

# **Design pro elektromobilitu**

MgA. Rostislav Zapletal, Ph.D.

Teze habilitační práce

Teze disertační práce

**Design pro elektromobilitu**  
**Design for electromobility**

Autor:	<b>MgA. Rostislav Zapletal, Ph.D.</b>
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 Summary**.  
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, aerodynamice, cooling*

Plná verze disertační práce je dostupná v Knihovně UTB ve Zlíně.

ISBN 978-80-7678-2

## **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 nadstandartní 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

<b>OBSAH.....</b>	<b>5</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>7</b>
<b>1 CÍLE.....</b>	<b>9</b>
1.1 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE A METODIKA JEJICH OVĚŘENÍ.....	10
1.1.1 Cíl výzkumu .....	10
1.1.2 Hlavní cíl .....	10
1.1.3 Účel šetření.....	10
1.1.4 Hypotézy .....	10
1.1.5 Metodika zpracování .....	11
- HISTORICKÝ VÝVOJ ELEKTROMOBILŮ.....	11
- ANALÝZA PŘEDNÍCH NASÁVACÍCH OTVORŮ SOUČASNÉ PRODUKCE ELEKTROMOBILŮ.....	11
<b>2 FILOZOFIE VÝROBY VLASTNÍHO AUTOMOBILU .....</b>	<b>12</b>
2.1 ELEKTROMOBILITA .....	12
2.1.1 Chlazení.....	12
2.2 HISTORIE A SOUČASNOST NÍZKOVÝKONNÝCH ELEKTRICKÝCH VOZŮ ..	12
<b>3 ANALÝZA ŘEŠENÍ SOUČASNÉ PRODUKCE VYSOKOVÝKONNÝCH ELEKTROMOBILŮ .....</b>	<b>13</b>
<b>4 ZADÁNÍ PROJEKTU.....</b>	<b>16</b>
4.1.1 Navrhování elektromobilu z nulového bodu.....	17
4.1.2 Návrh karoserie vozu v kresebné formě.....	17
4.1.3 Prvotní návrh interiéru.....	18
4.1.4 Základní ergonomická studie .....	19
4.1.5 Variantní návrhy přední masky elektromobilu.....	20
4.1.6 Modelování karoserie ve 3D CAD softwaru .....	21
4.1.7 Vyhlazování tvarově složitých ploch v doplňkovém modulu NPowerSurface.....	22
4.1.8 Inovace založené na zkušenostech z Virtuální reality.....	22
4.2 INTERIÉR VOZU .....	23
4.3 KOMFORT A BEZPEČÍ SPOLUJEZDCE.....	23
4.4 REALIZACE MAKETY INTERIÉRU V MĚŘÍTKU 1:1 .....	24
<b>5 AERODYNAMIKA.....</b>	<b>25</b>
5.1.1 Základní terminologie aerodynamiky.....	25
5.1.2 Funkce předního splitru .....	26
5.1.3 Princip funkce přítlačného křídla .....	27

5.1.4	Nejvhodnější umístění otvoru pro chlazení vozidla .....	27
5.1.5	Simulace rozložení tlaku Škoda Octavia IV .....	27
5.1.6	Možnosti odlišného tvarového řešení elektromobilů oproti automobilům se spalovacím motorem .....	28
<b>6</b>	<b>NÁVRH PŘEDNÍ MASKY VOZU .....</b>	<b>29</b>
6.1	STANDARTNÍ ŘEŠENÍ NASÁVANÍ VZDUCHU .....	29
6.1.1	Zakomponování principu přítlačku do masky vozu .....	30
6.2	VARIANTNÍ ŘEŠENÍ PŘEDNÍ MASKY VOZU .....	30
6.3	KAROSERIE UZPŮSOBENÁ NAVRŽENÉMU ŠASI VOZU .....	31
<b>7</b>	<b>PŘÍNOS NOVÉHO UNIKÁTNÍHO ŘEŠENÍ PŘEDNÍ MASKY .....</b>	<b>32</b>
7.1	OVĚŘENÍ TEORIE SIMULACÍ OBTÉKÁNÍ VZDUCHU .....	32
7.1.1	Referenční model – konvenční řešení přední části elektromobilu..	32
7.1.2	Rozložení tlaku vzduchu z čelního pohledu .....	33
7.2	OVĚŘENÍ HYPOTÉZY GENEROVÁNÍ PŘÍTLAKU .....	35
7.2.1	Měření přitlačných sil na vložené křídlo .....	35
7.3	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ PŘÍTLAKU A POTVRZENÍ HYPOTÉZY GENEROVÁNÍ PŘÍTLAKU A LEPŠÍHO ROZLOŽENÍ TLAKU .....	37
7.4	CELKOVÁ AERODYNAMIKA VOZU .....	37
7.5	ZADNÍ PŘÍTLAČNÝ DIFUZOR .....	38
7.5.1	Navrhované varianty přitlačných difuzorů .....	38
7.5.2	Potvrzení druhé hypotézy .....	40
7.6	MĚŘENÍ AERODYNAMICKÉHO ODPORU ELEKTROMOBILU TITAN .....	41
7.7	PŘESNOST MĚŘENÍ .....	41
7.8	POTVRZENÍ ZÁVĚREČNÉ ČÁSTI HYPOTÉZY .....	41
7.8.1	Výroba makety vozu na velkoformátové 3D tiskárně .....	42
7.8.2	Finalizace zmenšeniny vozu .....	43
7.8.3	Finální vizualizace vozu StudentCar Titan .....	43
7.9	PŘÍPRAVA VÝROBY KAROSERIE .....	45
7.10	ZJEDNODUŠENÝ TECHNICKÝ VÝKRES ELEKTROMOBILU SC TITAN .....	46
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>47</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>48</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>49</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>50</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>54</b>

# ÚVOD

Cílem 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.

Vysoká cena vývoje automobilů 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. (Sochor, 2013)

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 zleňují výrobu, ale nelze je zatím zapojit do sériové produkce v automobilkách. Tohoto technického rozdílu lze v prototypové výrobě využít.

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 brzdění 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 byli 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 vývojářský riskantních technologií do drahých automobilů. 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, 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.

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 kolnými 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**

### **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 budoucnu 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 baterií, 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 žebrované, 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.

### **2.2 Historie a současnost nízkovýkonných elektrických vozů**

Z historického rozboru v disertační práci vyplynula skutečnost, že se jednalo vždy o vozy menších rozměrů s nízkým výkonem, které nebyli ve srovnání s vozy se spalovacím motorem konkurenceschopné. Zároveň se technicky příliš nevyvíjely, protože na slabší vozy nejsou tak vysoké technologické nároky jako u sportovních vozů a jejich vývoj postupuje pomalu.

### 3 ANALÝZA ŘEŠENÍ SOUČASNÉ 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 Model S**

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. 1: Tesla Model S (2012) [1] (upraveno)*

## Tesla Model 3

Stejně jako u Modelu S je u Modelu 3 nasávací otvor umístěn pouze ve spodní části nárazníku. Chlazení vozu je zde zvládnuté technicky velmi dobře. Přední nasávací otvor mohl být oproti Modelu S více minimalizován a sjednocen do jednoho podlouhlého tvaru. Na otvor navazuje hluboko zabudovaný atypicky velmi široký chladič s nízkou výškou.



Obr. 2: Tesla Model 3 (2017) [2], [3] (upraveno)

## Porsche Taycan

Vysoká cena odpovídá předchozím standardům značky, tudíž není cena baterií žádnou překážkou. 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. 3: Porsche Taycan (2019) [4] (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. 4: Lucid Air (2022) [5] (upraveno)

### Mercedes-Benz EQS

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. 5: Mercedes-Benz EQS (2022) [6] (upraveno)

### Lightyear One

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. (Westeneng, 2018) I přesto, že se nejedná o sportovní vůz, tak je zde jasná paralela s těmi nejvýkonnějšími elektromobily. – Vůz má aerodynamický tvar a nízko uložený široký nasávací otvor pro chlazení vozu.



Obr. 6: Lightyear One (2022) [7], [8] (upraveno)



## 4 ZADÁNÍ PROJEKTU

Projekt Titan vývojově navazuje na realizaci dvoumístného elektrického sportovního kupé StudentCar SCX. Na tomto elektromobilu si pracovníci a studenti Katedry materiálů a technologií pro automobily vyzkoušeli a dopodrobna ověřili všechny klíčové dovednosti nutné pro vývoj konkureschopného 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. 7: StudentCar SCX – 2014*



*Obr. 8: 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.

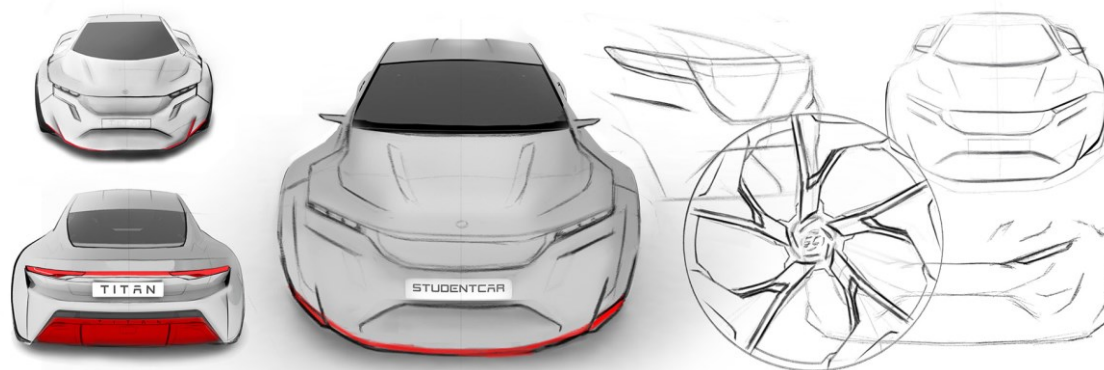
Finanční stránka taktéž definovala zaměření projektu. Investice v řádech desítek milionů do vozu typu dodávky nebo malého vozu by ve vývojovém cyklu nebyl vhodně obhajitelný. Sportovní vozy se ovšem běžně prodávají v řádech desítek milionů korun a jejich hodnota každý rok narůstá. Sportovní vůz nabízí 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.

#### 4.1.1 Navrhování elektromobilu z nulového bodu

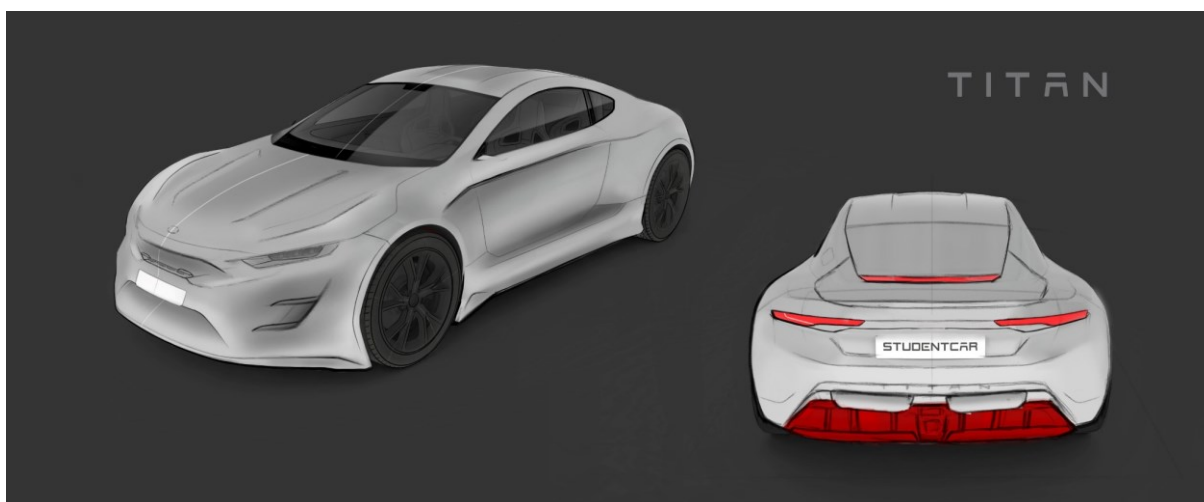
Velikost vozu vždy definuje rozchod a rozvor náprav. Tyto rozměry jednoznačně definují proporce vozu, vizuální působivost a jeho následnou využitelnost a ovladatelnost. Rozchod kol byl po konzultacích s konstruktéry a výpočtáři stanoven na 1703 mm. Rozvor vozu byl navržen na mimořádně velkorysých 3100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

#### 4.1.2 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. 9: Variantní kresebné návrhy elektromobilu StudentCar Titan



*Obr. 10: Klíčová skica StudentCar Titan*

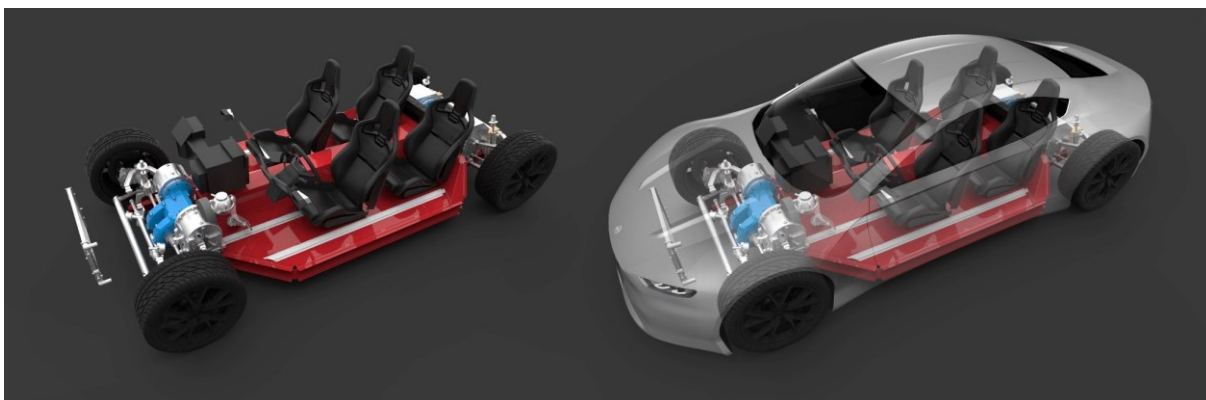
### 4.1.3 Prvotní návrh interiéru

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. 11; 24).



*Obr. 11: 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.



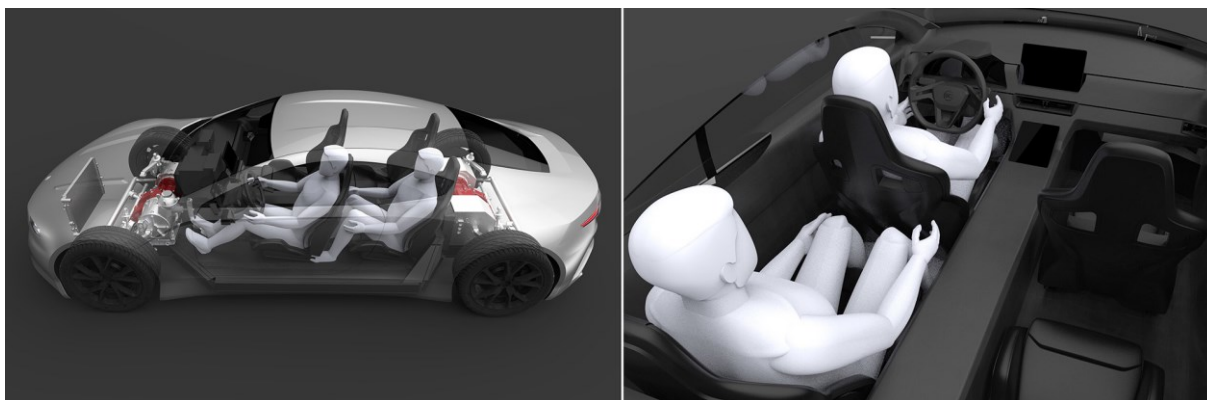
*Obr. 12: Package a základní plášť vozu (zprůhledněno)*

V prvotní fázi bylo nutné vymodelovat klíčové objemy těles, které se budou ve voze nacházet. (Obr. 12) 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. 12) 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. 13) 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.

#### **4.1.4 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.



*Obr. 13: První prototyp karoserie ve 3D-náhled ergonomické studie (zprůhledněno)*

#### **4.1.5 Variantní návrhy přední masky elektromobilu**

Pro vůz byly navrženy dvě varianty přední masky. První maska měla svým klínovým tvarem jednostranného přitlačného 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.



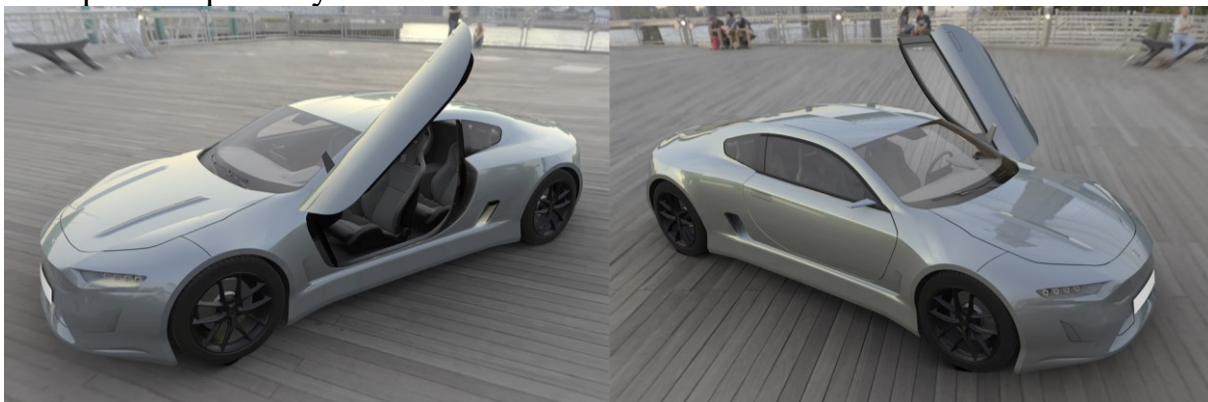
*Obr. 14: První prototyp karoserie ve 3D*



*Obr. 15: 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

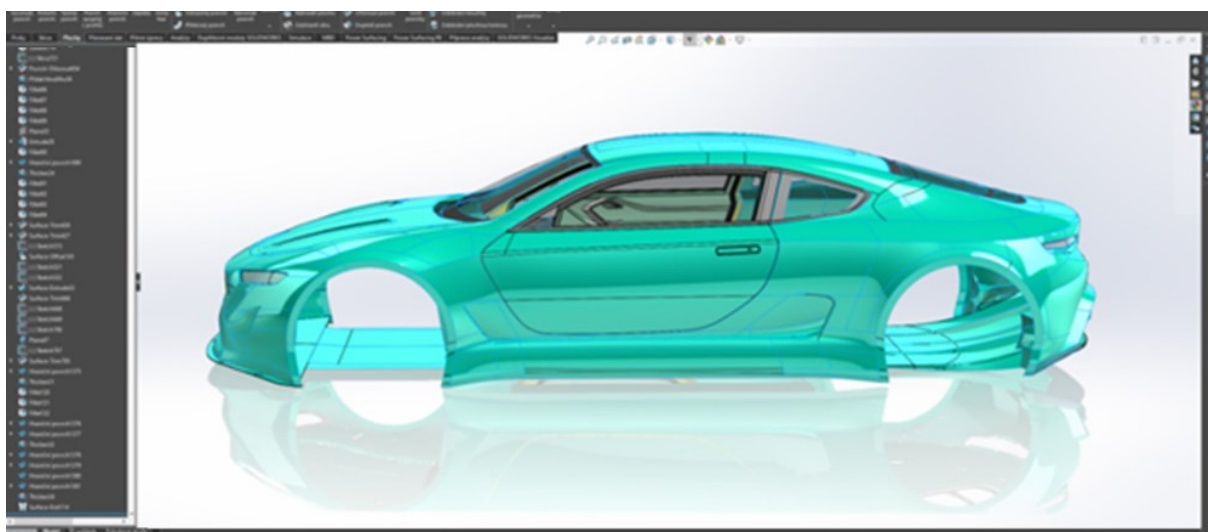
bateriového packu a dle ergonomie posádky v interiéru navázaných na pack museli být určeny rozměry karoserie. Vývojový cyklus elektromobilu je nerozpojitelným kruhem vzájemně se ovlivňujících vazeb. Navržená karoserie představuje volbu nejkompaktnější velikosti karoserie, která neomezuje komfort a bezpečnost posádky.



*Obr. 16: Implementace funkčnosti motýlích dveří*

#### **4.1.6 Modelování karoserie ve 3D CAD softwaru**

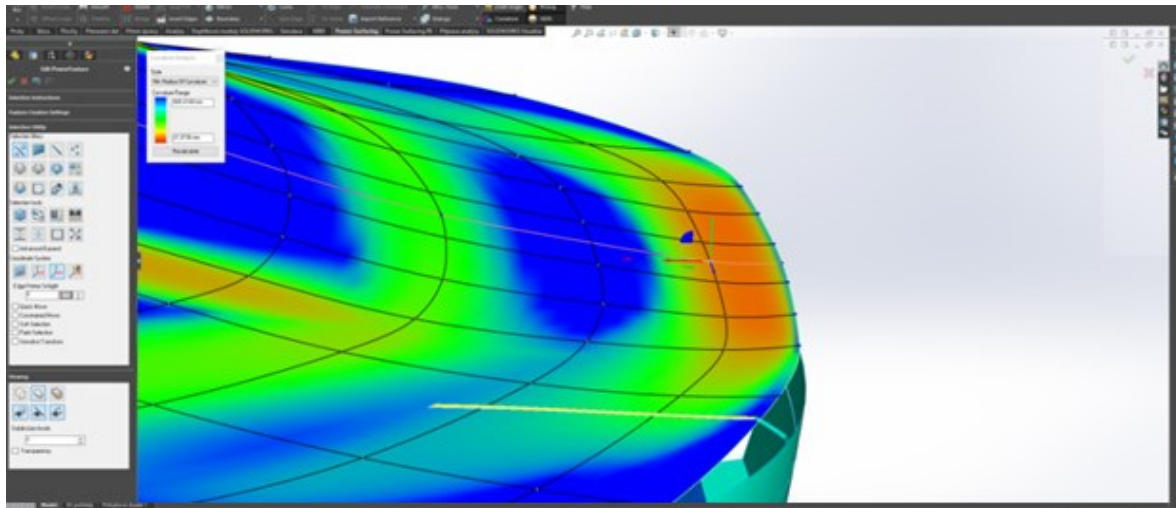
Karoserie byla kompletně namodelována v 3D CAD konstrukčním softwaru SolidWorks, který umožňuje snížení nákladů na vývoj virtuálním testováním každého navrženého dílu z fyzikálního i estetického hlediska. Díly vozu jsou navrženy s ohledem na snadnou odformovatelnost. Klenutí různých organických tvarů 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. 17: Exteriér vozu v modelovacím CAD softwaru Solidworks (náhled)*

#### 4.1.7 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. „A-class surfacing“ je metoda vyhlazování karoserií, která zajišťuje povrchově tvarovou stálost a dokonalou tečnost všech navazujících ploch na karoseriích automobilů nebo letadel.



Obr. 18: Vyhlazování ploch v modulu NPowerSurface (zadní „ducktail“)

#### 4.1.8 Inovace založené na zkušenostech z Virtuální reality

Virtuální realita byla k vývoji karoserie aplikována za účelem šetření finančních, ale i časových a lidských zdrojů. Dalším velmi důležitým faktorem vývoje ve virtuální realitě je rychlost, se kterou je možné karoserii a interiér přepracovávat. 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. 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.



Obr. 19: Virtuální projekce rozpracované karoserie

## 4.2 Interiér vozu

Pro vůz byla později navržena druhá generace interiéru, která více reflektovala požadavky spolupráce s Technologickou Agenturou ČR. (Obr. 20) Klíčová byla v tomto ohledu opět virtuální realita, která celý proces přepracování urychlila. Tentokrát koncepce pracovala se zlepšením pasivní bezpečnosti pro spolujezdce a tomu bylo přizpůsobeno i celkové pojetí.



*Obr. 20: Návrh interiéru další generace – kombinace vizualizace a skici*



*Obr. 21: Interiér vozu ve virtuální realitě*

## 4.3 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 žebere. 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.





*Obr. 22: Interiér závodního kokpitu navržený a uzpůsobený pro přežití případné havárie ve vysoké rychlosti [9] a Řez interiéru vozu Titan – plánovaná pozice spolujezdce*

#### **4.4 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. Maketa interiéru dostala všem ergonomickým parametrům a pro realizaci v reálném voze není třeba dalších rozměrových úprav.



*Obr. 23: Maketa interiéru vozu se čtyřmi dospělými figuranty*



*Obr. 24: Fyzická realizace makety interiéru s funkčními prvky*

## 5 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 přítlačných silách, které by měli zlepšovat ovladatelnost vozu v zatáčkách při vysokých rychlostech. Takto lze zjistit limity vozu a maximální výkonový potenciál podvozkové platformy. 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 přítlačné 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 zvýšený tlak na karoserii. Velikost tohoto tlaku je ovlivněna rychlostí obtékání. 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 jako přímo úměrnou rychlosti tělesa. Ve vyšších rychlostech však odporová síla vzrůstá s druhou mocninou rychlosti. (Vlk, 2000)

### 5.1.1 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 pod

vozidlem 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 se ověřují 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**

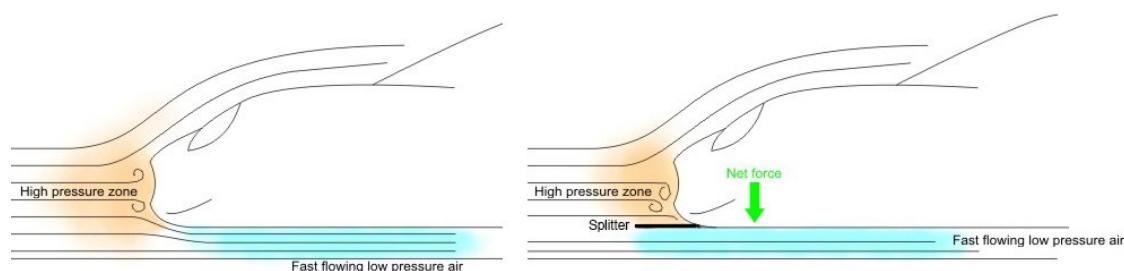
Směr přítlaku je dolů normálově vzhledem k vozovce. Je to síla, která se tvoří při jízdě vozidla, kdy na horní straně jeho vnějšího pláště je vyšší aerodynamický tlak než na straně spodní. Dochází k většímu zatížení pneumatik v oblasti dezénu s povrchem vozovky bez zvýšení hmotnosti vozidla. Větší zatížení 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)

## **5.1.2 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.



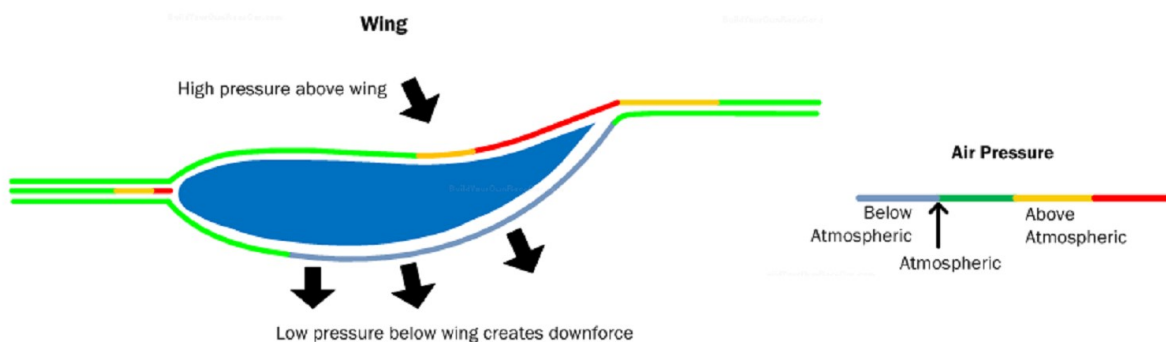
*Obr. 25: Princip funkce splitteru – vůz Lotus Elise [10]*



Obr. 26: Přední Splitter [11]

### 5.1.3 Princip funkce přitlačného křídla

Přitlačné křídlo napomáhá vozu v přenášení točivého momentu na vozovku, ale zároveň vytváří odpor vzduchu a zvyšuje celkovou spotřebu. Přitlačné 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 přitlačného 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. 27: Schéma přitlačného křídla [12]

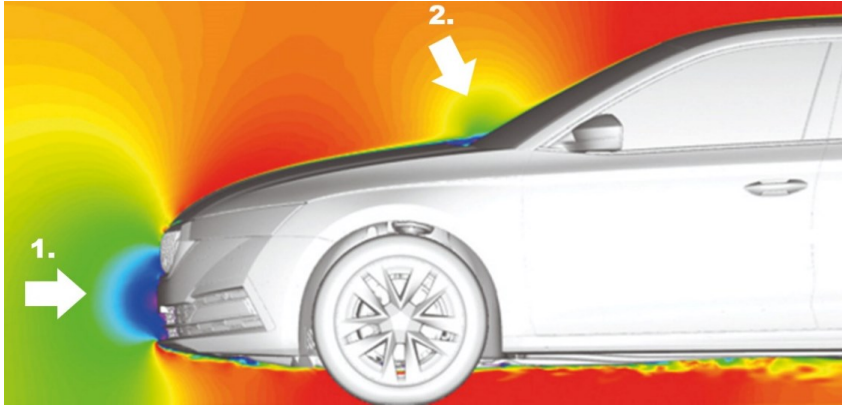
### 5.1.4 Nejvhodnější umístění otvoru pro chlazení vozidla

Na příkladu rychlosti proudění u vozidla Škoda Octavia (Obr. 28) je zřejmé, že nejvyšší vytvářený tlak na vozidlo je vytvářen ve spodní části předního nárazníku, z toho důvodu je toto 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 č. 29 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.

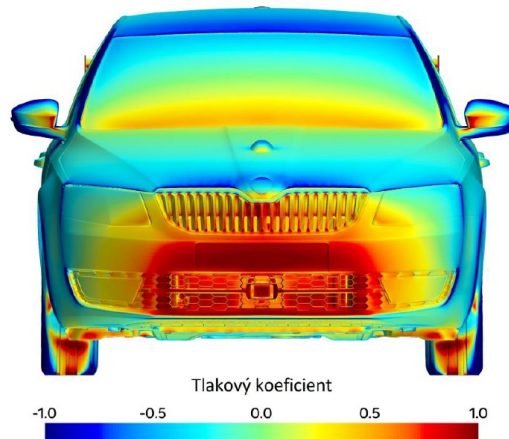
### 5.1.5 Simulace rozložení tlaku Škoda Octavia IV

Dle dat poskytnutých automobilkou Škoda lze zkoumat a popisovat fenomény, které se na voze při jeho aerodynamickém testování projevují. Na obrázku č. 29

je patrný zvýšený tlak uprostřed spodní části předního nárazníku. Toto měření tlaku jasně ukazuje, z jakého důvodu umísťují 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. 28: Snížená rychlost proudění vzduchu v oblastech 1. a 2. [13]



Obr. 29: Rozložení tlaku v přední části vozu Škoda Octavia III [14]

### 5.1.6 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. 30)



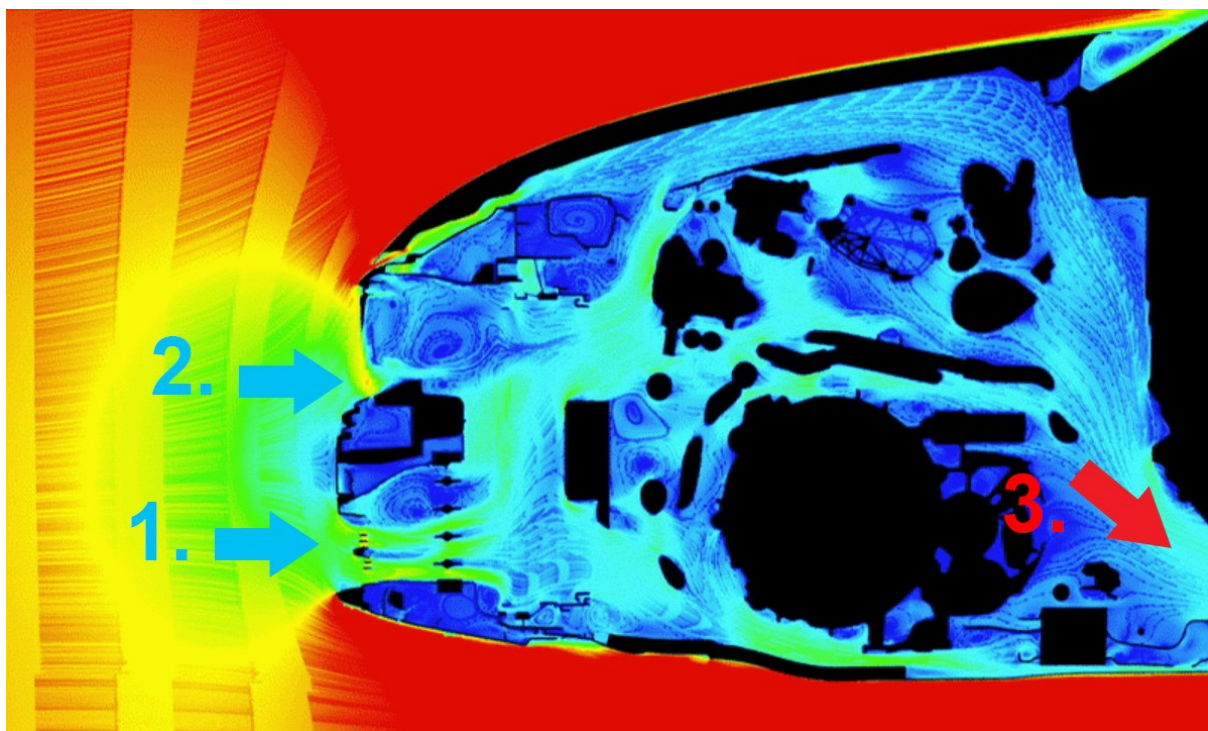
Obr. 30: Audi A6 [15], [16] upraveno

## 6 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 předním kolem 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.

### 6.1 Standartní řešení nasávání vzduchu

Pro pochopení problematiky chlazení vozů dobře slouží analýza společnosti Škoda auto provedena na voze Scala se spalovacím motorem. Na řezu lze vidět, (Obr. 31) 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 předním kolem. (3.) (Obr. 31; 32) 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.



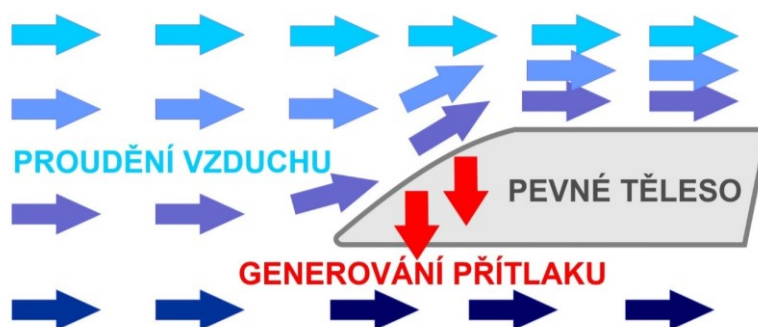
Obr. 31: Simulace proudění vzduchu ve voze Škoda Scala [17] upraveno



Obr. 32: Simulace proudění vzduchu kolem vozu Škoda Octavia IV [18] upraveno

### 6.1.1 Zakomponování principu přitlaku do masky vozu

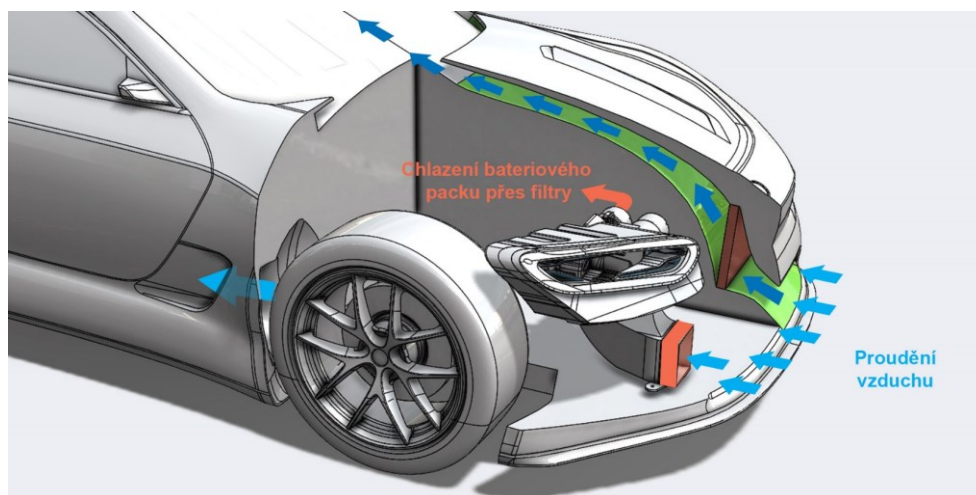
Podobný princip, jaký využívají přední splitry vozu (Kap. 5.1.2.) lze zkombinovat s jednostranným přitlačným křídlem a docílit tak zcela unikátního řešení přední masky vozu. (Obr. 33; 34; 36; 37) Těleso tohoto jednoduchého tvaru vytváří plynulý odpor a je tlačeno k zemi silou, která je nazývána přitlak. 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.



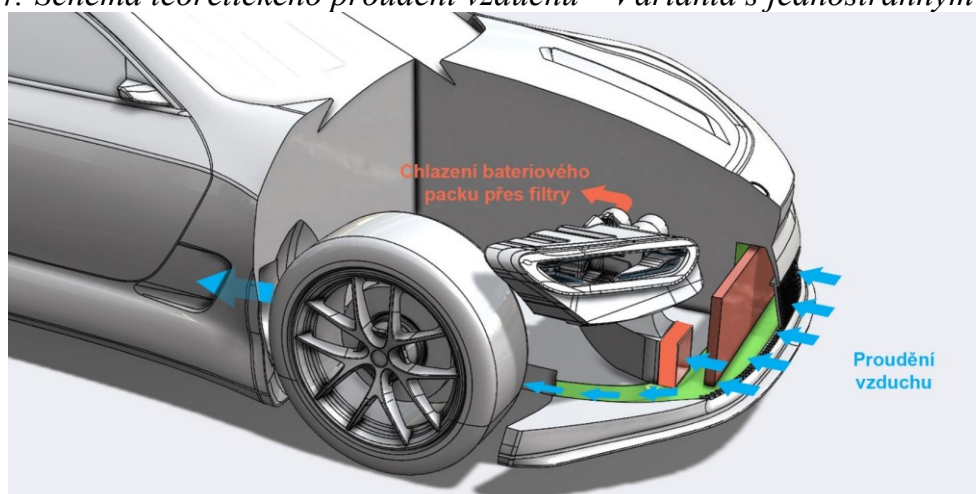
Obr. 33: Jednoduché schéma principu přitlaku klínového tělesa obtékaného vzduchem (například čelního skla automobilu)

## 6.2 Variantní řešení přední masky vozu

Na obrázku 34 je vyobrazena navržená maska s jednostranným křídlem, která by dle hypotézy mohla generovat přitlak vozu bez zvýšení odporu vzduchu. Odtahový kanál za předním kolem je využíván pouze k odvodu horkého vzduchu od předních brzd. Na obrázku 35 je znázorněna varianta masky se standartním řešením nasávání vzduchu do vozidla. V tomto případě uniká přebytečný vzduch do podběhu a odtahovým kanálem za předním kolem je odváděn mimo vozidlo.



Obr. 34: Schéma teoretického proudění vzduchu – Varianta s jednostranným křídlem



Obr. 35: Schéma teoretického proudění vzduchu – Varianta s běžnou maskou

### 6.3 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. 36: Pojízdná podvozková platforma Titan a vizualizace karoserie

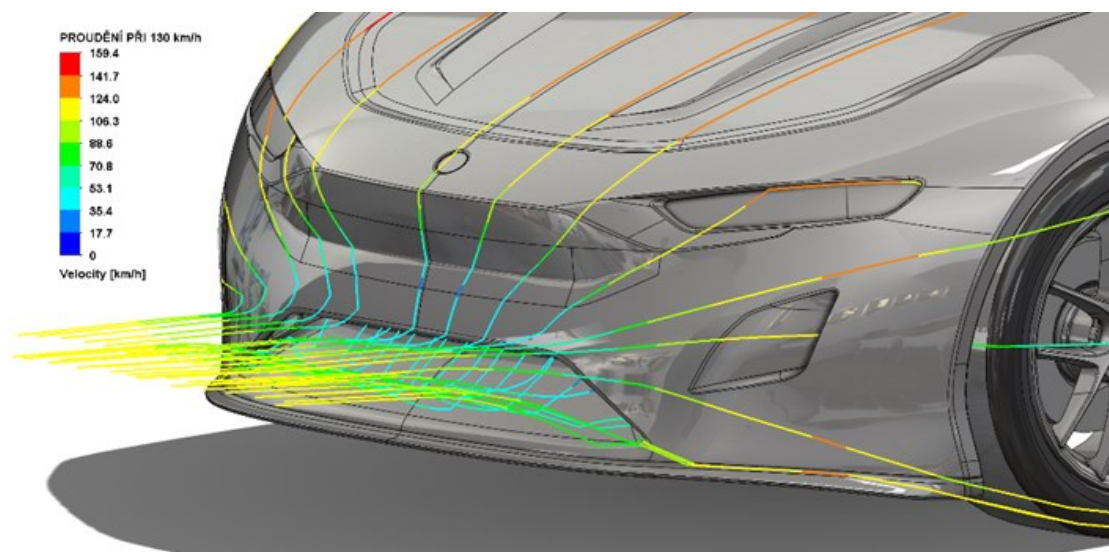


## 7 PŘÍNOS NOVÉHO UNIKÁTNÍHO ŘEŠENÍ PŘEDNÍ MASKY

Z bezpečnostních a praktických důvodů nemohou mít běžné automobily aerodynamicky ideální přední část vozu jako je tomu běžné u 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 druhého hlediska slouží pro efektivní chlazení vozu. Jedná se o nejvhodnější místo pro umístění chladiče, jelikož nejvyšší tlak vzduchu je v nejnižší části prostředku nárazníku. (Obr. 29) Běžný vůz bude před sebou vždy tlačit proud vzduchu, který mu bude klást odpor. Zkoumané řešení by ovšem mělo tento problém obracet ve svůj prospěch.

### 7.1 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. Proudnice obtékají předpokládanými směry a nekříží se. Vůz před sebou tlačí proud vzduchu, což je u konvenčních automobilů nevyhnutelné. Tento faktor naopak zvýhodňuje princip navrženého řešení.

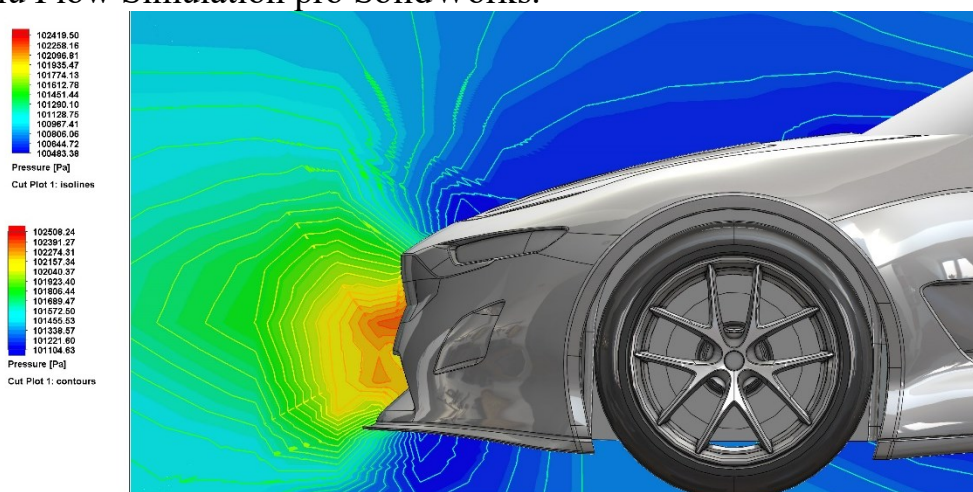


Obr. 37: CFD proudění při 130 km/h

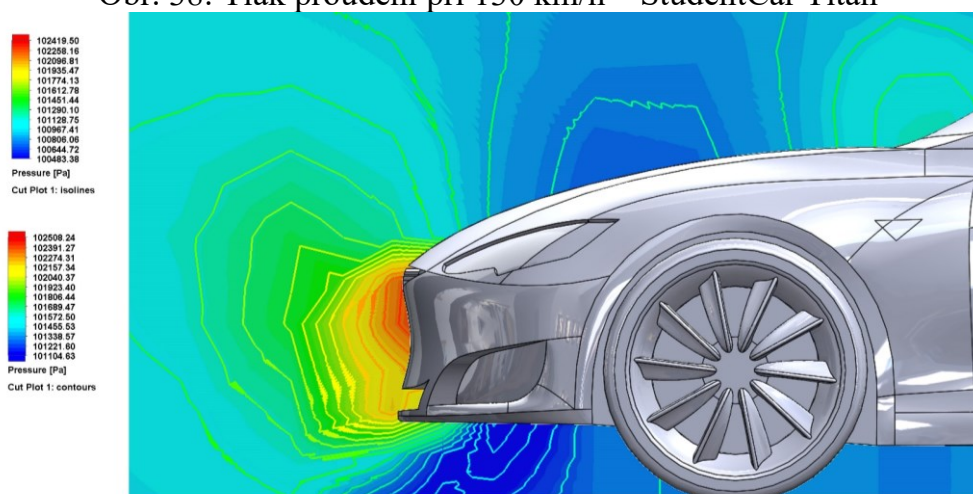
#### 7.1.1 Referenční model – konvenční řešení přední části elektromobilu

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 nejbliže. (Obr. 39) 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. 38)

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



Obr. 39: Tlak proudění při 130 km/h – Tesla model S

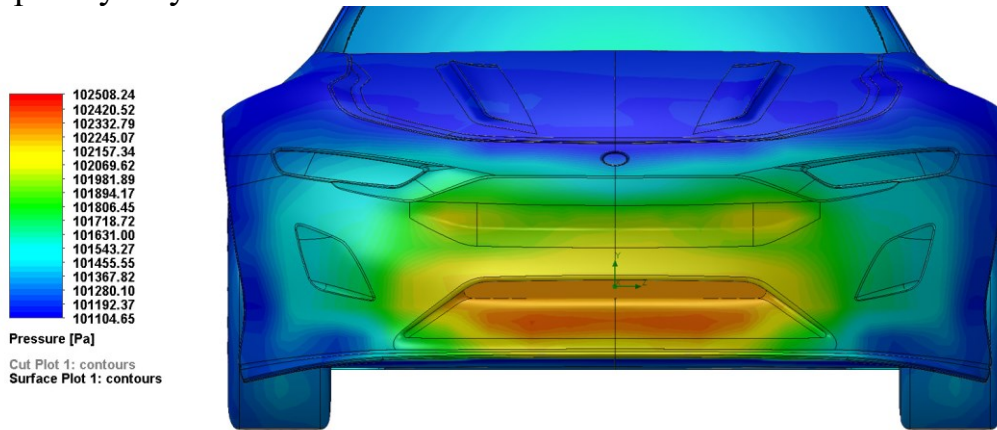
Vůz Tesla může mít díky abnormálně nízkému chladiči nižší bod začátku přední kapoty, přesto je tento design dle aerodynamického měření tlaku méně efektivní, než je navržen u vozu SC Titan. Oba vozy byly vystaveny stejné rychlosti a barevné schéma tlaku je v obou případech identické. Vozy nebyli v tomto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

### 7.1.2 Rozložení tlaku vzduchu z čelního pohledu

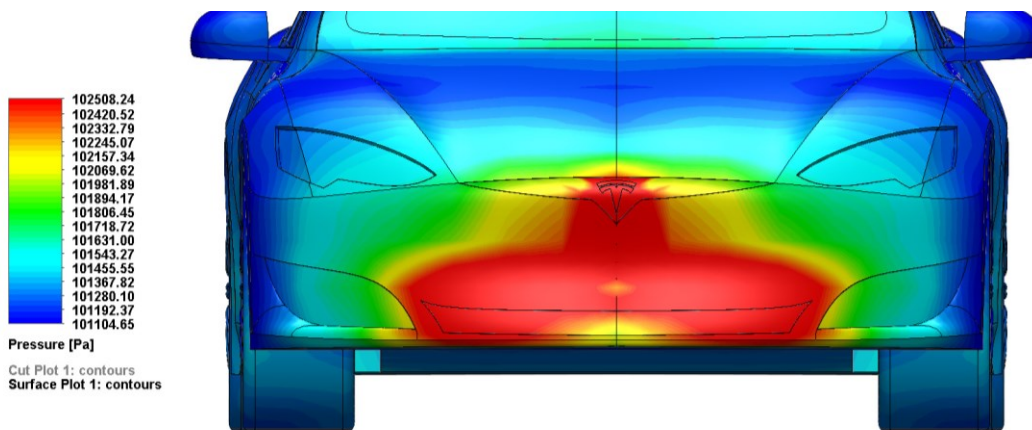
Pro detailní porovnání obou koncepcí byla vytvořena simulace zobrazující rozložení tlaku z čelního pohledu. Navržené řešení SC Titan poměrně vhodně

rozměňuje tlak vzduchu působící na vozidlo. Pravděpodobně je to dáno šipovitým 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.

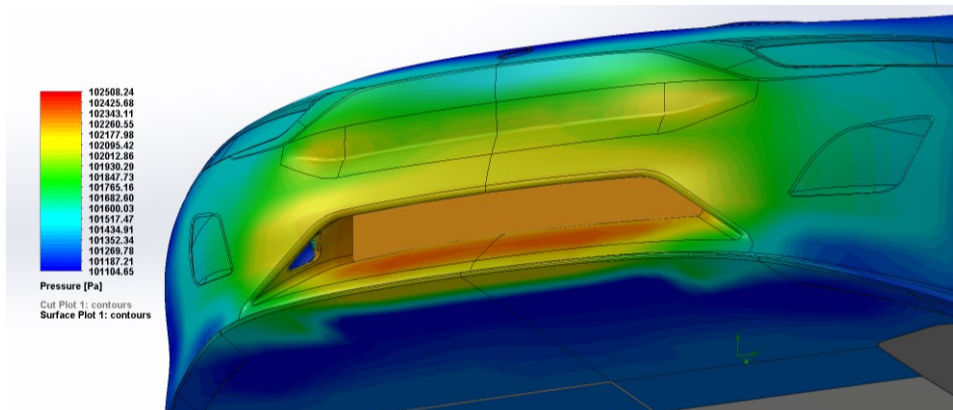
U vozu je Tesla Model S dopadlo měření nevhodně, vůz před sebou tlačí vzduch v neefektivní části předního nárazníku. Široký nízký otvor pro chladič je ovšem pod vysokým tlakem.



Obr. 40: Tlak proudění při 130 km/h – SC Titan



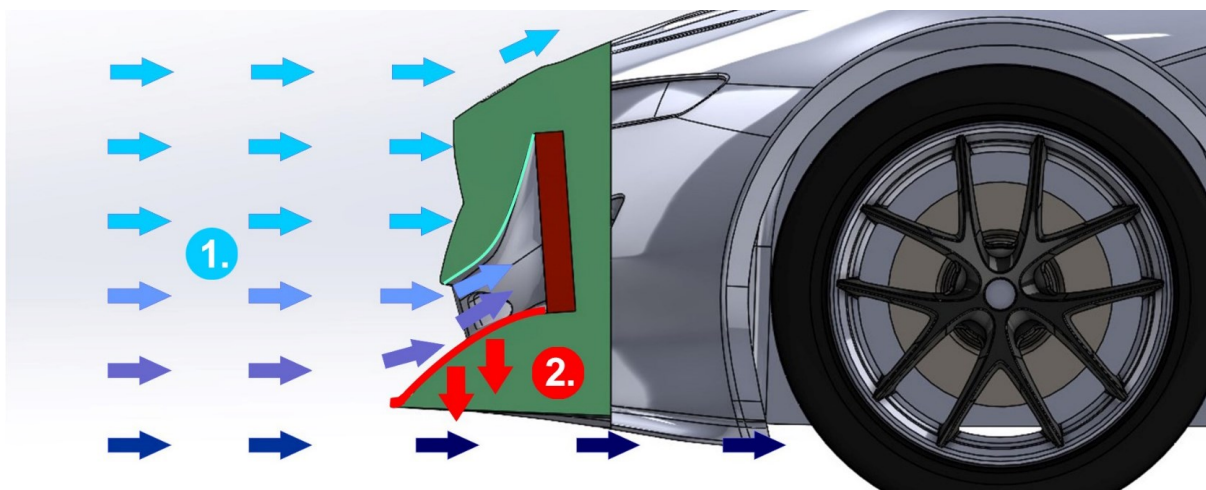
Obr. 41: Tlak proudění při 130 km/h – Tesla model S



Obr. 42: Tlak proudění při 130 km/h – detailnější pohled zespodu, SC Titan

## 7.2 Ověření hypotézy generování přítlaku

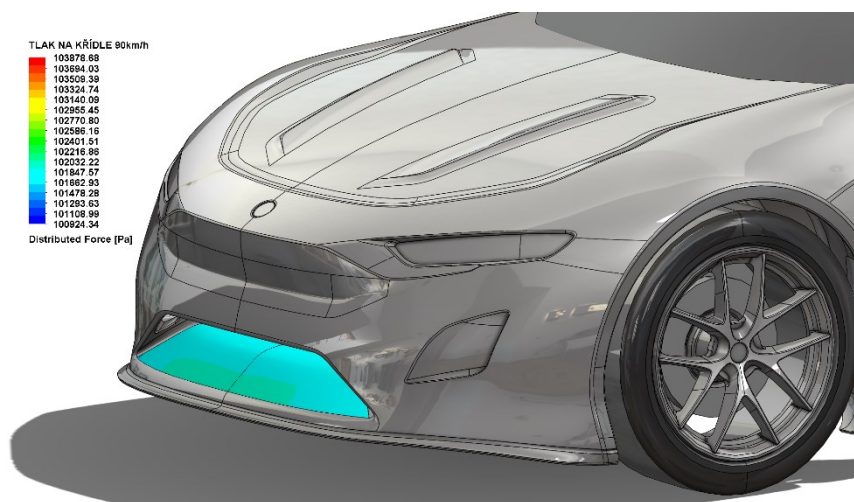
V této fázi výzkumu lze ověřit hypotézu týkající se možného generování přítlaku. Šipky ve schématu (1.) Ukazují předpokládaný směr proudění vzduchu. Toto proudění by mělo dle tlakových zkoušek (Obr. 40; 42) tlačit na vložené jednostranné křídlo a generovat přítlak. (2.)



Obr. 43: Schéma teoretického principu přítlaku u reálného modelu vozu  
č.1. – Proudění vzduchu č.2. – Generování přítlaku

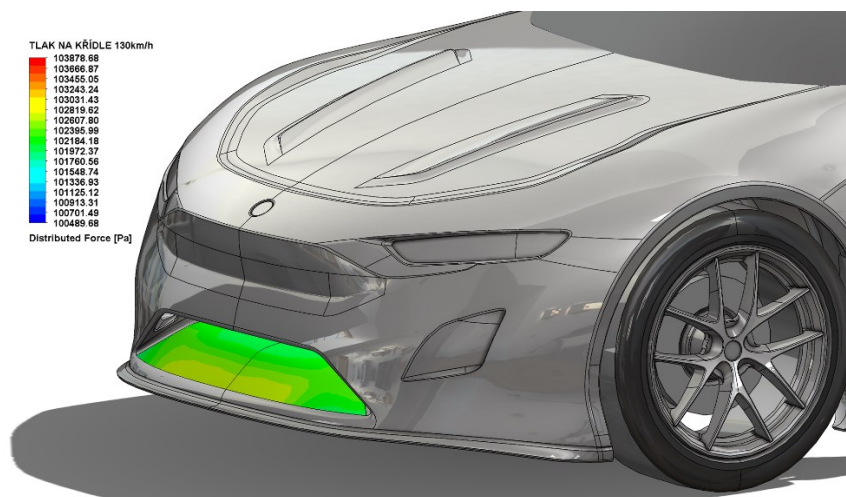
### 7.2.1 Měření přítláčných sil na vložené křídlo

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



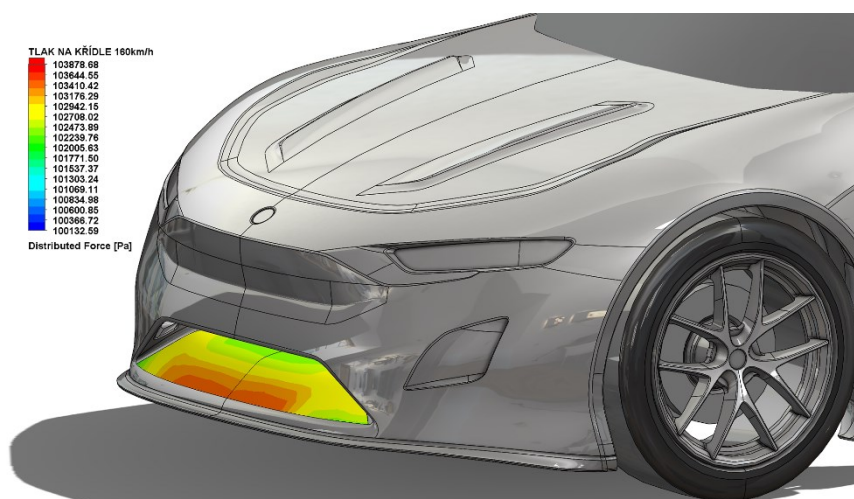
Obr. 44: CFD proudění při 90 km/h

Dle měření vyšel přítlak vloženého jednostranného křídla na hodnotu 82 N při 90 km/h.



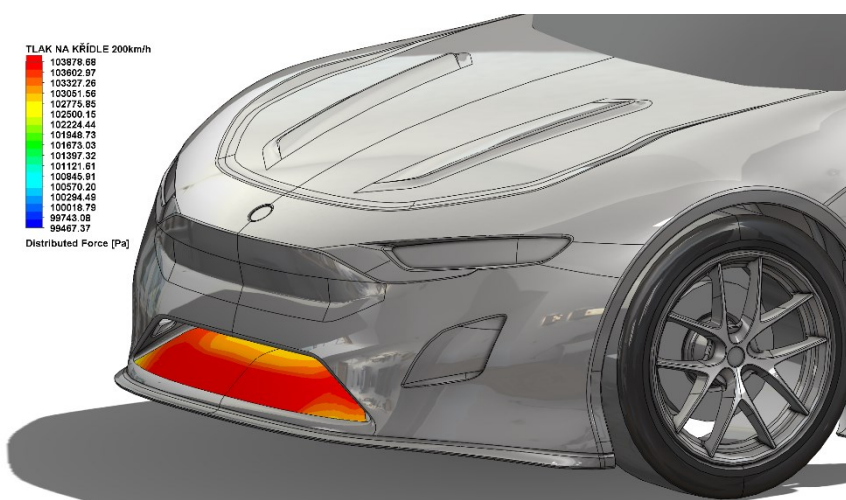
Obr. 45: CFD proudění při 130 km/h

Dle měření vyšel přítlak vloženého jednostranného křídla na hodnotu 171 N při 130 km/h.



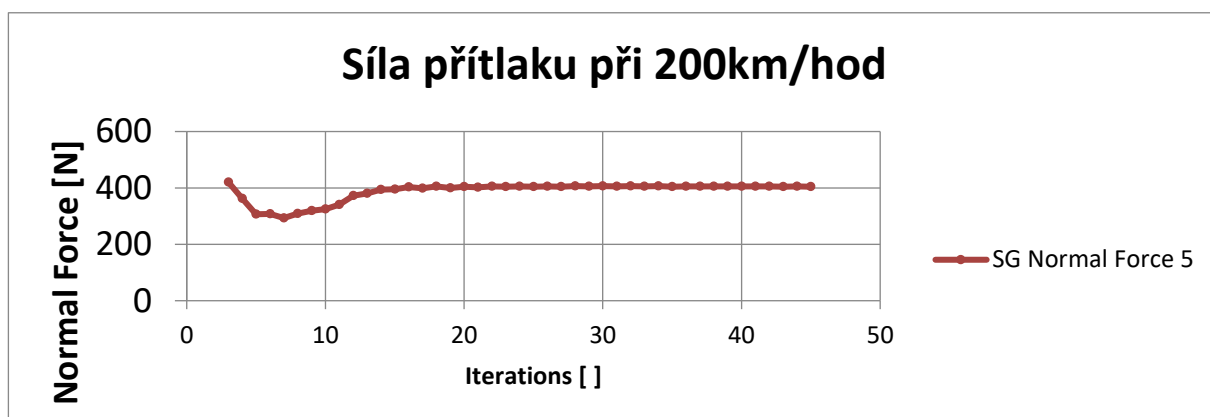
Obr. 46: CFD proudění při 160 km/h

Dle měření vyšel přítlak vloženého jednostranného křídla na hodnotu 258 N při 200 km/h.



Obr. 47: 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.



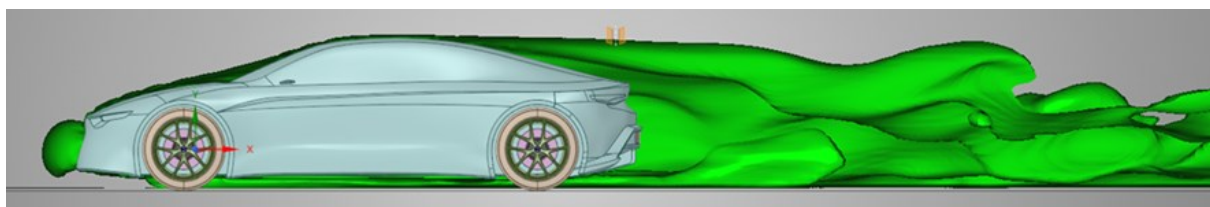
Graf 1 Grafické znázornění sil působících na vložené přítlačné křídlo směrem dolů

### 7.3 Vyhodnocení měření přítlaku a potvrzení hypotézy generování přítlaku a lepšího rozložení tlaku

U běžných vozů není vhodné použití přítlačných křídel 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.

### 7.4 Celková aerodynamika vozu

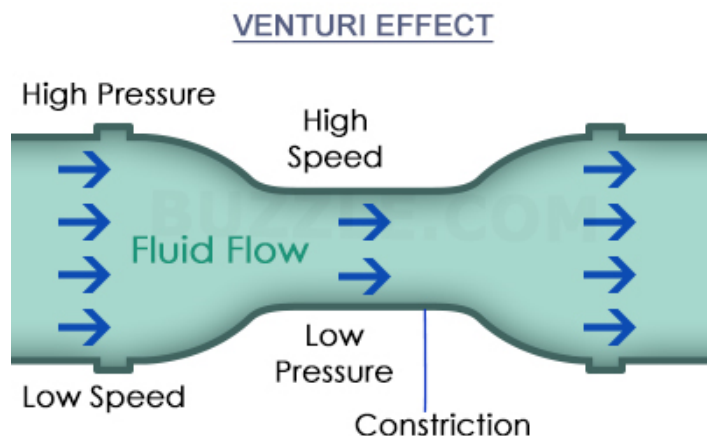
V průběhu vývoje byly vytvářeny a zkoušeny variantní řešení karoserie na kterých se testovali různá tvarová schémata. Navržený vůz využívá pro lepší přítlak vozu difuzor mezi zadní nápravou umožňující přirozené zvýšení přítlaku na zadní nápravu. Toto řešení je v současnosti u vrcholných sportovních vozů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



Obr. 48: CFD obtékání vozu u staršího typu karoserie – Software Ansys. Z toho důvodu bylo nutné simulace zopakovat s finální karoserií v programu Flow design a Flow Simulation SolidWorks

## 7.5 Zadní přitlačný 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. 49: Venturiho efekt [65]

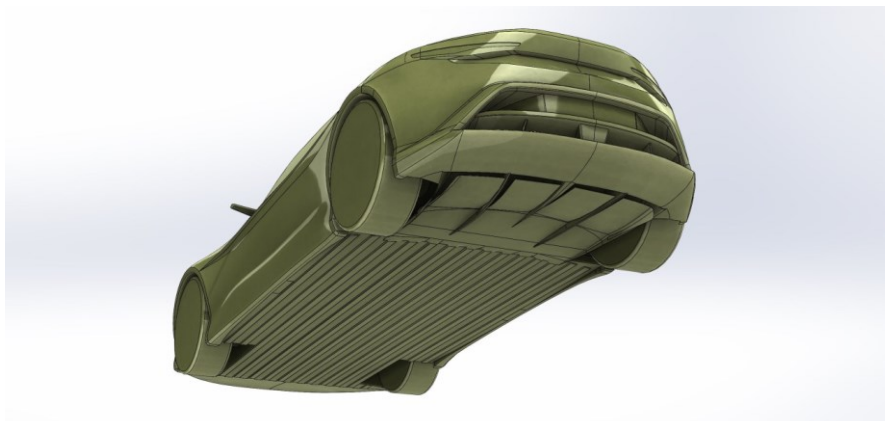
### 7.5.1 Navrhované varianty přitlačných difuzorů

Pro vůz byly navrženy čtyři různé varianty, u kterých proběhlo testování efektivity přítlaku. 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 rozděljuje proudění na dvě části.



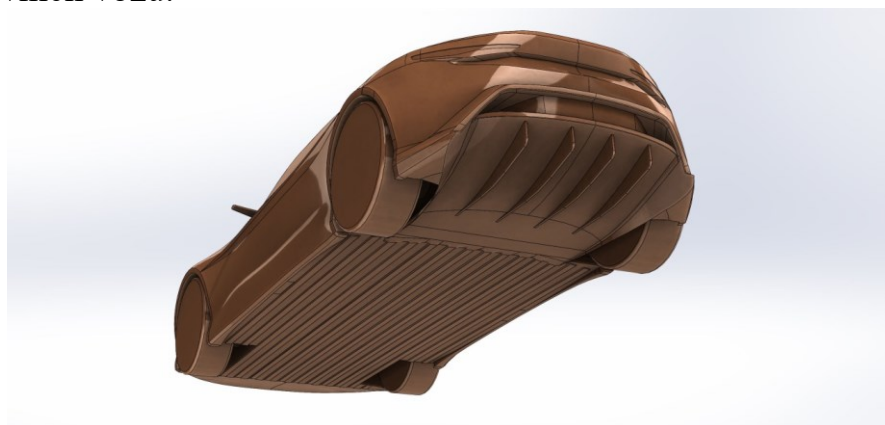
Obr. 50: Difuzor „Typ A“

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. 51: Difuzor „Typ B“*

Varianta C – třetí variantou je aplikace klasického přitlačného difuzoru s běžnými podélnými lamelami. Jedná se o nejrozšířenější řešení aerodynamiky u supersportovních vozů.



*Obr. 52: Difuzor „Typ C“*

Varianta D – poslední variantou je typ D 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.

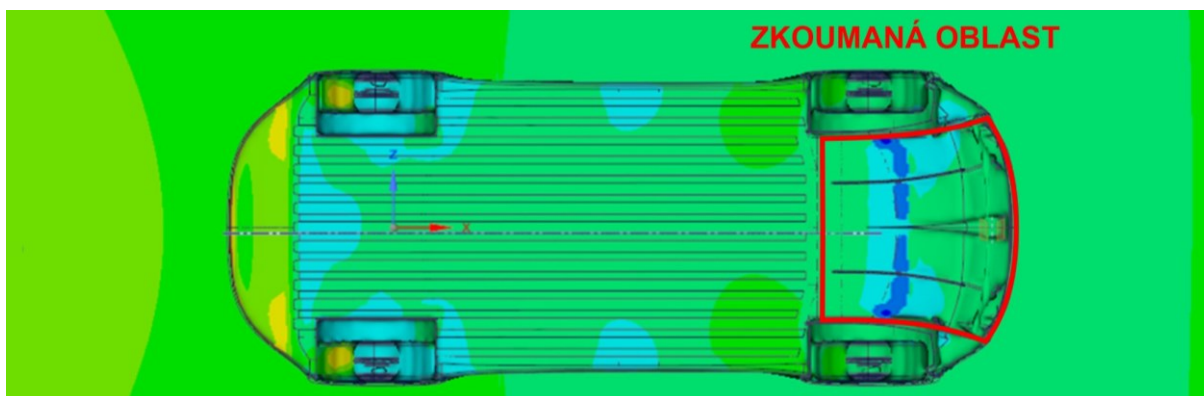


*Obr. 53: Difuzor „Typ D“*



Pro účely pojednání k disertační práci je znázorněno pouze měření nejefektivnějšího typu difuzoru. (Typ A) Analýza byla provedena za pomoci programu Ansys. (Obr. 54) Červená linie ohraničuje zkoumanou oblast funkčních ploch difuzoru, generující přítlak elektromobilu 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. 54: Vyobrazení varianty „A“ v programu Flow design (pohled spodní)

Výsledky 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 neoriginálnější 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

## 7.5.2 Potvrzení druhé hypotézy

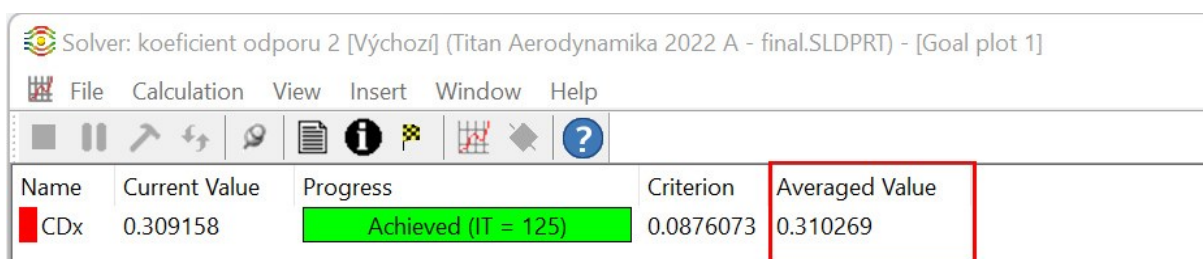
Naměřené výsledky potvrzují druhou hypotézu, že zakroucené lamely difuzoru zlepšují přítlak konvenčního řešení s rovnými lamelami. Zakroucení lamel je patrné na obrázku 50.

## 7.6 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 přítlačných 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 přítlačných křídel. Nejlepší týmy na světě využívají perfektní kompromis mezi vysokým přítlakem a nízkým aerodynamickým odporem.

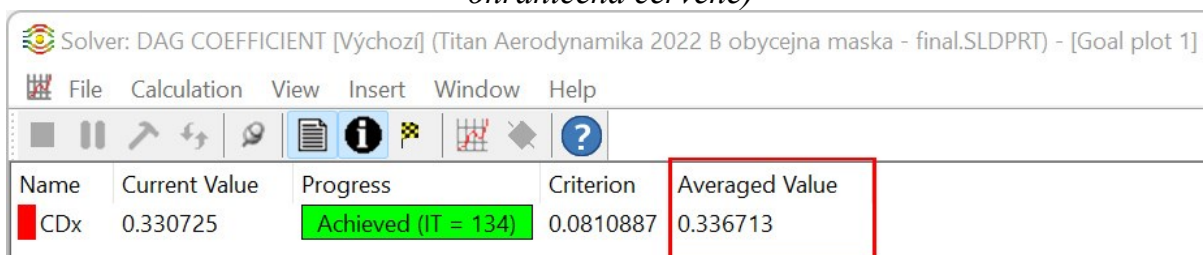
### 7.7 Přesnost měření

Měření naprosto přesného koeficientu odporu a celkové aerodynamiky lze považovat za samostatnou vědní disciplínu, která je svým obsahem tak obsáhlá, že by se jí 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. 55: Verze s vloženým jednostranným křídlem (celková průměrná hodnota ohraničena červeně)

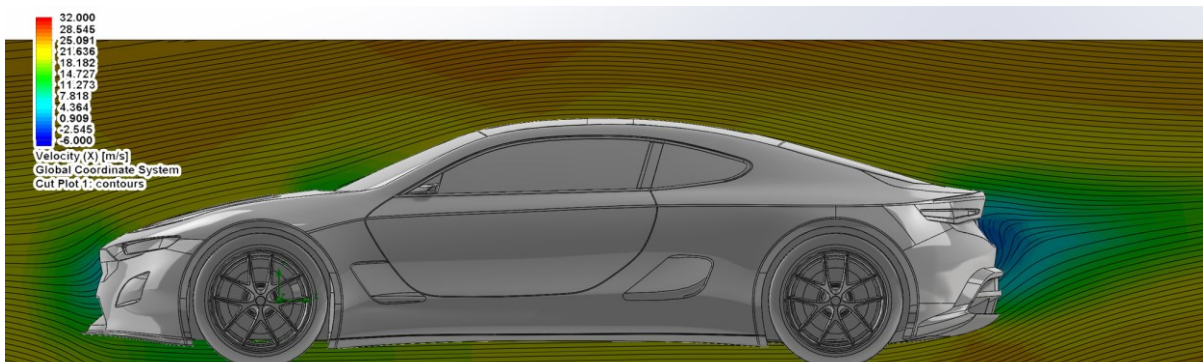


Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
CDx	0.330725	Achieved (IT = 134)	0.0810887	0.336713

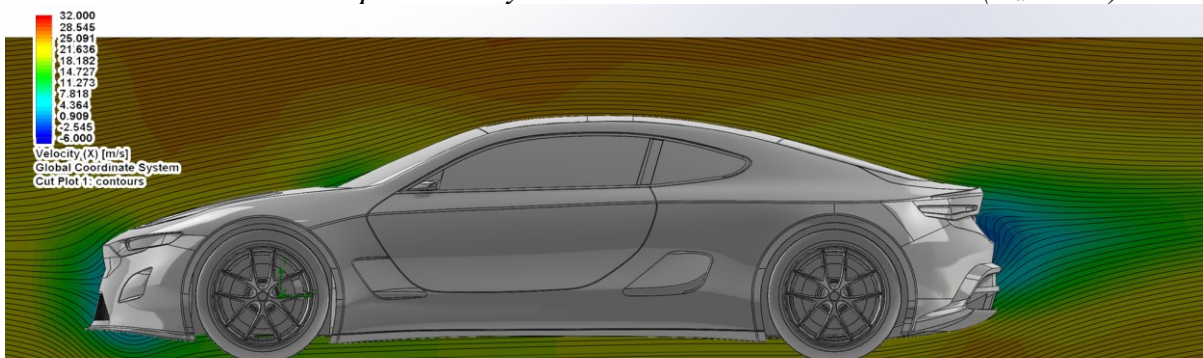
Obr. 56: Verze s běžnou maskou (celková průměrná hodnota ohraničena červeně)

## 7.8 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 nejenže generuje přítlak, kterým zlepšuje ovladatelnost vozu, ale zároveň i snižuje spotřebu vozu. Výsledky byly naměřeny v modulu Flow Simulation SolidWorks.



Obr. 57: Simulace proudění rychlosti vzduchu. Verze s křídlem ( $C_d=0.31$ )



Obr. 58: Simulace proudění rychlosti vzduchu. Verze s běžnou maskou ( $C_d=0.34$ )

### 7.8.1 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.



Obr. 59: Vybroušení první vrstvy polyesterového tmelu

## 7.8.2 Finalizace zmenšeniny vozu

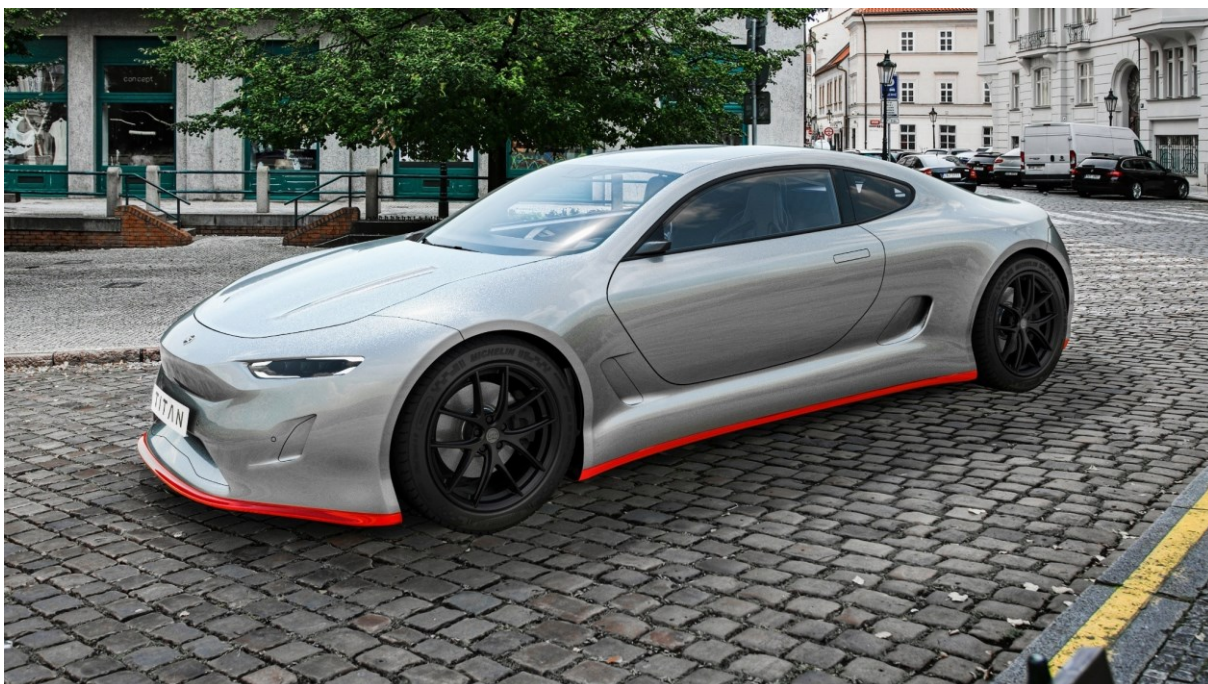
Nevýhodou FMD tiskárny jsou nepřesnosti vznikající při tisku, které je třeba redukovat tmelením kompletní karoserie. Po tmelení, broušení a opětovném tmelení detailů nastává čas lakování, který si vyžaduje pečlivou přípravu, mnoho vrstev a neustálou kontrolu kvality ploch a tvarů.



*Obr. 60: Finální maketa vozu v měřítku 1:4*

## 7.8.3 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 svítilen a světlometů využívající možnosti pasivního chlazení a LED technologie.



*Obr. 61: Exteriér vozu*



*Obr. 62: Exteriér vozu*



*Obr. 63: Exteriér vozu*



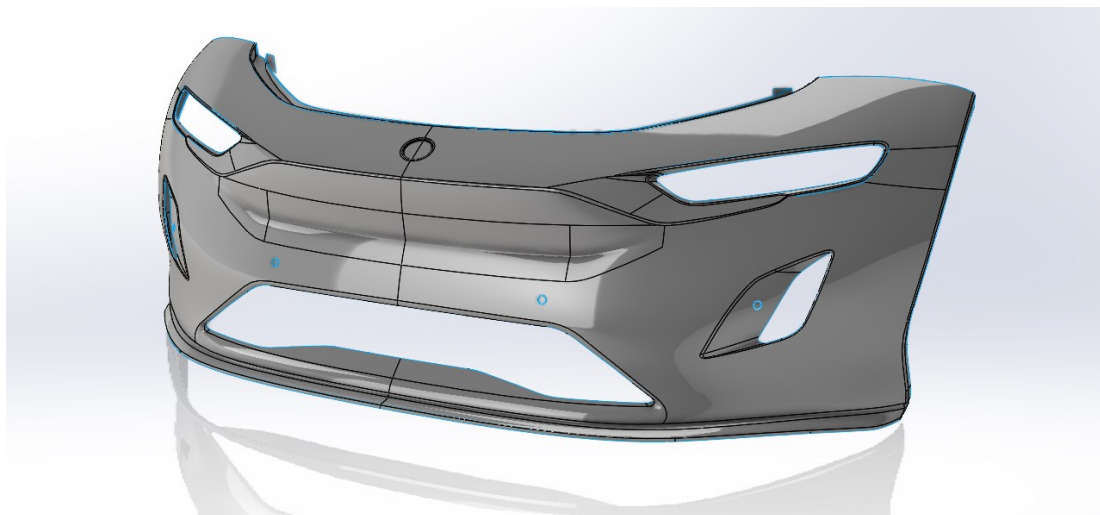
*Obr. 64: Exteriér vozu*

## 7.9 Příprava výroby karoserie

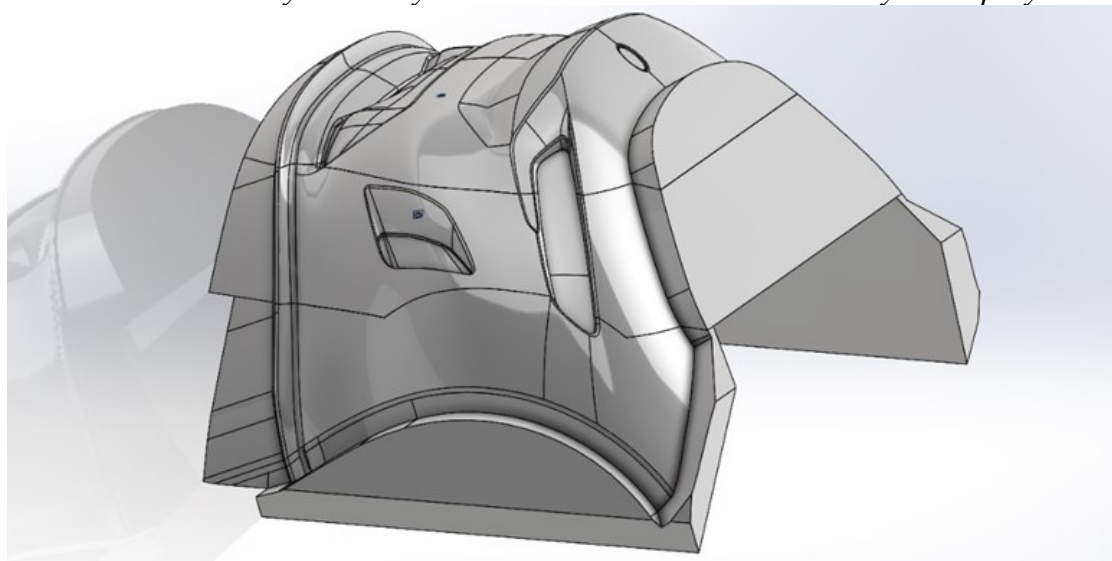
Celý vůz byl navržen s ohledem na vyrobiteľnosť a použitelnost v reálném provozu. Z toho důvodu je v práci reflektován i proces přípravy výroby.

Forma předního nárazníku vozu bude sestavena ze speciálních SIKÁ 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.

S ohledem na nižší finanční náročnost byla zvolena technologie sklolaminátových kompozitů. Všechny práce, vývoj a konzultace byli zajištěny ve spolupráci se společností FORM s.r.o. Horní Lideč. Ukázkovým dílem je virtuální konstrukční návrh předního 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.

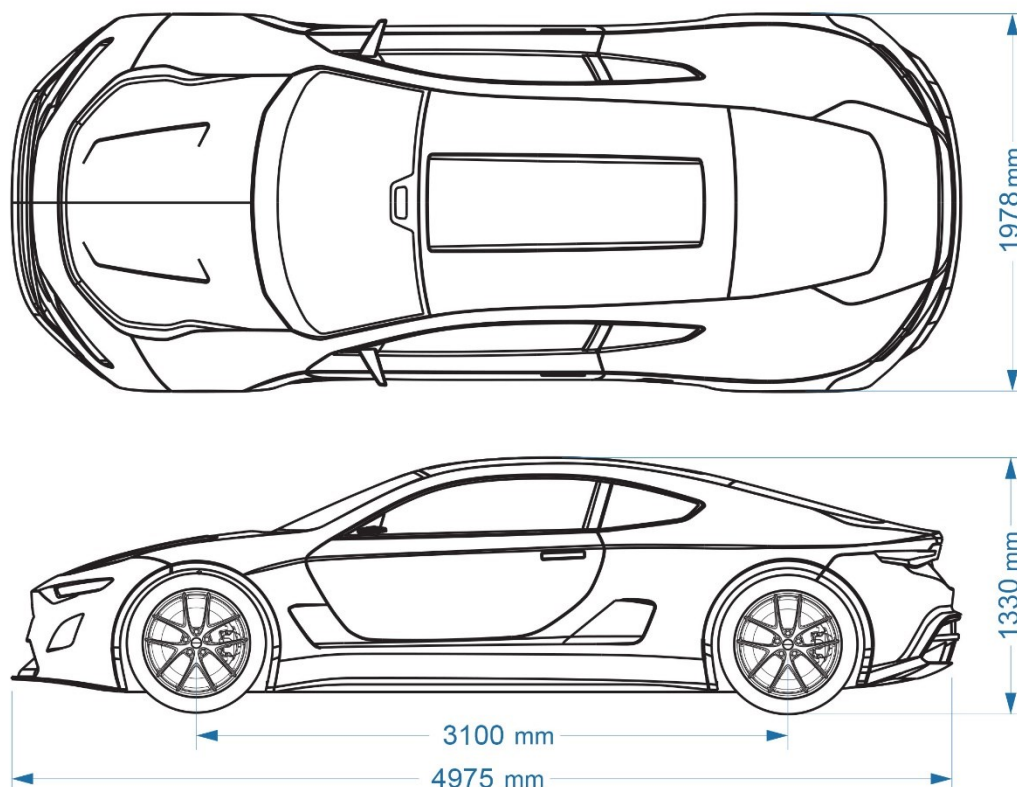


Obr. 65: Požadovaný návrh výrobku ze sklolaminátu o síle stěny skořepiny 3 mm



Obr. 66: Návrh pozitivní formy pro výrobu sklolaminátové formy

## 7.10 Zjednodušený technický výkres elektromobilu SC Titan



Obr. 67: 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

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.

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/>

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>

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

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/>

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

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>

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

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: Tesla Model S (2012) [1] (upraveno)</i> .....	13
<i>Obr. 2: Tesla Model 3 (2017) [2], [3] (upraveno)</i> .....	14
<i>Obr. 3: Porsche Taycan (2019) [4] (upraveno)</i> .....	14
<i>Obr. 4: Lucid Air (2022) [5] (upraveno)</i> .....	15
<i>Obr. 5: Mercedes-Benz EQS (2022) [6] (upraveno)</i> .....	15
<i>Obr. 6: Lightyear One (2022) [7], [8] (upraveno)</i> .....	15
<i>Obr. 7: StudentCar SCX – 2014</i> .....	16
<i>Obr. 8: StudentCar SCE – 2017</i> .....	16
<i>Obr. 9: Variantní kresebné návrhy elektromobilu StudentCar Titan</i> .....	17
<i>Obr. 10: Klíčová skica StudentCar Titan</i> .....	18
<i>Obr. 11: Návrh interiéru v kresebné formě</i> .....	18
<i>Obr. 12: Package a základní plášť vozu (zprůhledněno)</i> .....	19
<i>Obr. 13: První prototyp karoserie ve 3D-náhled ergonomické studie (zprůhledněno)</i> .....	20
<i>Obr. 14: První prototyp karoserie ve 3D</i> .....	20
<i>Obr. 15: Druhý prototyp karoserie ve 3D</i> .....	20
<i>Obr. 16: Implementace funkčnosti motýlích dveří</i> .....	21
<i>Obr. 17: Exteriér vozu v modelovacím CAD softwaru Solidworks (náhled)</i> .....	21
<i>Obr. 18: Vyhlazování ploch v modulu NPowerSurface (zadní „ducktail“)</i> .....	22
<i>Obr. 19: Virtuální projekce rozpracované karoserie</i> .....	22
<i>Obr. 20: Návrh interiéru další generace – kombinace vizualizace a skici</i> .....	23
<i>Obr. 21: Interiér vozu ve virtuální realitě</i> .....	23
<i>Obr. 22: Interiér závodního kokpitu navržený a uzpůsobený pro přežití případné havárie</i> .....	24
<i>Obr. 23: Maketa interiéru vozu se čtyřmi dospělými figuranty</i> .....	24
<i>Obr. 24: Fyzická realizace makety interiéru s funkčními prvky</i> .....	24
<i>Obr. 26: Princip funkce splitteru – vůz Lotus Elise [10]</i> .....	26
<i>Obr. 26: Přední Splitter [11]</i> .....	27
<i>Obr. 27: Schéma přítlačného křídla [12]</i> .....	27
<i>Obr. 28: Snížená rychlost proudění vzduchu v oblastech 1. a 2. [13]</i> .....	28
<i>Obr. 29: Rozložení tlaku v přední části vozu Škoda Octavia III [14]</i> .....	28
<i>Obr. 30: Audi A6 [15], [16] upraveno</i> .....	28
<i>Obr. 31: Simulace proudění vzduchu ve voze Škoda Scala [17] upraveno</i> .....	29
<i>Obr. 32: Simulace proudění vzduchu kolem vozu Škoda Octavia IV [18] upraveno</i> .....	30
<i>Obr. 33: Jednoduché schéma principu přítlaku klínového tělesa obtékaného vzduchem (například čelního skla automobilu)</i> .....	30
<i>Obr. 34: Schéma teoretického proudění vzduchu – Varianta s jednostranným křídlem</i> .....	31
<i>Obr. 35: Schéma teoretického proudění vzduchu – Varianta s běžnou maskou</i> .31	
<i>Obr. 36: Pojízdňá podvozková platforma Titan a vizualizace karoserie</i> .....	31

<i>Obr. 37: CFD proudění při 130 km/h</i> .....	32
<i>Obr. 38: Tlak proudění při 130 km/h – StudentCar Titan</i> .....	33
<i>Obr. 39: Tlak proudění při 130 km/h – Tesla model S</i> .....	33
<i>Obr. 40: Tlak proudění při 130 km/h – SC Titan</i> .....	34
<i>Obr. 41: Tlak proudění při 130 km/h – Tesla model S</i> .....	34
<i>Obr. 42: Tlak proudění při 130 km/h – SC Titan</i> .....	34
<i>Obr. 43: Schéma teoretického principu přitlaku u reálného modelu vozu</i> .....	35
<i>Obr. 44: CFD proudění při 90 km/h</i> .....	35
<i>Obr. 45: CFD proudění při 130 km/h</i> .....	36
<i>Obr. 46: CFD proudění při 160 km/h</i> .....	36
<i>Obr. 47: CFD proudění při 200 km/h</i> .....	36
<i>Obr. 48: 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> .....	37
<i>Obr. 49: Venturiho efekt [65]</i> .....	38
<i>Obr. 50: Difuzor „Typ A“</i> .....	38
<i>Obr. 51: Difuzor „Typ B“</i> .....	39
<i>Obr. 52: Difuzor „Typ C“</i> .....	39
<i>Obr. 53: Difuzor „Typ D“</i> .....	39
<i>Obr. 54: Vyobrazení varianty „A“ v programu Flow design (pohled spodní)</i> ..	40
<i>Obr. 55: Verze s vloženým jednostranným křídlem (celková průměrná hodnota ohraničena červeně)</i> .....	41
<i>Obr. 56: Verze s běžnou maskou (celková průměrná hodnota ohraničena červeně)</i> .....	41
<i>Obr. 57: Simulace proudění rychlosti vzduchu. Verze s křídlem (<math>C_d=0.31</math>)</i> .....	42
<i>Obr. 58: Simulace proudění rychlosti vzduchu. Verze s běžnou maskou (<math>C_d=0.34</math>)</i> .....	42
<i>Obr. 59: Vybroušení první vrstvy polyesterového tmelu</i> .....	42
<i>Obr. 60: Finální maketa vozu v měřítku 1:4</i> .....	43
<i>Obr. 61: Exteriér vozu</i> .....	43
<i>Obr. 62: Exteriér vozu</i> .....	44
<i>Obr. 63: Exteriér vozu</i> .....	44
<i>Obr. 64: Exteriér vozu</i> .....	44
<i>Obr. 65: Požadovaný návrh výrobku ze sklolaminátu o síle stěny skořepiny 3 mm</i> .....	45
<i>Obr. 66: Návrh pozitivní formy pro výrobu sklolaminátové formy</i> .....	45
<i>Obr. 67: Náhled základních rozměrů vozu StudentCar Titan</i> .....	46

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ OBRÁZKŮ

- [1] US NEWS. ©2022 [online]. Dostupné z: <https://cars.usnews.com/cars-trucks/tesla/model-s/2013/photos-exterior>
- [2] 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/>
- [3] 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/>
- [4] MONTESQUIEU-VOLVESTRE ©2022 [online]. Dostupné z: <http://www.montesquieuvolvestre.com/2019/09/voitures-de-legende-1033-porsche-taycan-2020.html>
- [5] Lucid Motors Inc. 2022 [online]. Dostupné z: <https://www.lucidmotors.com/media-room>
- [6] 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>
- [7] 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>
- [8] YOUTUBE.COM ©2022 [online]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=bSbWwn\\_YCr8&t=852s](https://www.youtube.com/watch?v=bSbWwn_YCr8&t=852s)
- [9] Elemental Automotive Group. 2022 [online]. Dostupné z: <https://elementalcars.co.uk/the-rp1/design/driving-position/>
- [10] SELOC ©2022 [online]. Dostupné z: [https://wiki.seloc.org/a/Front\\_splitter](https://wiki.seloc.org/a/Front_splitter)
- [11] Formula1-dictionary ©2022 [online]. Dostupné z: <https://www.formula1-dictionary.net/splitter.html>
- [12] Build your own race car ©2022 [online]. Dostupné z: <https://www.buildyourownracecar.com/race-car-aerodynamics-basics-and-design/4/>
- [13] ŠKODA ©2022 [online]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/skoda-svet-cs/inovace-a-technologie/perfektne-aerodynamicka-skoda-octavia/>

- [14] 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/>
- [15] 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/>
- [16] TESLA 2022 [online]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/models>
- [17] AUDI 2022 [online]. Dostupné z: <https://audi-mediacycenter.pl/artykul,27874,naped>
- [18] 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 přitlačné křídlo směrem dolů .....

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 výsledné síly působící na jednotlivé typy difuzorů při 160 km/h.....40

## 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:

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

Soutěž Ministerstva Zemědělství ČR na podporu zdravé výživy dětí - 2. místo, Přeprováň 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

Zahraníční 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, Ph.D.

## **Design pro elektromobilitu**

Design for electromobility

Teze disertační práce

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

Náklad: vyšlo elektronicky

Sazba: MgA. Rostislav Zapletal, Ph.D.

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Rok vydání 2022

Pořadí vydání: první

ISBN 978-80-7678-2

