FRANCO, Javier. EL BMW i3 se dejará de fabricar este verano ©2021 [online]. Dostupné z: <https://forococheselectricos.com/2022/01/el-bmw-i3-se-dejara-de-fabricar-este-verano.html>

[30] PARROTT, Vicky. 2017 Volkswagen e-Golf review: Great hatch, great electric car ©2017 [online]. Dostupné z: <https://uk.motor1.com/reviews/241115/new-volkswagen-e-golf-review/>

[31] O'HARE, Ben 2008 Tesla Roadster Sells For Over \$250,000 ©2022 [online]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/570121/2008-roadster-over-250,000/>

[32] MARGEIT, Rob. 25 Years of Drive: We meet the founders of Tesla ©2022 [online]. Dostupné z: <https://www.drive.com.au/caradvice/25-years-of-drive-we-meet-the-founders-of-tesla-and-theres-no-elon-musk-in-sight/>

[33] US NEWS. ©2022 [online]. Dostupné z: <https://cars.usnews.com/cars-trucks/tesla/model-s/2013/photos-exterior>

[34] More -cars. ©2022 [online]. Dostupné z: https://more-cars.net/rimac-nevera_37016

[35] CRISARA. Rimac C_Two documentary takes a peek at humble beginnings ©2022 [online]. Dostupné z: <https://uk.motor1.com/news/446732/rimac-documentary-shows-humble-beginnings/>

[36] Tesla ©2022 [online]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/modelx>

[37] VIPPNG ©2022 [online]. Dostupné z: <https://www.vippng.com/maxp/ixibwTx/>

[38] LAMBERT, Fred. Tesla Model 3: pencil down on design, Tesla confirms still on schedule ©2022 [online]. Dostupné z: <https://electrek.co/2016/07/15/tesla-model-3-pencil-down-design-stay-on-schedule/>

[39] KALOČ, Jiří. Tesla Model 3 má nejnižší součinitel aerodynamického odporu vzduchu mezi sériovými vozidly ©2022 [online]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/foto-tesla-model-3-je-ma-nejlepsi-aerodynamiku-v-soucasne-se/r~cb93b348656f11e79de10025900fea04/>

- [40] DiscoverEV ©2022 [online]. Dostupné z: <https://www.discoverev.co.uk/features/the-way-you-buy-a-ford-mach-e-will-be-completely-different>
- [41] TOPCARNEWS. Battery Issue Prompts Recall of Ford Mustang Mach-E ©2022 [online]. Dostupné z: <https://topcarnews.net/battery-issue-prompts-recall-of-ford-mustang-mach-e-s119996.html>
- [42] MONTESQUIEU-VOLVESTRE ©2022 [online]. Dostupné z: <http://www.montesquieuvolvestre.com/2019/09/voitures-de-legende-1033-porsche-taycan-2020.html>
- [43] TOPGEAR. Audi e-Tron GT review: four-door electric GT tested ©2022 [online]. Dostupné z: <https://topgear.com.my/reviews/audi-e-tron-gt-review-four-door-electric-gt-tested>
- [44] IOT AUTOMOTICE ©2022 [online]. Dostupné z: <https://iot-automotive.news/ibm-audi-ag-accelerates-its-path-to-new-business-insights/>
- [45] ŠKODA-AUTO 2022 [online]. Dostupné z: https://www.skoda-storyboard.com/sk/42_skoda_enyaq_coupe_rs_iv/
- [46] Lucid Motors Inc. 2022 [online]. Dostupné z: <https://www.lucidmotors.com/media-room>
- [47] Mercedes-Benz ©2022 [online]. Dostupné z: <https://www.mercedes-benz.cz/passengercars/mercedes-benz-cars/models/eqs/saloon-v297/design/nba-all-models.module.html>
- [48] BERGMAN, Petr. Lightyear představí solární elektromobil pro nenáročné. Cenu srazí na minimum! ©2022 [online]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/lightyear-predstavi-solarni-elektromobil-pro-nenarocne-cenu-srazi-na-minimum>
- [49] YOUTUBE.COM ©2022 [online]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=bSbWwn_YCr8&t=852s
- [50] KNAPMAN, Chris. BMW i8 review. The Telegraph. ©2015 [online]. Dostupné z: <https://www.telegraph.co.uk/cars/bmw/bmw-i8-review/>
- [51] Elemental Automotive Group. 2022 [online]. Dostupné z: <https://elementalcars.co.uk/the-rp1/design/driving-position/>
- [52] TREVIRA ©2022 [online]. Dostupné z: <https://www.trevira.de/en/trevira-cs/how-trevira-cs-works>
- [53] Basler AG ©2022 [online]. Dostupné z: <https://www.baslerweb.com/en/products/cameras/area-scan-cameras/dart/daa1920-160uc-cs-mount/>
- [54] STANGNET ©2022 [online]. Dostupné z: <https://www.stangnet.com/2014/03/05/2015-ford-mustang-aero-design-focus/>

- [55] SELOC ©2022 [online]. Dostupné z: https://wiki.seloc.org/a/Front_splitter
- [56] Formula1-dictionary ©2022 [online]. Dostupné z: <https://www.formula1-dictionary.net/splitter.html>
- [57] Build your own race car ©2022 [online]. Dostupné z: <https://www.buildyourownracecar.com/race-car-aerodynamics-basics-and-design/4/>
- [58] ŠKODA ©2022 [online]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/skoda-svet-cs/inovace-a-technologie/perfektne-aerodynamicka-skoda-octavia/>
- [59] BRUCE, Chris. 2019 Audi A6: See The Changes Side-By-Side. Motor1 ©2019 [online]. Dostupné z: <https://www.motor1.com/news/234496/audi-a6-side-by-side/>
- [60] SERGEVV, Angel. Tesla's Hong Kong Sales Collapse After Tax Incentives Canceled ©2022 [online]. Dostupné z: <https://www.motor1.com/news/170051/tesla-hong-kong-sales-collapse/>
- [61] TESLA 2022 [online]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/models>
- [62] AUDI 2022 [online]. Dostupné z: <https://audi-mediacyber.pl/artykul,27874,naped>
- [63] RACE-SHOP.CZ 2022 [online]. Dostupné z: <https://race-shop.cz/civic-crx/82775-hlinikovy-vodni-chladic-pro-honda-civic-96-00-k20-swap-xl.html>
- [64] Wassertec Ozone Systems. [online]. Dostupné z: <https://www.wassertec.co.za/explanation-venturi-effect-applications>

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Grafické znázornění sil působících na vložené přítlačné křídlo směrem dolů.....	67
Graf 2 Grafické znázornění sil působících na vložené přítlačné křídlo směrem dolů.....	68
Graf 3 Grafické znázornění sil působících na vložené přítlačné křídlo směrem dolů.....	68
Graf 4 Grafické znázornění sil působících na vložené přítlačné křídlo směrem dolů.....	69

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 výsledné síly působící na jednotlivé typy difuzorů při 160 km/h.....	48
---	----

Publikační činnost

34106 DES/Produktový a průmyslový design/Designblok 17/ BLY /Podíl 2 %
/ 26.10.2017

Kolekce studentských prací, Hlavní cena za nejlepší studentskou expozici,
Česká republika, Praha, 26.10.2017

42827 DES/Produktový a průmyslový design/ BLY /Kolekce porcelánových
hrnků pro Thun 1794 a.s./Podíl 30 %/ 26.06.2018

43796 DES/Produktový a průmyslový design/ BLY /Transport design/Podíl
30 %/ 25.10.2018

42825 DES/Produktový a průmyslový design/Designérské návrhy dopravních
prostředků/ BLY /Podíl 10 %/ 9.2.2018

42825 DES/Produktový a průmyslový design/Designérské návrhy dopravních
prostředků/ BLY /Podíl 10 %/ 9.2.2018

58637 DES/Produktový a průmyslový design/ BLZ /Studentcar SCE/
Mezinárodní strojírenský veletrh/Podíl 99 %/ Česká republika, Brno, 07.11.2019
- 10.11.2019

58363 DES/Produktový a průmyslový design/ BLZ/ Kolekce 20 Let Ateliéru
Průmyslový design/Podíl 20%

T. Pawlenka, J. Kulhánek, P. Tomčík and R. Zapletal, "Design of Digital
CAN Based Car Dashboard Unit," 2019 20th International Carpathian Control
Conference (ICCC), 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/CarpathianCC.2019.8766024.

ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORA

MgA. Rostislav Zapletal

Narozen: 19. 2. 1991

Vzdělání:

2017 - dosud

Postgraduální studium - Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta multimediálních komunikací, Multimedia a design – Průmyslový design

2015 - 2017

Graduální studium - Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta multimediálních komunikací, Multimedia a design – Průmyslový design, udělení titulu MgA. S vyznamenáním, Cena rektora UTB

2012 - 2015

Graduální studium - Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta multimediálních komunikací, Multimedia a design – Průmyslový design, udělení titulu BcA.

2007 - 2011

Střední průmyslová škola polytechnická – Centrum odborné přípravy Zlín

Dosavadní praxe:

Zahraniční stáž v Německu, Schwerin 23.8. - 12. 9. 2010 - Získání mezinárodního certifikátu Europass

Soutěž Ministerstva Zemědělství ČR na podporu zdravé výživy dětí - 2. místo, Přepravení box na ovoce

- Průmyslový vzor 2013

Vývoj konstrukce sendvičového kompozitního opláštění minibusu - FORM s.r.o. 2014 Designérský návrh odrážedla – Bonaparte, Spolková 31, 312 00 Plzeň Červen 2013 – Prosinec 2014

Autor ceny studentského filmového festivalu REC FEST (od r. 2014)

Návrh a vývoj karoserie elektromobilu STUDENTCAR SCE 2015 - 2017 - Průmyslový vzor 2018

Pedagogická praxe na VŠB – Technická Univerzita Ostrava, 2016 - dosud

Spolupráce na vývoji světlometů s Varroc Lighting Systems s.r.o. 2016 – 2017; 2021 - 2022

Soutěž o návrh přední části vozu Tatra Phoenix, TATRA TRUCKS a.s. – 2. Místo, 2017

Zahraniční stáž na Technische Hochschule Ingolstadt, Německo (CARISSMA Research and Testing Centre) 21. 3. - 7. 4. 2022

Zapojen do řešení projektu:

TH02020318, TAČR „Stavebnicový systém pro akumulaci elektrické energie“ (2017-2019) Průmyslový vzor 2019

SP2019/155 Experimenty v návaznosti na vývojový cyklus vozidla 2019

SP2020/75 Výzkum materiálových a technologických aspektů 3D tisku

TH03010164, TAČR „Technologie a komponenty pro e-mobilitu“ (2018-2021)

Funkční vzorky:

KLAUS, P., ZAPLETAL, R., TOMČÍK, P., BESEDA, M., Funkční vzorek dveří sportovního automobilu

StudentCar Titan s využitím 3D tištěných dílů. ev.č.:069/20-12-2019_F

TOMČÍK, P., BURÁŇ, M., KULHÁNEK, J., KLAUS, P., POLÁK, A., TROJAN, R., BESEDA, M.,

SUCHÁNEK, M., HUVAR, F., JURÁNEK, M., PAWLENKA, P., GARAJ, O., ZAPLETAL, J., ŠPIRK, S.: Testovací verze bateriového boxu pro jízdní zkoušky 057/02-12-2020-_F

Další kvalifikace: Anglický jazyk – C1

Pokročilá znalost práce s CAD systémy

Řidičský průkaz skupin: AM; B; C; T

Člen Akademického senátu FMK UTB, 2014 - 2019

Člen Akademického senátu UTB, 2020 - 2022

Laborant - VŠB – Technická Univerzita Ostrava, 2016 – 2018

Odborný Asistent - VŠB – Technická Univerzita Ostrava, 2018 – dosud

MgA. Rostislav Zapletal

Design pro elektromobilitu

Design for electromobility

Disertační práce

Vydala Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,
nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín.

Sazba: autor

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Rok vydání 2022