

Design kapotáže Formula Student

BcA. Daniel Nad'

Diplomová práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta multimediálních komunikací

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta multimediálních komunikací
Ateliér Průmyslový design

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	BcA. Daniel Nad'
Osobní číslo:	K20078
Studijní program:	N8206 Výtvarná umění
Studijní obor:	Multimédia a design – Průmyslový design
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Design dopravního prostředku

Zásady pro vypracování

1. Úvod
2. Analýza řešené problematiky
3. Cíle práce
4. Variantní designérské návrhy
5. Finální designérské řešení
6. Ergonomická studie
7. Technická dokumentace
8. Fyzický model/ realizovaný výrobek
9. Shrnutí přínosů práce

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci - nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že:

- jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně dne:2.5.2024.....

Jméno a příjmení studenta:DANIEL NAŘ.....



podpis studenta

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Jazyk zpracování: **Slovenština**

Seznam doporučené literatury:

KOLEŠÁR, Zdeno. Kapitoly z dějin designu. V Praze: Vysoká škola umělecko-průmyslová, 2004. ISBN 80-86863-03-4.

MAREK, Jakub a Petr SKŘEHOT. Základy aplikované ergonomie. Praha: VÚBP, 2009. Bezpečný podnik. ISBN 978-80-86973-58-6.

LIDWELL, William, Kritina HOLDEN a Jill BUTLER. Univerzální principy designu: 125 způsobů jak zvýšit použitelnost a přitažlivost a ovlivnit vnímání designu. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-3540-2.

SWEARD, Derek. Race car design. London: Palafravel/Macmillan, 2004. ISBN 978-1-137-03014-6

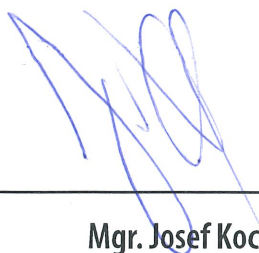
TREMAYNE, David. The Science of Formula 1 Design. Yeovil: Haynes Publishing, 2006. ISBN 1-84425-340-6

Vedoucí diplomové práce: **doc. MgA. Martin Surman, ArtD.**
Ateliér Průmyslový design

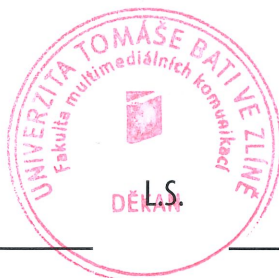
Oponent diplomové práce: **Ing. Tomáš Skřivánek**
Ateliér Průmyslový design

Datum zadání diplomové práce: **1. prosince 2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2024**



Mgr. Josef Kocourek, Ph.D.
děkan



doc. MgA. Martin Surman, ArtD.
vedoucí ateliéru

ABSTRAKT

Predmetom tejto diplomovej práce je dizajn kapotáže závodného monopostu, ktorý sa účastní prestížnej medzinárodnej súťaže Formula Student. Dizajn kapotáže bol vytvorený pre tím CULS Prague Formula Racing

Práca obsahuje návrh piatich konceptov, z ktorých bol vybraný finálny variant. Tento variant bol podrobne rozpracovaný a prevedený do 3D modelu. 3D model bol aerodynamicky simulovaný a upravený do optimálnej podoby z hľadiska aerodynamiky, konštrukčných požiadaviek, technológie výroby a spracovania. Model slúžil ako zdroj vstupných dát na výrobu foriem. Formy boli použité na výrobu kapotáže závodného monopostu.

Kľúčová slova: Formula Student, kapotáž, karoséria, dizajn, závodný monopost

ABSTRACT

The subject of this thesis is the design of the bodywork for a formula car that participates in the prestigious international Formula Student competition. The bodywork design was created for the CULS Prague Formula Racing team.

The thesis includes the design of five concepts, from which a final variant was selected. This variant was then further developed and converted into a 3D model. The 3D model was aerodynamically simulated and optimized for aerodynamics, structural requirements, manufacturing technology, and processing. The model served as input data for the production of molds. The molds were used to manufacture the bodywork of the racing car.

Keywords: Formula Student, fairing, bodywork, design, race singel seater,

Rád by som vyjadril svoje hlboké poďakovanie doc. MgA. Martin Surman, ArtD. za vedenie tejto diplomovej práce, za jeho ochotu, odborné rady a cenné pripomienky. Rovnako by som chcel vyjadriť vďaku tímu CULS Prague Formula Racing a rodine, ktorá ma podporovala v priebehu celého štúdia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

1	ÚVOD	7
1.1	PREDSTAVENIE ZADANIA ABSOLVENTSKEJ PRÁCE	7
1.2	MOTIVAČNÉ FAKTORY PRE VOĽBU TÉMY	7
1.3	VŠEOBECNÉ UVEDENIE DO PROBLEMATIKY	8
2	ANALÝZA RIEŠENEJ PROBLEMATIKY	9
2.1	REŠERŠNÉ METÓDY	9
2.2	HISTORICKÝ VÝVOJ	10
2.2.1	Zrod motoristického športu	10
2.2.2	História závodných monopostov F1	10
2.3	HISTÓRIA SÚŤAŽE FORMULA STUDENT	17
2.4	HISTÓRIA TÍMU A ANALÝZA JEHO MONOPOSTOV	20
2.5	DIZAJNÉRSKA ANALÝZA	26
2.6	VÝSKUM.....	35
2.6.1	Disciplíny súťaže Formula Student	35
2.6.2	Pravidlá súťaže ovplyvňujúce návrh prvkov kapotáže	40
2.6.3	Analýza konštrukčných riešení závodných automobilov	44
2.6.4	Konštrukcia súčasného monopostu	47
2.7	ZHRNUTIE.....	51
3.1	HLAVNÉ CIELE PRÁCE	52
3.2	VEDĽAJŠIE CIELE PRÁCE	53
3.3	OBLASTI MOŽNÝCH INOVÁCIÍ	54
3.4	CIEĽOVÍ UŽÍVATELIA A TRH	54
3.5	VÝROBNÉ PARAMETRE	55
3.5.1	Výrobné technológie	55
	Mokrú lamináciu.....	55
3.5.2	Materiály	56
	Uhlíkové vlákno	56
3.5.3	Výrobné náklady	58
3.5.4	Vplyvy na životné prostredie	59
4	VARIANTNÉ DIZAJNÉRSKE NÁVRHY.....	61
4.1	IDEA KONCEPTU	61
4.2	NÁVRH Č. 1	63
4.3	NÁVRH Č. 2	66
4.4	NÁVRH Č. 3	67
4.5	NÁVRH Č. 4	68
5	FINÁLNE DIZAJNÉRSKE RIEŠENIE	69

5.1	PRACOVNÝ 3D MODEL	71
5.2	FINÁLNY 3D MODEL.....	73
5.3	VIZUALIZÁCIE	74
5.4	AERODYNAMIKA FINÁLNEHO NÁVRHU	76
5.5	GRAFIKA	79
5.5.1	Grafický polep.....	79
5.5.2	Kompozícia grafických prvkov	80
6	ERGONOMICKÁ ŠTÚDIA.....	82
7	TECHNICKÁ DOKUMENTÁCIA	85
7.1	ROZMERY KAPOTÁŽE	85
7.2	ZÁKLADNÁ TECHNICKÁ SCHÉMA.....	86
7.3	POPIS JEDNOTLIVÝCH DIELOV	88
8	VÝROBA PROTOTYPU.....	89
9	ZHRNUTIE PRÍNOSOV PRÁCE.....	93
9.1	REKAPITULÁCIA DIZAJNÉRSKEHO PROCESU	93
9.2	PRÍNOSY A INOVÁCIE DIZAJNÉRSKEHO RIEŠENIA	94
9.3	KRITICKÉ ZHODNOTENIE	94
11	VÝSLEDOK VÝSKUMU	96
12	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY A ZDROJOV	97
13	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK	99
14	ZOZNAM OBRÁZKOV A GRAFOV	100
15	ZMENŠENÉ POSTERY.....	104
15.1	DIZAJNÉRSKY POSTER	104
15.2	TECHNICKÝ POSTER	105
15.3	ERGONOMICKÝ POSTER	106
15.4	SUMARIZAČNÝ POSTER.....	107

1 ÚVOD

1.1 Predstavenie zadania absolventskej práce

Formula Student je prestížna medzinárodná súťaž, počas ktorej študenti inžinierstva musia preukázať svoje znalosti v oblasti konštruovania vozidiel, projektového vedenia a marketingu. V projekte je zapojených viac ako 900 tímov z celého sveta, ktoré sa behom letných mesiacov stretávajú, aby si zmerali sily v troch statických a piatich dynamických disciplínach. Súťaž je pod dohľadom a hodnotením profesionálnych vývojárov a konštruktérov zo sveta motoristického športu. (History of Formula Student)

Diplomová práca sa zaoberá návrhom kapotáže závodného monopostu Formula Student pre tím CULS Formula Racing. Kapotáž je jeden z najviditeľnejších prvkov vozidla, ktorý okrem estetických požiadaviek, musí spĺňať aerodynamické a funkčné nároky, ochranu vodiča a vnútorných komponentov. Všetky vyžadované podmienky musia spĺňať pravidlá súťaže. Priestor pre automobilového dizajnéra v oblasti kapotáže závodného vozidla je obmedzený, avšak nie nemožný.

Cieľom tejto práce je nájsť rovnováhu medzi estetikou a funkčnosťou závodného monopostu. Predpokladom práce je prepojiť jedinečný a funkčný návrh s aerodynamickými prvkami s dôrazom na ergonómiu a proporčnú vyváženosť.

1.2 Motivačné faktory pre voľbu témy

Moja fascinácia všetkým, čo malo motor a kolesá, sa začala už v útlom detstve. Záluba k motoristickému športu a autám sa so mnou preniesla až na vysokú školu. Príležitosť zúčastniť sa súťaže v návrhu karosérie pre tím CULS Prague Formula Racing bola „splnením detského sna“. Víťazstvo znamenalo nielen zhmotnenie tejto túžby, ale aj možnosť prispieť k vývoju monopostu a zažiť atmosféru prestížnej súťaže.

Motiváciou bola možnosť rozvinúť si moje inžinierske zručnosti, naučiť sa nové softvéry a pracovať v tímovom prostredí.

Zdieľaná vášeň pre motoristický šport a možnosť zdieľať nazbierané vedomosti v oblasti dizajnu v tímovom prostredí boli faktory, ktoré ovplyvnili voľbu tejto témy.

1.3 Všeobecné uvedenie do problematiky

V súťaži Formula Student sa prirodzene kladie hlavný dôraz na výkonové a funkčné vlastnosti vozidla, čím sa vizuálna stránka dostáva do úzadia. Je to však chyba. Dizajn zohráva dôležitú úlohu nielen z hľadiska estetického, ale aj funkčného. Atraktívny vzhľad monopostu dokáže pritiahnuť sponzorov a fanúšikov, čím sa zvyšuje prestíž nielen tímu, ale celého projektu. Okrem toho dobrý dizajn dokáže jednotlivé časti formule opticky zjednotiť a zlepšiť aerodynamické vlastnosti.

Aj keď formula Student sa zameriava predovšetkým na technické aspekty, ponúka študentom dizajnu jedinečnú príležitosť uplatniť svoje kreatívne schopnosti v praxi v rámci školy. Tí môžu pozitívne prispieť nielen v dizajne tvaru vozidla ale aj vo vizuálnej identite tímu. Spolupráca dizajnérov a inžinierov tak môže viesť k vytvoreniu nielen výkonného, ale aj esteticky pôsobivého vozidla.

2 ANALÝZA RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

2.1 Rešeršné metódy

Pred samotným procesom navrhovania, bola vykonaná dôkladná analýza riešenej problematiky. Cieľom bolo ponoriť sa hlbšie do sveta Formula Student, získať čo najviac relevantných informácií a využiť ich pri tvorbe návrhu.

Zber informácií bol uskutočnený internetovým prieskumom jednotlivých tímov a ich monopostov. Pre ich výber poslúžila oficiálna nemecká stránka formulastudent.de s medzinárodným rebríčkom všetkých tímov. Tímy boli následne selektované podľa typu šasi a jednotlivých kategórií. Pozornosť bola zameraná na ich históriu, históriu monopostov, vizuálny štýl, pohonnú jednotku, aerodynamické prvky a tvarové riešenia šasi a kapotáže s upriamenou pozornosťou na inovatívne prvky.

Užitočným zdrojom boli rozhovory a konzultácie s tímom CULS Prague Formula Racing a dizajnérmí, ktorý pracovali na predošlých monopostoch. Tí predali cenné vedomosti a poznatky z oblasti aerodynamiky, funkčnosti, materiálov a výroby. Rovnako odporučili aj relevantné tímy a poukázali na problematické miesta kapotáže.

Pravidlá Formula Student sú jedným zo základných zdrojov informácií, ktoré je potrebné dôkladne naštudovať a zistiť všetky obmedzenia v danej kategórii. Celý proces tvorby sa riadi podľa nich.

Bola vykonaná rozsiahla rešerš relevantnej literatúry, vrátane kníh, článkov, noriem a webových stránok. Získané informácie boli použité na pochopenie problematiky, definovanie cieľov práce a na formuláciu teoretického rámca.

2.2 Historický vývoj

Táto kapitola je zameraná na historický vývoj motoristických pretekov. Úvodná časť načrtne vznik pretekov a položí tak základy pre následné preskúmanie histórie Formula 1, vrcholných pretekárskych závodov, ktorých vývoj neoddeliteľne súvisí so súťažou Formula Student. Záver kapitoly sa venuje samotnej súťaži Formula Student.

2.2.1 Zrod motoristického športu

Motoristické preteky prešli od svojich počiatkov od konca 19. storočia veľkou transformáciou. Z demonštračných ukážok technického pokroku na prašných cestách sa stali celosvetovým športom s miliónmi fanúšikov po celom svete. Dnes sú preteky ukážkou inovatívnych technológií, vrcholnej fyzickej zdatnosti jazdcov a zábavy v očiach divákov. Už od počiatku vývoja automobilu bola medzi konštruktérmi chuť a súťaživosť prekonávať vysoké rýchlosti a vyvíjať nové technológie. Táto túžba po inováciách a víťazstve poháňala vývoj parných strojov s podvozkami konskými povozov k sofistikovaným formulovým vozom, ktoré súťažili na slávnych tratiach Grand Prix. Toto obdobie, ktoré trvalo približne 30 rokov, položilo základy pre najproduktívnejšie obdobie v histórii automobilového priemyslu. (Pauer, 2011)

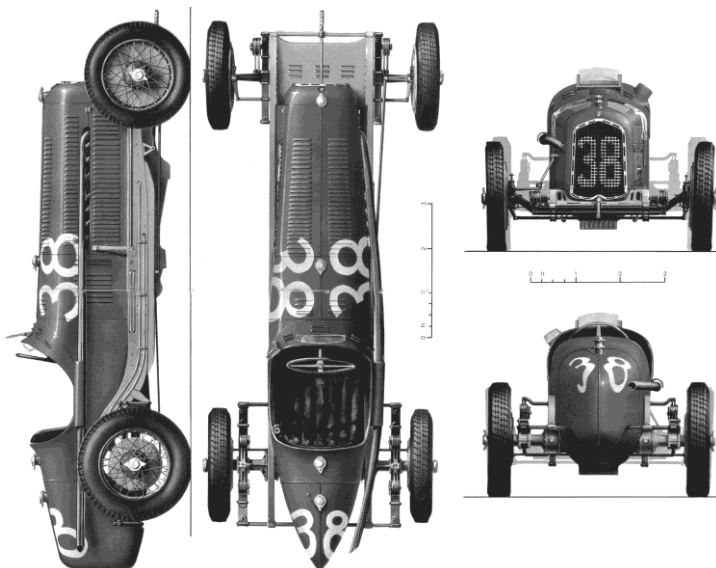


Obrázok 1 – Louis Wagner vo svojom voze Fiat, French GP, r. 1912

2.2.2 História závodných monopostov F1

Prvé formulové vozy sa objavili v 20. rokoch 20. storočia. Boli to ľahké vozy s malým objemom motora, jednoduchou karosériou a odkrytými kolesami. Ich vznik bol podmienený zmenou technických predpisov v roku 1926 a 1927. Spočiatku sa nestretali s veľkým

nadšením vtedajších výrobcov. Ekonomická kríza na prelome 20. a 30. rokov 20. storočia viedla k tomu, že výrobcovia sa zamerali na ekonomickejšie dvojmiestne karosérie, ktoré boli určené pre bežnú prevádzku a predaj a zároveň sa dali použiť na pretekoch. (Pauer, 2011)



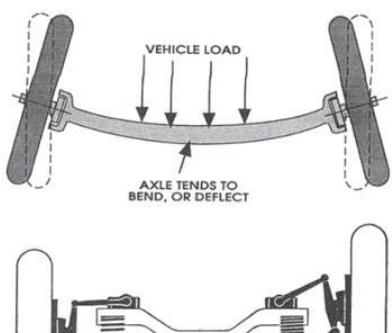
Obrázok 2 – Alfa Romeo P3, r. 1932

Do roku 1933 bolo tempo zmien pomalšie a v konštrukcii závodných vozidiel sa udiali len malé zmeny. Výkon motorov zostal na rovnakej úrovni, ale objavili sa nové kovové zliatiny a odnímateľné hliníkové hlavy valcov. V oblasti brzdového systému sa vďaka spoločnosti Ferodo presadil azbest, ktorý umožnil prechod na ľahšie oceľové bubny namiesto starých liatinových. Znížením neodpruženej hmoty došlo k zmenšeniu priemeru kolies, avšak konštrukcia rebrinového rámu s dvoma tuhými nápravami už pomaly dosahovala svoje limity. (Pauer, 2011)



Obrázok 3 – Tím Scuderia Ferrari s vozom Alfa Romeo P3, Italian GP, r. 1934

V rokoch 1934 až 1939 nastalo obdobie najdramatickejších zmien v histórii závodných vozidiel. Výkon motorov sa strojnásobil až na výkon 450 kW (600k) a pomer výkonu k hmotnosti vozidla zostal dlho neprekonaný. Impulzom pre tento pokrok bola radikálna zmena podvozku. Nezávislé zavesenie kolies spolu s chladenými hydraulickými brzdami priniesli nové možnosti pre optimalizáciu podvozku. (Pauer, 2011)



Obrázok 4 – Detail pevnej nápravy vs. nezávislé zavesenie kolies



Obrázok 5 – Auto Union Type C V16, 520hp, r.1936

Éra motorov s mechanickými kompresormi a motormi umiestnenými vpredu bola na prelome 40. a 50. rokov definitívne odsúdená do zabudnutia. V tomto období sa za ideál monopostu začala považovať ľahká karoséria s motorom umiestneným pred zadnou nápravou, nastaviteľnou geometriou a sofistikovaným zavesením kolies. Od polovice 60. rokov 20. storočia sa táto koncepcia neustále vyvíja s implementovaním ľahkých kompozitných materiálov a zliatin. (Pauer, 2011)



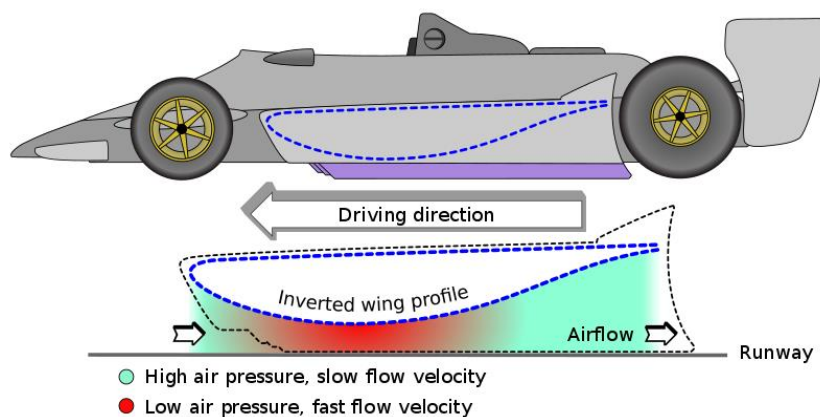
Obrázok 6 – Prvý monokok, Lotus 49, Monaco GP, r. 1967

Od roku 1967 sa aerodynamické prvky stali neoddeliteľnou súčasťou monopostov a dodnes prechádzajú neustálym vývojom. Predstavujú jednu z mála oblastí, kde sa v tomto športe odohrávajú najväčšie inovácie. (Pauer, 2011)



Obrázok 7 – Prvé aerodynamické prvky na Lotuse 49, r. 1970

Spočiatku sa na monopostoch používali len jednoduché krídla s invertnými leteckými profilmi. O 10 rokov neskôr v roku 1977 prišiel britský letecký inžinier Colin Chapman s inovatívnym riešením pre Lotus 79, a to podlahou s bočnými kanálmi, ktorá generuje prítlak. Tá fungovala na princípe ground-efektu, kde sa využíva interakcia medzi monopostom a povrchom vozovky na generovanie prítláčnej sily a auto je priamo „prisaté“ k vozovke. To zlepšuje najmä jeho stabilitu a výrazne zvyšuje rýchlosť v zákrutách. Lotus vďaka tomuto revolučnému aerodynamickému prvku mal konkurenčnú výhodu a v roku 1978 s ním Mario Andretti získal titul. (Pauer, 2011)



Obrázok 8 – Princíp ground-efektu na formule Lotus 79

Podobný princíp bol použitý aj na monoposte Brabham BT 46b s využitím ventilátoru v zadnej časti podvozku, ktorý ešte efektívnejšie pomáhal odsávať vzduch spod podlahy vozu. Na dlhú dobu bol tento revolučný aerodynamický prvok zakázaný, pretože znevýhodňoval tímy, ktoré neboli schopné pridať tento prvok na vozidlo a mali značnú nevýhodu. (Pauer, 2011)



Obrázok 9 – Kontroverzný Brabham BT46B ventilátor, r. 1978

V 80. rokoch tímy čoraz viac upriamovali pozornosť na aerodynamiku svojich monopostov a nástupom výpočtovej techniky začali experimentovať s komplexnými krídlami, difúzormi a spodnými časťami karosérie s cieľom maximalizovať prítlačný efekt a znížiť odpor vzduchu. V roku 1983 FIA zaviedla regulácie na obmedzenie výšky a tvaru krídel, čím sa zabránilo extrémnym a nebezpečným dizajnom. V tomto desaťročí sa tiež stali bežnými materiály ako kompozity (karbón a kevlar), vďaka svojej ľahkosti a pevnosti, čím sa umožnilo konštruktérom vytvárať tuhé, ľahké a aerodynamicky efektívne šasi. (Pauer, 2011)



Obrázok 10 – KARBÓNOVÁ KAROSÉRIA A MONOKOK, McLaren MP4-4, r. 1988

Prvé desaťročie 21. storočia bolo poznačené hľadaním rovnováhy medzi reguláciou a inováciou. FIA zaviedla prísnejšie regulácie aerodynamiky s cieľom znížiť náklady a vyvážiť rozdiely medzi tímami. Tieto regulácie obmedzili slobodu konštruktérov a viedli k dizajnom s menším rozdielom vo výkone. Novinkou v tomto období bolo zavedenie systému KERS (Kinetic Energy Recovery System), ktorý umožňoval dočasne ukladať a uvoľňovať energiu z brzd, čím sa dokázal na určitý čas zvýšiť výkon monopostov, najmä pri predbiehaní. (History of Formula One, 2001)



Obrázok 11 – McLaren MP4-21 Mercedes, German GP, r. 2006

Druhé desaťročie znamenalo hybridnú éru F1 s kombináciou turbomotoru a elektromotoru. Táto zmena priniesla komplexné výzvy v oblasti aerodynamiky a integrácie hybridných komponentov. V roku 2017 FIA zaviedla zmeny v aerodynamike s cieľom zjednodušiť dizajn monopostov a zlepšiť predbiehanie. Tieto zmeny viedli k miernemu návratu ground-efektu. Materiály sa ďalej vyvíjali s cieľom znížiť hmotnosť a zvýšiť odolnosť. Boli zavedené nové kompozity a zliatiny, ako napríklad titán a grafén. (History of Formula One, 2001)



Obrázok 12 – MCL32 Honda, Malaysian GP, r. 2017

Od sezóny 2020 FIA oznámila zmeny v technických predpisoch, ktoré sú platné od roku 2022. Tieto predpisy, označované aj ako „pravidlá novej generácie“, predstavujú najrozsiahlejšie zmeny v aerodynamike od 80. rokov 20. storočia. Ako už bolo spomenuté, opäť do hry nastúpila aktívna podlaha s princípom ground-efektu, ktorá generuje prítlak a stáva sa dominantným prvkom dizajnu. Ďalšia zmena nastala v zjednodušení dizajnu monopostov, najmä aerodynamických prvkov, ako sú predné, zadné krídlo a difúzory. Táto zmena má znížiť náklady a uľahčiť konštruktérom tvorbu inovatívnych aerodynamických riešení. Neposlednou, ale za to veľmi viditeľnou, zmenou bol aj prechod z 13 palcových na 18 palcové disky kolies s nízkym profilom pneumatiky. (Randuška, 2021)



Obrázok 13 – Predloha modelu od FIA pre sezónu 2022

Všetky tieto zmeny boli vykonané za účelom udržania vyrovnanosti pretekov a zabránenia dominancie jedného tímu. Snahou organizácie FIA bolo udržať náklady pod kontrolou a vyrovnať finančné rozdiely medzi bohatými a chudobnými tímami. Okrem týchto účelov bolo dôležité udržať atraktivitu závodov. (Randuška, 2021)

2.3 História súťaže Formula Student

História Formula Student sa začala v roku 1979 súťažou SAE Mini-Indy, inšpirovanou článkom v časopise Popular Mechanics o stavbe miniatúrnej formule v štýle Indy. Súťaž sa konala na Univerzite v Houstone, zúčastnilo sa jej trinásť škôl a víťazom sa stala Univerzita z Texasu v El Pase. Táto súťaž však po skončení prvého ročníku ďalej nepokračovala.

Potenciál tejto myšlienky si však všimli traja študenti z University of Texas v Austine, ktorí s podporou Dr. Rona Matthews sa oslovili SAE s návrhom o znovu založenie a prepracovanie súťaže Mini-Indy. Cieľom novej súťaže bolo poskytnúť budúcim inžinierom príležitosť navrhnuť, skonštruovať a otestovať vlastný pretekársky monopost. Nová verzia súťaže mala klásť dôraz na konštrukčnú slobodu v rámci obmedzeného rozpočtu a bola zameraná na akékoľvek štvortaktné motory do 710 cc s obmedzeným nasávaním vzduchu s priemerom restriktora nasávania 25,4 mm. Názov súťaže bol zmenený na Formula SAE, aby lepšie odrážal zameranie na inžinierstvo a charakter cestných pretekov. (Formula SAE)

Prvá oficiálna súťaž Formula SAE sa konala v roku 1984 na pôde University of Texas v Austine. O rok neskôr sa presunula na University of Texas v Arlingtone, kde prešla zásadnou transformáciou. Z výroby vozidiel na základe sériových modelov sa preorientovala na vývoj a výrobu čisto pretekárskych monopostov. (Formula SAE)



Obrázok 14 – University of Texas v Arlingtone, Formula SAE, r. 1986

Spočiatku bola súťaž financovaná veľkými firmami. Medzi rokmi 1991 až 1997 si úlohu financovania striedali automobiloví giganti General Motors, Ford a Chrysler. V roku 1992 vzniklo konzorcium týchto firiem, ktoré však v roku 2008 zaniklo. Dnes je financovanie súťaže zabezpečené sponzorskými príspevkami a registračnými poplatkami od tímov. (Formula SAE)

Prelomový moment nastal v roku 1998, kedy sa uskutočnila prvá medzinárodná súťaž medzi americkými a britskými tímami. Táto demonštračná súťaž sa konala na okruhu MIRA Proving Ground v Spojenom kráľovstve. V tomto roku bola podpísaná dohoda o spolupráci medzi SAE a Institution of Mechanical Engineers (IMechE), ktorá prevzala zodpovednosť za Formula Student v Európe. Oficiálny debut v Európe prebehol v roku 2006 na slávnom okruhu Hockenheimring v Nemecku. Odvtedy sa súťaž rozrástla a stala sa celosvetovým fenoménom s viac ako 100 tímami z celého sveta, ktoré sa každoročne stretávajú na rôznych miestach v Európe, USA a Austrálii. (Formula SAE)



Obrázok 15 – Víťazný monopost z roku 1998

V České republice sa prvý tím Formula Student CTU CarTech zrodil v roku 2009 na Strojní fakulte ČVUT v Prahe. Od tej doby sa počet českých účastníkov rozrástol na 6 tímom, a to: CULS Prague Formula Racing, FS TUL Racing, CTU CarTech, eForce FEE Prague Formula, TU Brno Racing a UWB eRacing Team Pilsen. Česká republika sa postupne stala aktívnou súčasťou tejto súťaže.



Obrázok 16 – CTU CarTech, FS01, r. 2010

Formula Student sa neustále vyvíja a odzrkadľuje trendy v automobilovom priemysle. V roku 2010 bola zavedená kategória Electric Formula Student (FS-EV), reagujúc na rastúci záujem o elektromobily. S príchodom nových technológií v oblasti riadiacich systémov a umelej inteligencie nastúpila v roku 2018 nová kategória, Formula Student DV (FS-DV), ktorá sa zameriava na vývoj a testovanie autonómnych, respektíve bezpilotných monopostov. (Formula SAE)



Obrázok 17 – Tím The Edinburgh University Formula Student, r. 2019

2.4 História tímu a analýza jeho monopostov

2008

Príbeh tímu CULS Prague Formula Racing sa začal oficiálne písať v roku 2011. Podmienky pre vznik skupiny, ktorá zvládne postaviť konkurencieschopné auto sa ale začali vytvárať už omnoho skôr. Prvé modely začali vznikať na prelome rokov 2009 – 2010, kedy sa primárne určovala koncepcia vozidla. Ako každý nový tím mal Rebels Racing trochu problematické financovanie, takže bol kladený zásadný dôraz na jednoduchosť vozidla a možnosti výroby jednotlivých dielov svojpomocou, často na úkor váhy. Formula s názvom Saturn VI sa pozrela po prvýkrát na závody v roku 2012, a to na anglickom Silverstone, rakúskom Red Bull Ringu a maďarskom Győre. (Šulc. 2022)



Obrázok 18 – prvý monopost tímu CULS, Saturn VI, r. 2012

2012–2013

V rokoch 2012 – 2013 sa tím začal postupne rozrastať a viac sa viazal na svoju alma mater ČZU. Prešiel zmenou názvu z Rebels Racing na CULS Racing team a vytvorilo sa pevné jadro tímu, ktorý bol schopný vytvoriť veľmi zaujímavé vozidlo s názvom Prague Demon. Nové vozidlo prešlo významnou redukciou hmotnosti, a to aj napriek tomu, že bol ako prvý český monopost vybavený preplňovaním pomocou kompresoru. Dárcom kompresoru bola v tej dobe Škoda Fabia RS. Pre správne fungovanie kompresoru bolo nevyhnutné zaistiť jeho pohon. To viedlo k výraznej úprave motoru. Vo vozidle sa okrem iného objavil aj prvý aerodynamický diel. Vďaka difúзору pod podlahou vozidla nastala radikálna zmena v zadnej časti auta. V poradí druhá formula sa v roku 2013 zúčastnila závodov v maďarskom Győre,

FS Czech Republic v Hradci Králové a na okruhu Riccardo Paletti v talianskom okruhu Varano 'de Melegari, kde tím získal prvú trofej za „The Most Friendly Team“. (Šulc. 2022)



Obrázok 19 – monopost Prague Deamon, r. 2013

2013 – 2014

V tíme došlo k prvým veľkým obmenám, postupným odchodom zakladajúcich členov a ich vedenia. Aj napriek tomu, tím stále pokračoval s ambíciou a náborom nováčkov, ktorí vytvorili nové vozidlo s názvom Spiklete. V tomto období vozidlo dostalo prvé prítlačné krídla. Výkon monopostu, oproti predchodcovi, vzrástol o 20 kW a hmotnosť s použitými krídlami len o 5 kg. (Šulc. 2022)



Obrázok 20 – monopost Spikelte, r. 2014

2014 – 2016

V letech 2014 až 2016 probíhala rekonstrukce dílenského zájmu týmu a tým téměř na dva roky pozastavil svou činnost. (Šulc. 2022)

2016 – 2017

Začátkem nové sezóny se týmu otevřely nové možnosti. Po rekonstrukci dílny na Technické fakultě ČZU v Praze se přestěhoval do nových prostorů. Byl sestavený částečně nový tým a přišla i změna pravidel, což zahrnovalo úpravu velikosti aerodynamických prvků a umožnilo instalaci většího motoru s objemem až 710 ccm. Tým tyto změny využil a začal vývojovou dráhu s motorem Triumph Daytona/Streettriple 657, který se stále používá už v několika násobném stupni evoluce týmových monopostů. Monopost dostal jméno Sparkle. Výměna motoru se ukázala jako krok správným směrem a tým dokázal v sezóně 2016–2017 dosáhnout slušných výsledků na mezinárodních závodech. (Šulc. 2022)



Obrázek 21 – monopost Sparkle, r. 2017

2017 – 2018

V roku 2017 sa koncept monopostu naďalej rozvíjal. Najmä aerodynamika, rám vozu, motor a pohonný systém prešli vylepšeniami. Vďaka skúsenostiam z minulých sezón sa tímu darilo okrem statických, tak v dynamických disciplínach, kde sa často umiestňoval v popredných priečkach. V statických disciplínach dosiahol významné zlepšenie a často sa umiestňoval v prvých desiatkach. (Šulc. 2022)



Obrázok 22 – monopost Flying Potato, r. 2018

2018 – 2019

V roku 2018 nastala v tíme veľká generačná obmena. Nastupujúca tretia generácia členov sa rozhodla postaviť úplne nový monopost v priebehu dvoch sezón. Počas tohto obdobia sa podarilo získať dostatok finančných zdrojov, pritiahnuť do tímu nových zapálených študentov, získať potrebné know-how a zabezpečiť a zreorganizovať zázemie na Technologickej fakulte. Vďaka novej kancelárii mali členovia pokoj na navrhovanie a práca na novom monoposte mohla začať. V roku 2019 sa tím s monopostom s poradovým číslom 5. zúčastnil populárnej súťaže Baltic Open a prípravného kempu FormulaQ, ktorý organizovala spoločnosť Škoda Auto. (Šulc. 2022)

2019 – 2020

Pre tím CULS Prague Racing mala sezóna 2019 – 2020 trpkú príchuť, pretože boli nútení zastaviť práce na novom monoposte. Monopost pre túto sezónu v dôsledku zrušenia závodov nebol zrealizovaný. Tím namiesto toho započal práce priamo na novom, revolučnom monoposte pre rok 2021. V období jari 2020, kedy sa pandémie koronavírusu dostala aj do

Českej republiky, tím venoval úsilie na pomoc potrebným, a to výrobou znovu použiteľných masiek s vymeniteľnými vstupnými a výstupnými filtrami. (Šulc. 2022)

2020 – 2021

V tejto sezóne tím oslávil 10. výročie od založenia projektu na Technologickej fakulte ČZU. K tejto výnimočnej príležitosti sa snažil pripraviť úplne nový a v mnohých aspektoch revolučný monopost s výstižným názvom Razor (žiletka). Tento monopost bol už v poradí šiestym kompletne postaveným závodným vozidlom na Technologickej fakulte. Vďaka pandémie koronavírusu, kedy tím musel preskočiť sezónu, mohli konštruktéri čeliť novým náročnejším výzvam. Medzi najvýznamnejšie z nich patrili nové technologické prvky monopostu ako je suchá olejová vaňa motora, on-board telemetria, vývoj novej 4-stupňovej prevodovky a elektronického radenia pomocou servopohonu s pádlami pod volantom. Ďalej taktiež nezávislý chladiaci okruh motora s elektrickým čerpadlom, restriktor vlastnej výroby s rotačným ventilom, prepracovaná aerodynamika, úplne nová kinematika podvozku, posuvná pedálová súprava a ďalšie. Prácu pri výrobe nového monopostu a testovania však komplikovala neustále sa meniaci epidemická situácia. Kvôli nedostatku testovacích kilometrov sa vyskytli na závodoch s monopostom problémy so spoľahlivosťou, ktoré sa väčšinou podarilo vyriešiť na mieste a tím si tak pripísal v Českej republike a v Taliansku vždy umiestnenie v prvej desiatke. Pri posledných vytrvalostných pretekoch Endurance mali niektorí súper technické problémy, pričom jedenému z nich dokonca pri pokuse dobehnúť monopost Razor vybuchol motor. Najväčšie zlepšenia však tím zaznamenal v tejto sezóne v statických disciplínach, kde dosiahol významné body a umiestňoval sa v prvých desiatkach. Treba poznamenať, že lepšie výsledky tím v statických disciplínach nikdy predtým nemal. Mimo iné treba tiež spomenúť víťazstvo v súťaži Red Bull Pit Stop Challenge, kde porazil všetky české tímy. (Šulc. 2022)



Obrázok 23 – monopost Razor, r. 2021

2021 – 2022

V sezóně 2022 sa tím zúčastnil závodov RIMAC FS Alpe Adria 2022, ktoré sa konali v Chorvátsku za účasti zakladateľa CEO a majiteľa Bugatti Rimac, Mate Rimac. V kategórii spaľovacích vozidiel (CV) sa nový monopost musel popasovať s 14 konkurenčnými tímami, vrátane svetovej špičky. V týchto závodoch sa tímu podarilo dosiahnuť najlepšie výsledky v histórii tímu. V celkovom hodnotení obsadil 4. miesto, čo je vzhľadom na silnú konkurenciu vynikajúci výsledok. Tím sa umiestnil na 3. mieste v kráľovskej disciplíne Endurance, 4. mieste v Akcelerácii a 5. mieste v Skidpade. V Autocrosse obsadil 6. miesto a v statických disciplínach získal 5. miesto v Cost & Manufacturing, 6. miesto v Business Plan a 10 miesto v Engineering Design Report. Formula FS07 s názvom Fighter v tejto sezóne zažiarila s novým dizajnom karosérie, efektívnejším aero-paketom, podlahou využívajúcou ground-effect pričom najväčšou zmenou oproti predchodcovi bol nový rám. Vo formule bol použitý primárny rám s doplnkovým pomocným rámom v zadnej časti, na ktorom boli uchytané prvky v podobe diferenciálu a jeho súčastí. To malo pozitívny vplyv na úsporu hmotnosti a kompaktnosť prvkov. (Nová formule tímu CULS Prague Formula Racing zazářila mezi světovou špičkou.)



Obrázok 24 – monopost Fighter, r. 2022

2022 – 2023

V sezóne 2022 – 2023 tím čelil výzve v podobe nového pohonného systému. Po prvý krát v histórii tímu sa na formule objavili dva elektromotory umiestnené v nábojoch predných kolies. Ich úlohou bolo pomáhať spaľovaciemu motoru najmä pri akcelerácii a prejazde zákrut. Táto zásadná zmena si však vyžadovala dostatočný čas na naštudovanie problematiky, vývoj a testovanie. Vzhľadom na časové obmedzenia a počet členov tímu bol však stanovený až príliš ambiciózny cieľ, postaviť od šróbku nové auto s integrovaným hybridným pohonom. Síce sa tímu podarilo formulu zostaviť včas, nedostatok času na dôkladné testovanie sa prejavil v závodoch, kde elektrická pohonná jednotka nefungovala optimálne. Napriek tomu prešla formula výrazným vývojom aj v iných oblastiach. Nový titánový výfukový systém, titánové brzdy, titánové prvky podvozku, magnéziové disky kolies a vylepšené aerodynamické prvky prispeli k celkovému odlahčeniu vozidla. Zmeny sa vyskytli v ráme, ktorý bol optimalizovaný aj pre novú karosériu o ktorej je táto diplomová práca. Celková hmotnosť napriek týmto úpravám vzrástla len o 5 kg. Vzhľadom na pridanú 12 kg vážiacu batériu a elektromotory sa tímu podarilo ušetriť až neuveriteľných 7 kg váhy.

2.5 Dizajnerská analýza

Mnohé tímu venujú vzhľadu monopostov len okrajovú pozornosť. Dá sa teda povedať, že dizajn karosérie pre nich nie je prioritou. Existujú však aj výnimky, ktorými sa bude táto kapitola venovať. Následne pokračuje dizajnerská analýza monopostov, ktoré sa zúčastnili českých závodov na Autodróme v Moste 2023. Táto časť analyzuje 3 monoposty, ktoré skončili na vrchných priečkach v kategórii spaľovacích motorov (CV).

TU Graz Racing

Rakúsky tím pôsobí v súťaži už od roku 2007. Dizajn starších monopostov tohoto tímu prešiel kontinuálnym vývojom a za jeho najlepšie dizajnersky klenot bol vybraný monopost Tankia 2010 s interným názvom Little Princess. Dizajn tohoto vozidla sa dá považovať za jeden z najikonickejších v súťaži aj vďaka dvom významným oceneniam, ktoré tím získal, a to Porsche a Lamborghini Design Award. Základ tohoto monopostu tvorí trubkový rám, ktorý je obalený kapotážou z karbónu. Základný koncept zostal nezmenený a vďaka tomu monopost získal svoju rozpoznateľnosť. Vzhľad evokuje dynamické prúdenie vzduchu po povrchu karosérie. Pri pohľade z profilu hlavná silueta, ktorá je farebne odlišná, začína od špičky nosa, plynule nadväzuje na bočnice, kde prirodzene obteká okolo kokpitu a následne sa zužuje do zadnej časti vozidla. Nos formule je prudšie zlomený a dodáva charakter

dravosti formule. Ostré otvory bočnic nesedia s hlavnou líniou auta, ktorá pôsobí ladným dojmom. Ikonický je aj žltý polep s červeným býkom prednej časti, ktorý ostal od prvého monopostu nezmenený a dodáva formule dravosť. Absencia aerodynamických prvkov, vyzdvihuje dizajn kapotáže, avšak formula môže pôsobiť neúplne. Celkový vzhľad pôsobí profesionálne, čisto s dôrazom na proporcie. (TUG Racing)



Obrázok 26 – Tankia zhora



Obrázok 25 – Tankia 2010, TU Graz Racing

FS TUL Racing

Ďalšia formula pochádza z Českej republiky od Libereckého tímu FS TUL Racing. Tím v súťaži pôsobí od roku 2015 a za tú dobu stihol vytvoriť 4 formuly. Formula s názvom Markétka z roku 2017 je v poradí druhá. Oproti jej predchodkyni Eliške prešla radikálnou tvarovou zmenou. Možno uvažovať, že do procesu navrhovania karosérie bol zapojený dizajnér, ktorý návrh výrazným spôsobom ovplyvnil a korigoval.



Obrázok 27 – monopost Markétka, FS TUL Racing, r. 2018

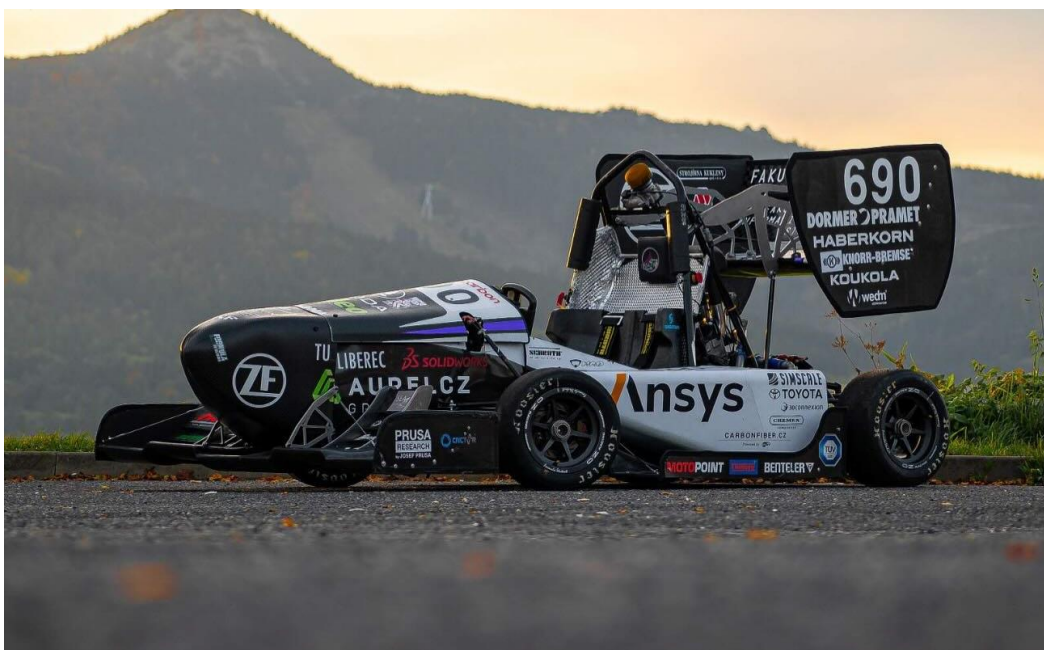
Formula pôsobí profesionálnym dojmom s použitím neobyčajných farebných polepov. Tmavošedý polep s neobvyklou doplnkovou fialovou farbou vytvárajú farebnú kombináciu, ktorá sa bežne v motor športe nevyskytuje. Profil formule je v prednej časti výrazne zlomený, následne pokračuje dlhá, horizontálna linka, ktorá sa neprerušene tiahne do zadnej časti formule, kde jemne upadá. V úrovni linky začínajú ostro tvarované bočnice s čistými plochami, ktoré sa smerom dozadu zužujú. Vrchná časť okolo kokpitu je farebne odlišená od zbytku formule a zanecháva čistý charakter bočných plôch. Táto „kaplička“ je navrhnutá elegantne s čistým prechodom medzi hornou hranou predného oblúku a bočných trubiek. Z tímových skúseností však vieme, že tento plynulý tvar neumožňuje dostatočný výhľad najmä na prednú hranu krídla, ktorá je jedným z referenčných bodov pilota, počas závodov. Problémom sa javí byť aj výstup pilota z formule, keďže bočná strana „kapličky“ nie je priamo uchytená o bočné trubky, o ktoré sa pilot počas urýchleného vystupovania (do 5 sekúnd) zapiera celou váhou.

Celkový návrh pôsobí veľmi kultivovane a čisto. Za jediný rušivý element sa dá považovať hlavný oblúk rámu, ktorý je vertikálny oproti zbytku formule. Avšak tento prvok, nie je súčasťou kapotáže a dizajnér ho vie málokedy ovplyvniť. (FS TUL Racing)



Obrázok 28 – monopost Anička, FS TUL Racing, r. 2018

Dizajn tohoto týmu považujem za fluktuujúci, a to nie len v oblasti kapotáže. Posledná formula Viktorie sa výrazným spôsobom líši od svojej predchodkyne Markétky. Je to v poradí piata formula tejto ženskej zostavy. Bohužiaľ je vidieť, že v tíme nastali personálne zmeny a dizajnu posledných formúl nebola venovaná pozornosť. Formula pôsobí rozporuplným dojmom, akoby časti karosérie boli navrhované jednotlivými ľuďmi bez hlavného dizajnéra, ktorý by mal usmerňovať ich prácu do jednotného celku. Vo formule bolo použité zavesenie Push-Rod s horným uložením tlmičov, ktoré v spojení s 10" kolesami a výrazným aero-paketom vytvárajú disproporčný charakter formule. Rovnako tak aj grafika formule pôsobí chaoticky a nečisto a stráca sa rozpoznateľnosť oproti svojim predchodcom. Pokrok v dizajne vnímam len v odstránení problému pri nastupovaní a vystupovaní a výhľade pilota. Je viditeľné, že tím v súčasnosti hľadá novú cestu v dizajne kapotáže. (FS TUL Racing)



Obrázok 29 – monopost Viktorie, FS TUL Racing, r. 2023

Hawks Racing

Hawks Racing z Hamburku je jeden z najstarších Formula Student týmů v Německu. Tým má za sebou už 19 formulí, které prošli přirozeným vývojem. Tým se od začátku drží barevné kombinace s primární modrou a bílou, která je doplněná šedou a černou barvou. V prvních jedenácti formulích je viditelná kapotaž aj motorového priestoru a formula vďaka tomu pôsobí komplexnejšie a prepracovane. Treba spomenúť, že ich prvá formula H01 – Lady sa výrazným spôsobom líši od jej nasledovníkov. Celá formula pôsobí veľmi nízko a ľahko, tomu napomáha aj transparentný polykarbonátový štít pred vodičom. Ladné krivky spojené s nasávaním v nose formule evokujú dizajn formulí F1 z 60. rokov, a to najmä formule Lotus 49B. Tomu rovnako napomáha aj absencia aero-paketu a viditeľná trubková konštrukcia šasi. Táto formula bola predstavená v roku 2004 na súťaži SAE v Anglicku. Zaujímavosťou je aj fakt, že formula dosahovala rýchlosť až 220 km/h, čo na danú kategóriu formulí nie je bežné. (Hawks Racing)



Obrázok 30 – prvý monopost H01–Lady, tím HAWKS Racing, r. 2004

H09 z roku 2013 je ďalšou formulou tohto tímu. Zo subjektívneho hľadiska, táto verzia pôsobí najprepracovanejším dojmom. Udržiava v sebe jednotný vizuálny štýl svojich siedmich predchodkýň. Ostré rysy, najmä v oblasti vstupných otvorov a tvarová prepracovanosť bočníc je charakteristická pre tento model. Zadné otvory bočníc sú význačné svojim jemným rebrovaním a v spojitosti s masívnym aero-paketom navodzujú agresívny charakter. Formula z určitých uhlov pôsobí nevyváženým dojmom, čo je spôsobené, napríklad dlhou prednou časťou, ktorá je podporená bielym lakom. Aero-paket v prednej časti pôsobí masívne a zahŕňa prednú časť kapotáže. Tvar zadných bočných krídla ruší estetické zladenie s kapotážou formule. Estetické doladenie bočných krídiel s kapotážou sa zásadne podpisuje na výslednom tvare formule. Podľa aerodynamických pravidiel je možné tieto plochy tvarovať, avšak nevhodne zvolený tvar ovplyvňuje prúdenie vzduchu najmä pod hlavným profilom krídla. Pre nájdenie ideálneho riešenia, je potrebný konsenzus aerodynamika s dizajnérom kapotáže. V celku dizajn kapotáže je premyslený a prepracovaný do detailov. Nižšie postavené zadné krídlo a použitie väčších 13" palcových napomáhajú vyváženejším proporciám oproti konkurenčným monopostom. (Hawks Racing)



Obrázok 31 – monopost H08, tím HAWKS Racing, 2013

High-Voltage Motorsports e.V.

Tím pochádzajúci z Nemecka sa od roku 2021 preorientoval z kategórie spaľovacích motorov na elektrické. Ich prvým elektrickým monopostom je Formula s názvom FAUmax omikron. Predná časť formule pripomína tvarom niektoré monoposty F1 z roku 2017, ktoré sa vyznačujú plochým a prudkým skosením nosu, ktoré sa smerom dozadu v jednom bode výrazne rozširuje a pokračuje v horizontálnej línii. Táto tvarová charakteristika je síce na FAUmax omikron badateľná, ale proporčne odlišná. Z profilu FAUmax omikron v porovnaní s monopostami F1 môže pôsobiť až karikatúrne. Je to spôsobené jednak pravidlami súťaže, u ktorých ergonómia posedu je odlišná a s tým spojené vnútorné rozmery monokoku a maximálne vonkajšie rozmery. Ďalším faktorom sú menšie 10" kolesá použité na monoposte, ktoré dodávajú disproporčný vzhľad. Neobvyklý dizajn FAUmax omikron pôsobí nevšedným dojmom z čoho sa dá usudzovať zámer o odlišenie sa od ostatným tímov v elektrickej kategórii. (High-Voltage Motorsports)



Obrázok 3232 – tím High-Voltage Motorsports e.V., r. 2022



Obrázok 33 – monopost FAUmax omikron



Obrázok 34 – Mercedes F1 W08 EQ Power+, r. 2017

Následuje analýza vybraných monopostov v kategórii spaľovacích motorov, ktoré sa zúčastnili Formula Student Czech Republic 2023. Sú zoradené zostupne podľa počtu bodov.

PRz Racing Team

Celkovým víťazom v súťaži s najvyšším počtom bodov sa stal tím PRz Racing Team z Poľska. V monoposte s názvom PMT-04 tím po prvýkrát použil hybridnú konštrukciu šasi, ktorá kombinuje monokok s rámovou konštrukciou. V porovnaní s rámovou konštrukciou má tento typ šasi obvykle väčšie tvarové obmedzenia. To vedie k menšej rozpoznateľnosti tvaru. Predná časť pôsobí príliš mohutne v porovnaní so zvyškom monopostu. Za prednou časťou nasleduje veľký výrez do kabíny, ktorý odhaľuje pilota. Bočnice sú nízke a nenadväzujú na zvyšok karosérie. Za zmienku stoja bočnice zadného krídla, ktoré sú upevnené o rám a nelevitujú nad vozidlom.



Obrázok 33 – letiaci monopost PMT-04 tímu PMz Racing, r. 2023

UniNa Corse - Squadra Corse Federico II

Taliansky tím, ktorý obsadil druhé miesto, ukázal v Česku formulu s viditeľnou farebnou striednosťou a odhalenými karbónovými časťami. Dizajn karosérie pôsobí nesúrodno. Spracovanie karbónových častí patrí medzi horšie, čo umocňuje aj použitie odkrytého karbónu ako primárnej "farby". Zaujímavým detailom sú farebné pruhy a zlatá farba rámu. Farebná striednosť a použitie odhaleného karbónu značí, že tím sa snažil ušetriť hmotnosť, kde sa len dalo, pričom dizajn karosérie, nehral veľkú úlohu. (UniNa Corse)



Obrázok 34 – tím UniNa Corse - Squadra Corse Università Federico II, r. 2023

CTU CarTech

Český tím obsadil v rebríčku tretie miesto. Monopost FS13 už z diaľky púta pozornosť svojim grafickým polepom, ktorý do značnej miery ovplyvňuje jeho vnímanie a efektívne kamufluje veľké kolmé plochy monokoku. Polep však končí horizontálnym rezom, čím monopost stráca dynamický vizuál. Rušivým elementom je viditeľný hrb na kapote, ktorý vznikol v dôsledku použitia push-rod zavesenia. Ide o prvé použitie tohto typu zavesenia v histórii tímu. Na druhej strane, kvalita spracovania monokoku je na vysokej úrovni. Bočnice pôsobia v porovnaní so zvyškom monopostu neúmerne, avšak badať na nich premyslené aerodynamické prvky. (CTU CarTech)

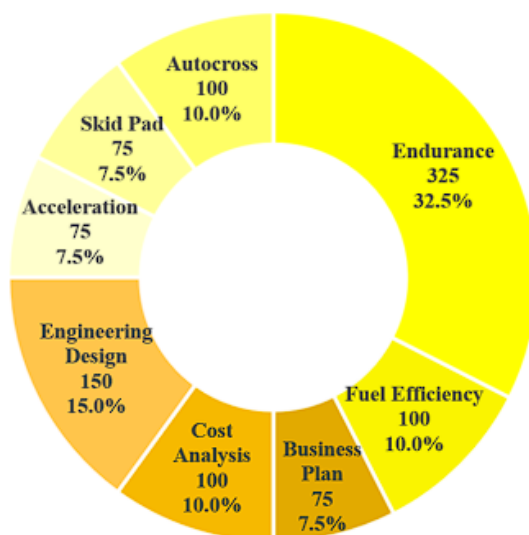


Obrázok 35 – monopost FS13 tímu CTU CarTech, 2021

2.6 Výskum

2.6.1 Disciplíny súťaže Formula Student

Súťaž Formula Student je zložená z ôsmich disciplín, ktoré testujú vlastnosti a inovatívnosť monopostov skonštruovaných študentskými tímami. Tieto disciplíny sa rozdeľujú do dvoch kategórií, statické a dynamické. Statické, ktoré sú zamerané najmä na schopnosti tímu odprezentovať a podrobne popísať monopost od návrhu až po vývoj pred odbornou komisiou a dynamické. Do statických disciplín patria Engineering Design, Cost Analysis a Business Plan. Dynamické disciplíny sú zamerané na výkonnosť monopostu na trati, testujú ovladateľnosť, trakciu a jazdné vlastnosti vozidla. V tejto kategórii sú disciplíny ako Acceleration, Skid Pad, Autocross, vrcholom súťaže je vytrvalostná jazda Endurance a Fuel Efficiency. (Disciplines)



Obrázok 36 – bodové hodnotenie disciplín súťaže Formula Student

Business Plan Presentation:

Cieľom tejto disciplíny je ohodnotiť schopnosť tímu skonštruovať a zrealizovať kompletný obchodný model. Tento obchodný model by mal odkazovať na závodné vozidlo tímu, alebo jeho komponent. Tím ho prezentuje pred porotou, ktorá simuluje investorov, a to formou ponuky produktu, vozidlo alebo komponent, alebo služby s ním spojenej. Následne prebieha prezentácia samotnej formuly ako investičnej príležitosti. Hodnotí sa najmä kvalita spracovania biznis plánu a úroveň prednesu počas prezentácie. (Formula Student Rules 2022)

Cost and Manufacturing

Cieľom tejto disciplíny je posúdiť znalosti tímu v oblasti rozpočtu, nákladov a technologických procesov spojených s výrobou závodného vozidla. Táto disciplína kladie dôraz na pochopenie rovnováhy medzi kvalitou a nákladmi pri rozhodovaní, či súčiastky budú kupované alebo vyrábané. Tímy musia preukázať, že dokážu efektívne hospodáriť s dostupnými zdrojmi a hľadať ideálne riešenia z hľadiska ceny a kvality.

Pred súťažou si tímy musia pripraviť tri druhy dokumentov, nacený kusovník všetkých dielov formule, dokument s vysvetlením nacenenia dielov na základe dostupných výrobných technológií a pomocný dokument obsahujúci všetky výkresy zostáv a výrobné výkresy jednotlivých dielov monopostu.

Počas prezentácie pred porotou sa hodnotí kvalita spracovania, týchto dokumentov. Dokument, ktorý obsahuje kusovník dielov sa musí zhodovať s jednotlivými komponentami zhotoveného závodného vozidla. Ďalej je potrebné, aby sa náklady stanovené pri naceňovaní jednotlivých komponentov uvedené v kusovníku zhodovali s realitou. Okrem týchto aspektov sa hodnotí aj výrobná realizácia závodného vozidla.

Engineering Design

Statická disciplína má za úlohu zhodnotiť konštruktérsky proces závodného vozidla. Predstavujú sa tam inovatívnosti, technické riešenia použité v monoposte. Tím musí prezentovať svoje znalosti a zručnosti v oblasti dizajnu a konštrukcií a obhajuje svoje riešenia pred odbornou komisiou.

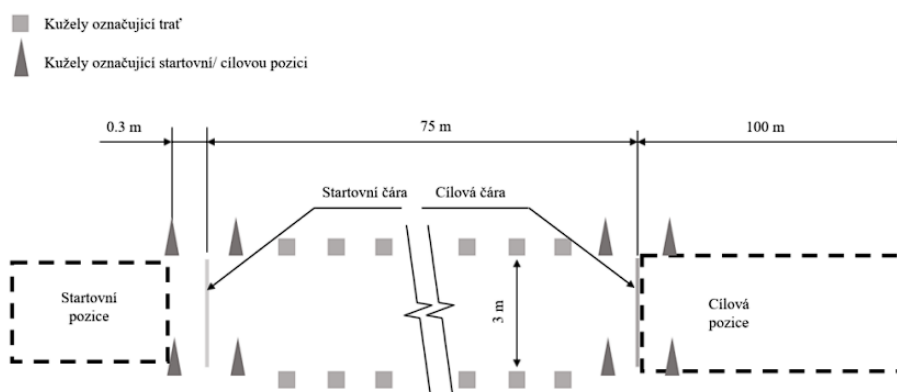
Pri tejto disciplíne sa hodnotí dokumentácia a prezentácia. Dokumentácia obsahuje podrobný technický popis monopostu, výkresy zostáv a komponentov, analýzu a zdôvodnenie dizajnových riešení, výpočty a simulácie. Pri prezentovaní pred odbornou komisiou sa hodnotí aj kvalita prednesu.



Obrázok 37 – prezentácia FS08 pri disciplíne Engineering Design

Acceleration

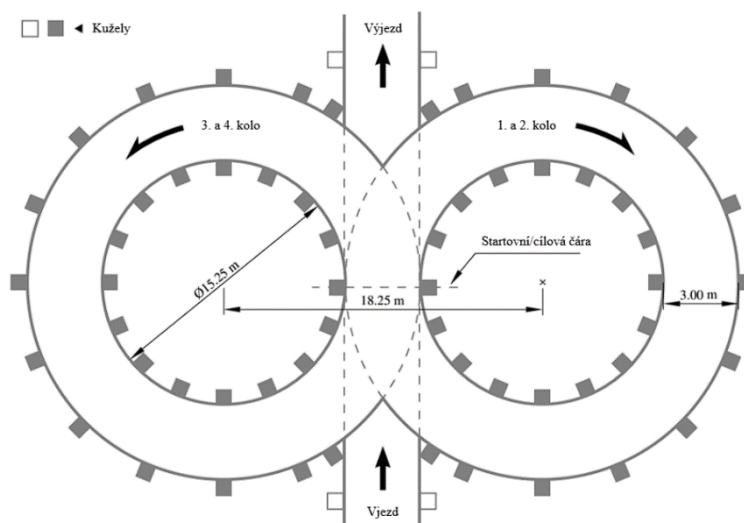
Prvou dynamickou disciplínou je Acceleration. Obsahom tejto disciplíny je jazda na rovnej trati s dĺžkou 75 m od štartovacej čiary k cieľovej čiare. Šírka dráhy je 3 m, pričom kužele umiestnené pozdĺž trate sú umiestnené v rozostupoch 5 m. V tomto úseku sa meria čas jazdy formule. Každý jeden tím má maximálne 4 pokusy pre absolvovanie tejto disciplíny. (Formula Student Rules 2022)



Obrázok 38 – nákres trate disciplíny Acceleration

Skid Pad

Jazdci v tejto disciplíne musia prejsť dvomi párami kruhov usporiadaných do tvaru ležatej osmičky. Vzdialenosť týchto kruhov od seba je 18,25 m. Priemer vonkajších kruhov je 21,25 m pričom vnútorné kruhy majú priemer 15,25 m. Formula prechádza bránami na 3 m širokom pruhu, ktorý je kolmý na pretínajúce sa kruhy.



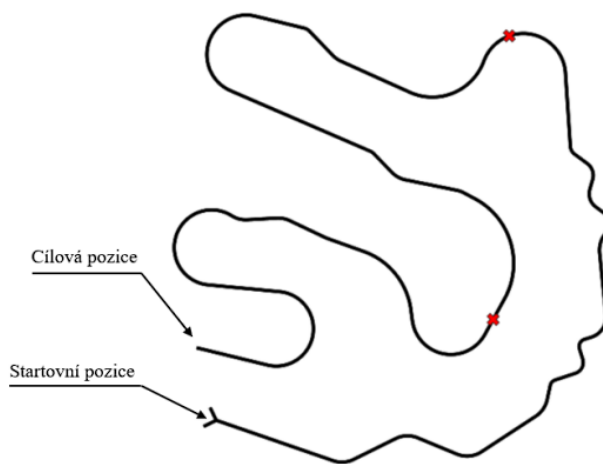
Obrázok 39 – nákres trate disciplíny Skid Pad

Štartovná / cieľová čiara je definovaná úsečkou medzi stredmi kružníc. Jedno kolo je definované ako prejazd okolo jednej z kružníc, začínajúc a končiac na štartovnej / cieľovej čiare. Pri tejto disciplíne má každý tím k dispozícii 4 pokusy, ktoré môže absolvovať v dvoch jazdách. Výsledné bodové hodnotenie je spočítané zo spriemerovaného času z pravého a ľavého meraného kola. Penalizácie za zrážku s kužeľom alebo výjazdom z trate sa pripočítavajú do celkového času. Skid Pad testuje predovšetkým trakciu, stabilitu a ovládateľnosť monopostu. (Formula Student Rules 2022)

Autocross

Túto disciplínu tvorí trať, ktorá je navrhnutá tak aby otestovala jazdné vlastnosti monopostu. Trať pozostáva z rôznych typov prvkov, ako sú rovinky, s maximálnou dĺžkou 80 m, tiahle zákruty s priemerom do 50 m, ostré zákruty s minimálnym priemerom 9 m, slalomy, ktoré tvoria kužele usporiadané v priamej línii s rozstupom 7,5 – 12 m. Minimálna šírka trate je 3 m a jej dĺžka nesmie presiahnuť 1,5 km.

Každý tím má k dispozícii maximálne 4 jazdy, ktoré absolvujú dvaja jazdci s dvoma jazdami každý. Výsledný čas nameraný v tejto disciplíne rozhoduje o poradí pre vytrvalostný závod Endurance, pričom táto trať býva obyčajne rovnaká alebo s malými odchýlkami. (Formula Student Rules 2022)



Obrázok 40 – nákres trate disciplíny Autocross

Endurance

Disciplína Endurance je vytrvalostný závod s dĺžkou približne 22 km, pričom jedno kolo má približne 1 km. Pred štartom závodu musia mať monoposty v kategórii spaľovacích motorov naplnenú nádrž paliva až po rysku. Tankovanie počas pretekov nie je povolené.

Každý tým má v tejto disciplíne len jeden pokus. Prvý jazdec absolvuje 11 km a potom dostane pokyn na zastavenie v boxe na výmenu jazdcov. Táto výmena musí prebehnúť do 3 minút. Počas nej môže tím upravovať len ergonómiu monopostu pre druhého jazdca. Pokiaľ sa počas závodov zmenia podmienky na trati, v prípade mokrej trate, je v tejto disciplíne povolené prezutie na mokré pneumatiky. Druhý jazdec následne dokončí zostávajúcich 11 kôl.

Počas závodu môžu byť na trati maximálne 4 monoposty. Predbiehanie je povolené len v špeciálnych zónach, kde vedúci pomalší jazdec dostane modrú vlajku a musí sa presunúť do spomaľovacej zóny. Rýchlejší jazdec ho potom môže predbehnúť v rýchlom pruhu. (Formula Student Rules 2022)

Tímy, ktoré úspešne dokončia závod Endurance, musia umiestniť svoj monopost do Parc Fermé, kde nemá po dobu 30 minút prístup žiaden člen tímu. Počas tejto doby organizátori vykonávajú technickú kontrolu monopostu, ktorá je zameraná na úniky kvapalín. (Event Handbook)

Bodové hodnotenie disciplíny Endurance sa určuje na základe súčtov časov jednotlivých kôl, z ktorého sa odpočítava čas výmeny jazdcov. K výslednému času sa pripočítavajú penalizácie za zrážky s kužeľmi (2 sekundy za každý kužeľ) a za opustenie trate so všetkými štyrmi kolesami (20 sekúnd). (Formula Student Rules 2022)

Tímy po úspešnom absolvovaní tejto disciplíny môžu získať až tretinu z celkového počtu bodov, čo znamená najviac bodov zo všetkých disciplín. (Formula Student Rules 2022)



Obrázok 41 – náčrt trate disciplíny Endurance

Efficiency

Koncept disciplíny Endurance sa zameriava na hodnotenie efektivity spotreby paliva alebo energie počas vytrvalostných závodov. Po jeho skončení sa u spaľovacích monopostov spotreba paliva zmeria dotankovaním po risku hladiny paliva. V prípade, že spotreba paliva presiahne 26 l na 100 km, alebo celkový čas vytrvalostného závodu prekročí 1,333-násobok času najrýchlejšieho monopostu, tím za túto disciplínu obdrží 0 bodov.

Výsledný počet bodov sa vypočíta pomocou vzorca, kde sa maximálny celkový počet 100 bodov vynásobí koeficientom efektívnosti, ktorý je menší ako 1. Tento koeficient sa vypočíta z celkovej spotreby paliva po absolvovaní závodu a vynásobí sa celkovým časom po dojazdení závodov. Následne sa čas porovná s časmi ostatných tímov, ktoré úspešne dokončili závod. (FS Alpe Adria 2023)

2.6.2 Pravidlá súťaže ovplyvňujúce návrh prvkov kapotáže

Podľa pravidiel Formula Student Germany (FSG) sa v kapitole T2 stanovujú obecné požiadavky na konštrukciu karosérie. Táto kapitola sa zameriava na zásadé aspekty, ktoré ovplyvňujú dizajn a funkčnosť karosérie.

Ďalšia kapitola ovplyvňujúca kapotáž je kapitola T8, ktorá bližšie špecifikuje aerodynamické prvky, ich rozmery, umiestnenie, a konštrukčné požiadavky.

T 2.1 Konfigurácia vozidla

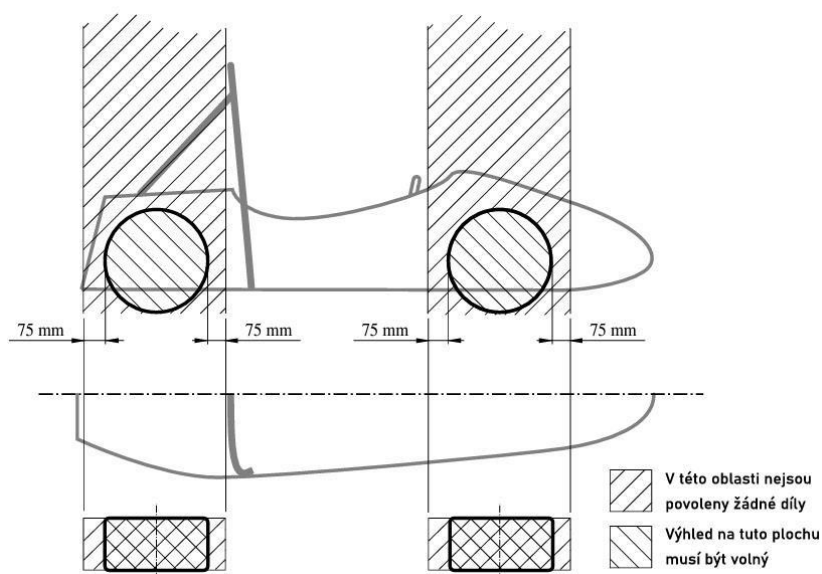
T 2.1.1 Vozidlo musí byť navrhnuté a vyrobené v súlade s dobrými inžinierskymi praktikami.

T 2.1.2 Vozidlo musí byť s otvorenými kolesami, jednomiestne a s otvoreným kokpitom (v štýle formuly) so štyrmi kolesami, ktoré nie sú v priamom rade.

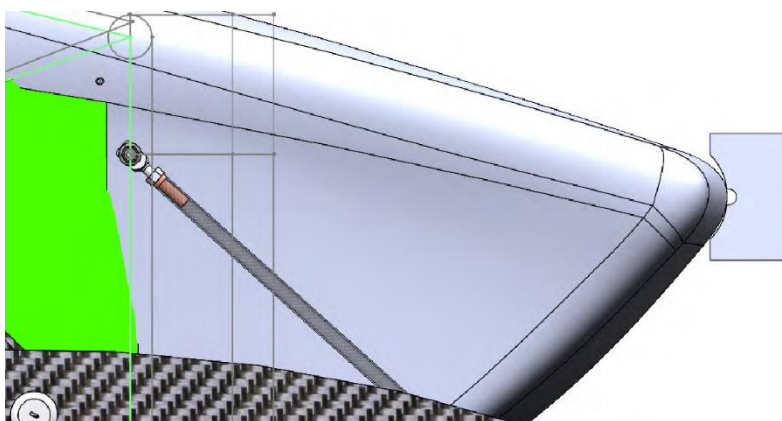
T 2.1.3 Vozidlá s otvorenými kolesami musia spĺňať nasledovné podmienky

T 2.3.4 Karoséria pred prednými kolesami musí mať polomer najmenej 38mm, ktorý sa rozprestiera o 45° smerom dopredu, pozdĺž vrchnej, bočných a dolnej strany všetkých ovplyvnených hrán.

- Kolesá a pneumatiky musia byť pri pohľade z boku vozidla voľne prístupné.
- Žiadna časť vozidla nesmie zasahovať do zakázanej zóny definovanej dvoma čiarami, ktoré sa vertikálne rozprestierajú od pozície 75 mm pred a 75 mm a vonkajším priemerom predných a zadných pneumatík v bočnom pohľade na vozidlo, pričom riadenie je v priamej polohe. Táto zakázaná zóna sa rozprestiera v smere od vonkajšej roviny kolesa/pneumatiky k vnútornej rovine zostavy kolesa/pneumatiky. (Formula Student Rules 2022)



Obrázok 42 – Priestorové obmedzenie pred a za pneumatikami



Obrázok 43 – Pomocná šablóna pre kontrolu definovaného polomeru 38 mm

T8 Aerodynamické Zariadenia

T8.1 Definícia Aerodynamických Prvkov

T8.1.1 Podľa pravidiel súťaže sa každé aerodynamické zariadenie definuje ako špeciálne navrhnutá konštrukcia, ktorá je pripevnená na vozidlo s cieľom ovplyvniť prúdenie vzduchu okolo vozidla tak, aby zvýšilo prítlak, ktorý pôsobí na vozidlo, alebo znížil aerodynamický odpor. Táto kapitola obsahuje dĺžkové, šírkové, výškové a konštrukčné požiadavky.

Všetky obmedzenia musia byť splnené s kolesami smerujúcimi rovno, s akýmkoľvek nastavením podvozku, s pilotom alebo bez.

T8.2.1 Výškové obmedzenia:

- Všetky aerodynamické prvky umiestnené vpredu od zvislej roviny prechádzajúce najzadnejším bodom operadla hlavy vodiča, s výnimkou akéhokoľvek čalúnenia, nastavené do svojej najzadnejšej pozície, nesmú byť vyššie ako 500 mm od zeme.
- Všetky aerodynamické prvky vpredu pred prednou nápravou, ktoré vyčnievajú ďalej smerom von ako najvnútornejší bod prednej pneumatiky, musia byť umiestnené nižšie ako 250mm od zeme.
- Všetky aerodynamické prvky umiestnené vzadu od zvislej roviny prechádzajúce najzadnejším bodom opierky hlavy vodiča, s výnimkou akéhokoľvek čalúnenia, nastavené do svojej najzadnejšej polohy musia byť nižšie ako 1,2 m od zeme.

T8.2.2 Šírkové obmedzenia

- Všetky aerodynamické prvky, ktoré sú nižšie ako 500 mm od zeme a nachádzajú sa za prednou nápravou, nesmú byť širšie ako zvislá rovina dotýkajúca sa najviac vonkajšieho bodu prednej a zadnej pneumatiky.
- Všetky aerodynamické prvky vyššie ako 500 mm od zeme nesmú zasahovať za najvnútornejší bod zadnej pneumatiky.

Dĺžkové obmedzenia

- Všetky aerodynamické prvky, nesmú smerom dozadu presahovať viac ako 250 mm od zadnej časti zadných pneumatík.
- Všetky aerodynamické prvky nesmú smerom dopredu presahovať viac než 700 mm od prednej časti predných pneumatík.

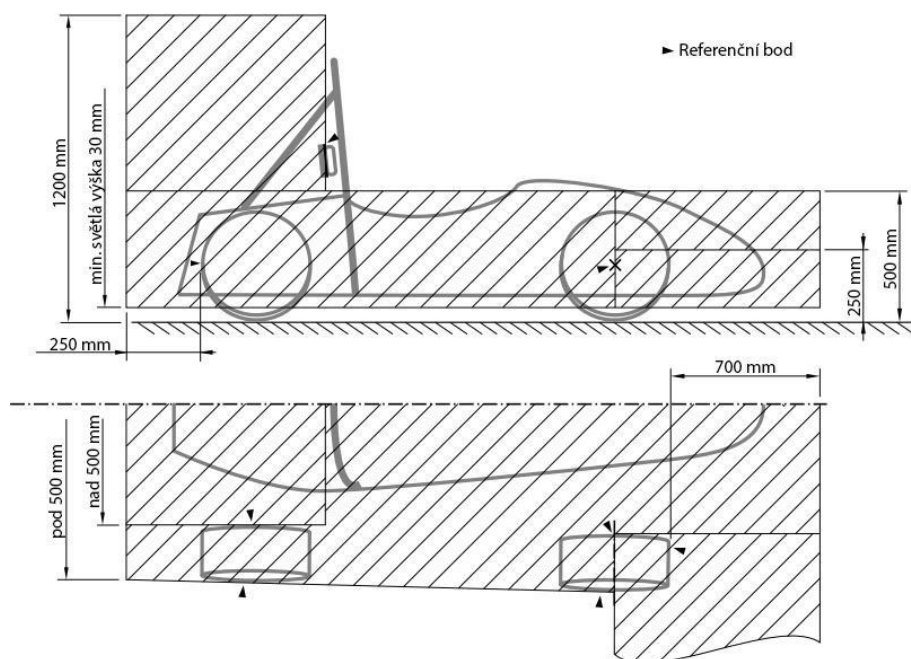
- Všetky obmedzenia musia byť splnené pri priamo natočených kolesách a s akýmkoľvek nastavením odpruženia s vodičom alebo bez neho v sedadle.

Minimálne polomery hrán aerodynamických prvkov:

- Všetky predný hrany aerodynamických prvkov, ktoré by mohli prísť do kontaktu s chodcom, musia mať minimálny polomer 5 mm pre všetky vodorovné hrany a 3 mm pre zvislé hrany.

Konštrukčné požiadavky:

- Každý aerodynamický prvok musí byť schopný vydržať silu 200 N rozloženú cez minimálnu plochu 225 cm² a nesmie sa vychýliť viac ako 10 mm v smere pôsobiacej sily.
- Každý aerodynamický prvok musí byť schopný vydržať silu 50 N pôsobiacu v ľubovoľnom smere v ľubovoľnom bode a nesmie sa vychýliť o viac ako 25 mm. (Formula Student Rules 2022)



Obrázok 44 – Minimálne rozmery a umiestnenie aerodynamických prvkov

2.6.3 Analýza konstrukčních řešení závodních automobilů

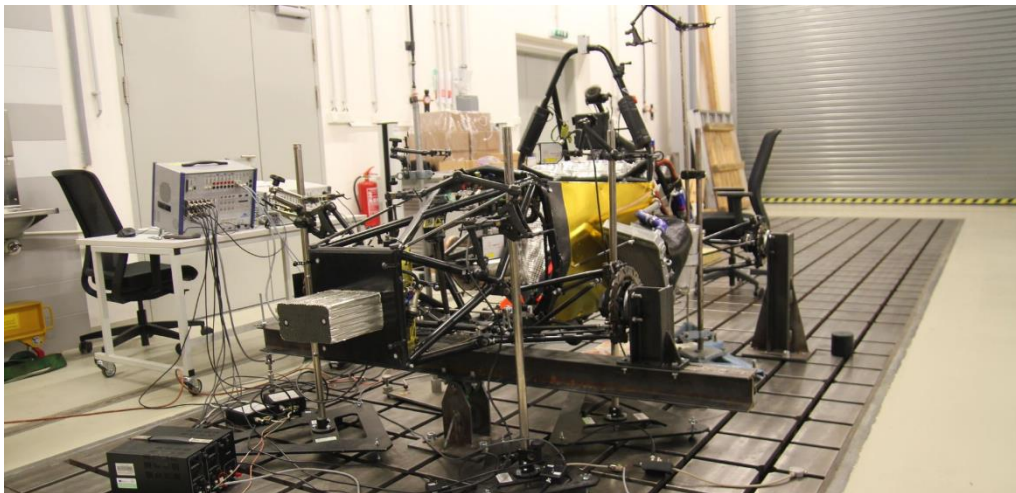
Medzi jeden z najzákladnejších prvkov závodných automobilov patrí šasi. Správne navrhnuté šasi tvorí základnú kostru vozidla a ovplyvňuje jeho pevnosť, tuhosť, ovládateľnosť, stabilitu, rýchlosť a v neposlednej rade celkovú bezpečnosť. Existuje niekoľko typov rámov používaných v pretekárskych autách, pričom každý z nich má svoje jedinečné výhody a nevýhody. (W. Milliken a D. Milliken, 1995)

Priestorový trubkový rám

Šasi tohoto typu pozostáva z trubiek vzájomne prepojených do trojrozsmernej konštrukcie, ktorá obklopuje kokpit jazdca a nesie pohonnú jednotku. Trubkový rám sa vyznačuje pomerne nízkou cenou výroby a vysokou torznou tuhosťou. Nevýhodou je jeho vyššia hmotnosť a nižšia pevnosť a tuhosť v porovnaní s modernými monokokmi z uhlíkových vlákien. (Phipps a Costin, 1962)

V období 50. a 60. rokov 20. storočia bol priestorový trubkový rám naplno využívaný v závodných autách typu Formula 1, následne v 70. rokoch, bol tento rám nahradený konštrukciou monokoku. (Chassis explained) V závodoch IndyCar priestorový trubkový rám vydržal až do obdobia 90. rokov 20. storočia, než ho následne nahradil monokok z uhlíkových vlákien. (Bennett, 2013)

V súčasnosti sa používa ako výstuha karosérie v rallye a GT závodoch a taktiež v monopostoch študentských súťažiach Formula SAE a Baja SAE, kde je preferovaná jeho jednoduchšia konštrukcia a nižšie výrobné náklady. (GT40 Chassis, 2020)



Obrázok 45 – meranie torznej tuhosti rámu FS07

Kompozitný monokok

Monokok je celistvá konštrukcia, ktorá integruje šasi a karosériu do jedného celku. Slovo monokok pochádza z francúzskeho slova monocoque, ktoré v preklade znamená jediná škrupina. Konštrukcia je vyrobená z laminátového materiálu, čo je zmes viacerých vrstiev rôznych materiálov, ako sú sklené vlákno, uhlíkové vlákno a živica. Výroba kompozitného monokoku je finančne náročná a zahŕňa špecializovaný technologický postup v oblasti kompozitných materiálov. (Trzesniowski, 2008)

Medzi hlavné vlastnosti kompozitného monokoku patrí jeho vysoká pevnosť a tuhosť v porovnaní s trubkovým rámom je monokok odolnejší voči deformácii, čo umožňuje dosiahnutie maximálneho výkonu a stability. Vyznačuje sa svojou nízkou hmotnosťou, keďže kompozitné materiály sú ľahšie ako oceľové trubky, čo znižuje celkovú hmotnosť vozidla a zlepšuje jeho akceleráciu, brzdenie a spotrebu paliva. Oproti priestorovému trubkovému rámu, má lepšie deformačné vlastnosti, pri správnom návrhu a výrobe jeho deformačná zóna dokáže byť kontrolovaná, čo umožní absorbovať energiu zrážky a minimalizovať riziko zranenia pilota. (Crolla, 2009)

Monokoky závodných monopostov Formule 1 sú vyrobené z kompozitného sendvičového materiálu z uhlíkových vlákien a môžu mať torznú tuhosť väčšiu ako 30 000 Nm / °. (Crolla, 2009)

Monokoky sa v motoršporte začali používať v 60. rokoch 20.storočia. Prvým monopostom Formule 1 s kompozitným monokokom z hliníku bol Lotus 25, ktorý oproti svojim súperom s tradičnými trubkovými rámami mal značnú hmotnostnú výhodu. V roku 1963 obhájil túto revolučnú novinku vo svete motoršportu víťazstvom majstrovstiev Formule 1. (Lotus Type 25)

Prvý tým, ktorý predstavil šasi tvorené kompozitným monokokom z uhlíkových vlákien bol McLaren s monopostom McLaren MP4/1 s sezóny 1981. Tento monokok znamenal prelom v konštrukcii pretekárskych automobilov a dnes je štandardom pre všetky tímy Formule 1. (Seward, 2014)



Obrázok 46 – monokok monopostu McLaren MP4/1

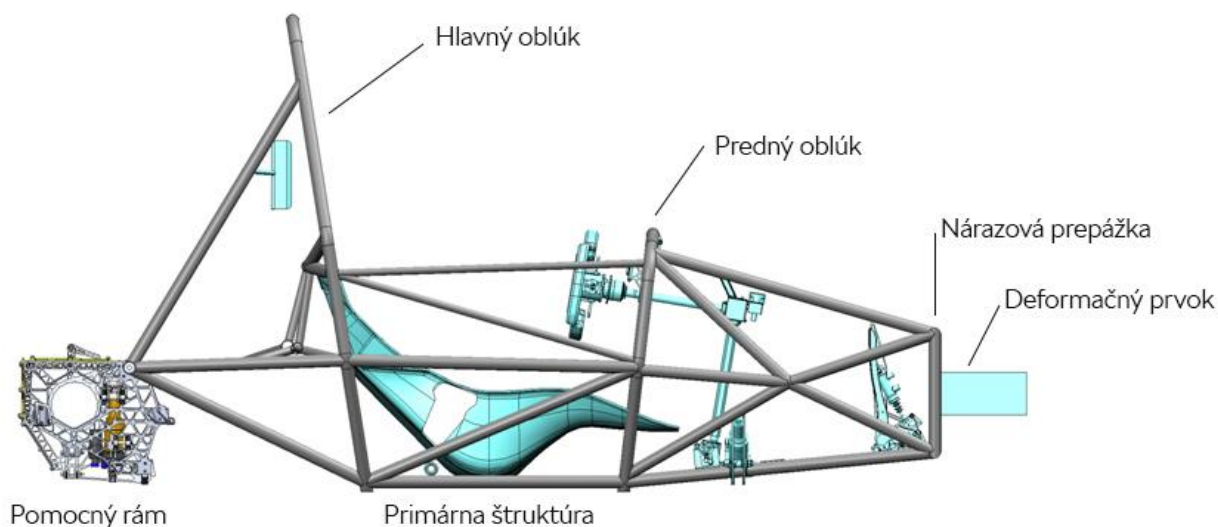
2.6.4 Konštrukcia súčasného monopostu

Základ monopostu tvorí priestorový trubkový rám, ktorý je častou voľbou pre výrobu šasi najmä kvôli nízkym nákladom a jednoduchšej výrobe oproti uhlíkovému monokoku. Je zložený z troch hlavných prvkov: predný oblúk, hlavný oblúk a nárazová prepážka.

Hlavní oblúk, ktorý sa nachádza za telom vodiča, musí byť pevne spojený s primárnou konštrukciou. Je to ohýbaná oceľová trubka, ktorá musí byť vyrobená z jedného kusu, nerozrezaného, súvislého a uzatvoreného prierezu. (Formula Student Rules 2022)

Pre predný oblúk platia rovnaké pravidlá ako u hlavného oblúku, pokiaľ je vyrobený z jedného kusu ohýbanej oceľovej trubky. Minimálny polomer akéhokoľvek ohybu však musí byť minimálne trojnásobok priemeru trubky. (Formula Student Rules 2022)

Na nárazovú prepážku musí byť vždy upevnená doska, ktorá zabraňuje jej deformácii. Pred nárazovú prepážku musí byť umiestnený deformačný prvok. Ten slúži ako tlmič pri čelnom náraze formule. (Formula Student Rules 2022) Na monoposte FS08 bol použitý voštinový deformačný prvok z hliníkovej zliatiny so štandardizovanými rozmermi 200 x 200 x 100 mm. Poloha a tvar nárazovej prepážky do veľkej miery ovplyvňujú tvar kapotáže celej prednej časti formule. Priestor medzi predným oblúkom a hlavným oblúkom musí zostať otvorený pre prístup pilota a nesmie byť zakrytý kapotou. Časť vozidla za hlavným oblúkom z dôvodu údržby pohonnej jednotky a diferenciálu musí byť ľahko prístupná a dostatočne chladená, preto v tejto časti kapotáž nemá veľký význam.



Obrázok 47 – popis jednotlivých častí šasi

Tvar bočných častí kapotáže ovplyvňuje najmä pozícia chladičov pohonnej jednotky. Tímy s atmosférickým spaľovacím motorom používajú väčšinou jeden chladič vody umiestnený na jednej strane vozidla, najmä kvôli úspore váhy. Pre lepšie rozloženie hmotnosti sa používajú dva avšak na úkor väčšej hmotnosti.

Súčasný monopost FS08 je vybavený jedným vodným chladičom po ľavej strane pilota, pričom za ním je umiestnená olejová nádoba. Pre rovnomerné rozloženie váhy je v pravej strane monopostu umiestnený titánový tlmič s koncovkou výfukovej sústavy. (Flajšman, 2023)



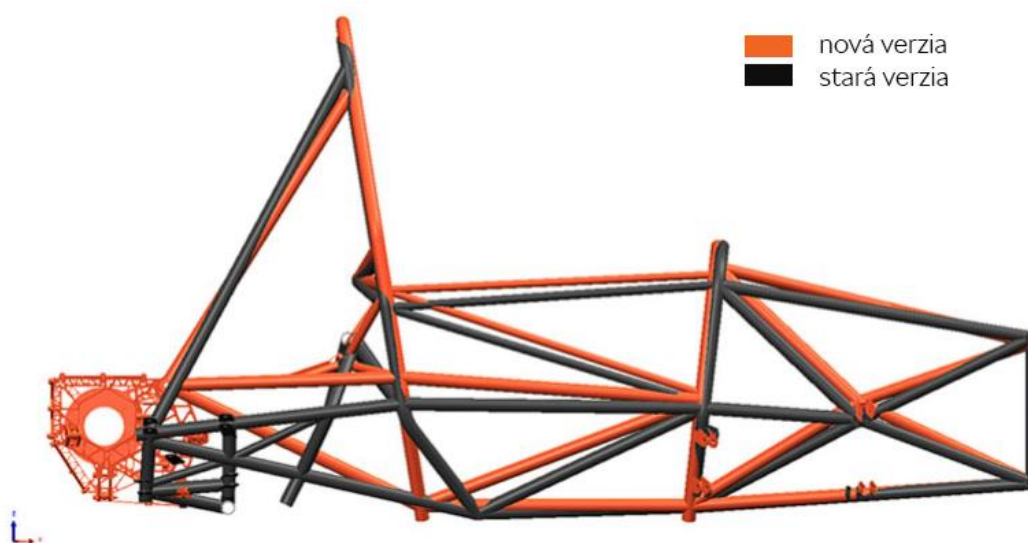
Obrázok 48 50 – chladič a olejová nádoba –ľavá strana



Obrázok 5491 – titánový výfuk – pravá strana

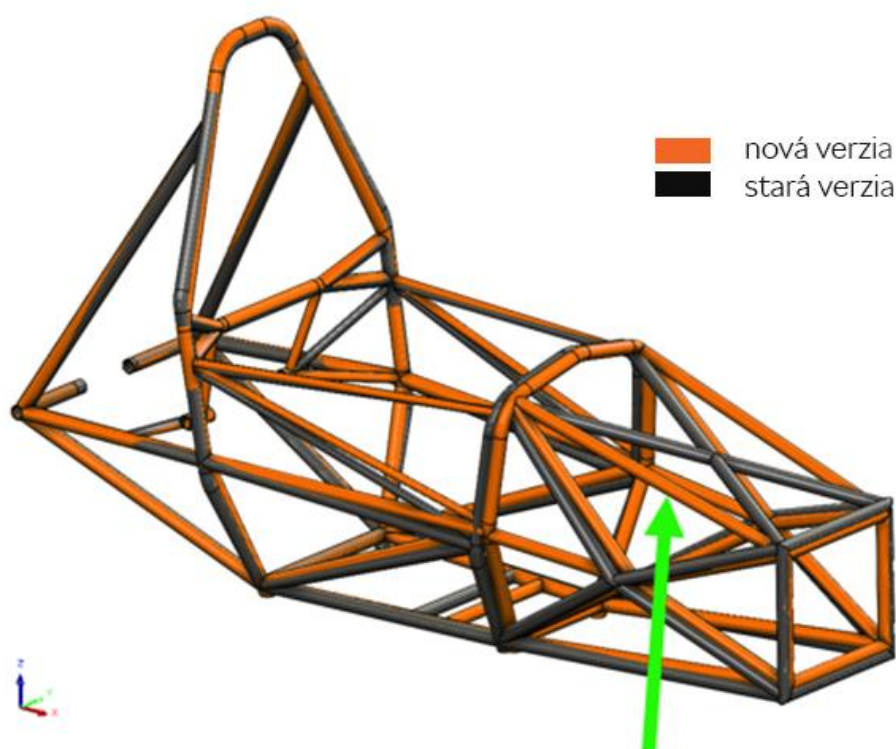
Namiesto singulárneho rámu sa pri tvorbe šasi na monopost FS08 použila kombinácia primárnej štruktúry z trubkového priestorového rámu z chróm - molibdédovej ocele (41CrMc4) a pomocného rámu zo šróbovaných dosiek z hliníkovej zliatiny EN AW – 7075 - T6. Táto časť slúži na upevnenie komponentov, ako sú diferenciál, tlmiče a zadné podvozkové ramená. Použitie šróbovaného pomocného rámu prinieslo oproti predchádzajúcemu monopostu FS06 viacero výhod. Integrácia úchytovej diferenciálu umožnila úsporu hmotnosti a kompaktnejšie usporiadanie komponentov. Taktiež sa tým aj eliminoval problém s nadzdvyháváním zadného kolesa pri prejazde zákrut. (Flajšman, 2023)

Obrázok 52 porovnáva bočný pohľad šasi monopostov FS06, použitý v sezóne 2021 a súčasného, ktorý bol použitý v sezóne 2023. Na obrázku u FS08 je viditeľná zmena pozície u všetkých trubiek a pridaný pomocný rám.



Obrázok 50 – zrovnanie rámov

Nový rám FS08 oproti svojmu predchodcovi prešiel zmenou uložením horných podpor predného oblúku, ktoré spájajú nárazovú prepážku s predným oblúkom. Z umiestnenia podpor predného oblúku do tvaru X, tím prešiel na variant umiestnenia trubiek rovnobežne. Tento tvar umožňuje väčšiu voľnosť v návrhu a uchytení prednej časti kapotáže, ktorá vďaka tomuto riešení bude mať lepšiu pevnosť.



Obrázok 51 – zrovnanie podpor predného oblúku

2.7 Zhrnutie

Analýzou monopostov Formula Student bolo zistené, že väčšina svetových tímov venuje dizajnu kapotáže len okrajovú alebo žiadnu pozornosť. Nájdu sa však svetlé výnimky, ktorých nie je mnoho. Rovnako bolo zistené, že drvivá väčšina kvalitne zvládnutých dizajnov sa odohrávala na trubkovom ráme. Z toho vyplýva, že karbónové monokoky majú väčšie limity v tvarovaní a práca dizajnéra je v tomto type šasi výrazne obmedzenejšia.

V úvode kapitoly výskumu sme sa dozvedeli v akých disciplínach monopost súťaží a aké sú hodnotiace kritéria. Podrobne boli rozpísané podmienky a parametre tratí, ktoré musí monopost absolvovať.

Výskum pravidiel Formula Student ukázal limity budúceho návrhu kapotáže. Analýza konštrukčných riešení bližšie špecifikovala aké 2 druhy šasi sa najčastejšie používajú vo Formula Student. Načrtla krátku históriu šasi, ich použitie, výhody a nevýhody.

Koncový výskum preskúmal nový priestorový trubkový rám, ktorý bude použitý ako podklad pre novú kapotáž.

3 CIELE PRÁCE

3.1 Hlavné ciele práce

Hlavným cieľom diplomovej práce je navrhnuť kapotáž závodného monopostu Formula Student, tímu CULS Prague Formula Racing, ktorá bude spojením estetiky a funkčnosti.

V rámci vizuálnej stránky hrá estetika kapotáže primárnu úlohu v celkovom dojme formule na potencionálneho sponzora či diváka. Keďže každý vývoj nového monopostu stojí nemalé finančné prostriedky, prostredníctvom atraktívneho a profesionálneho vzhľadu by sa tím mohol priblížiť spolupráci s novými sponzormi. Vzhľadom k početnému množstvu študentských formúl, ktoré každoročne študentské tímy vyrábajú, je potrebné návrh odlíšiť od ostatných. Súčasne je dôležité zachovať jednotný vizuálny štýl tímu a nadviazať na predošlé generácie vozidiel s využitím tímových výrazových prostriedkov.

Vzhľadom na striktné pravidlá Formule Student, ktoré stanovujú menšie rozmery vozidla oproti ostatným formulovým kategóriám, je dôležité udržať estetickú vyváženosť a vyhnúť sa disproporčnému vzhľadu finálneho návrhu.

Z funkčného hľadiska je prvoradou úlohou dosiahnuť optimálnu aerodynamiku kapotáže v súlade s ostatnými aerodynamickými prvkami ako je predné, zadné krídlo, podlaha vozidla a vytvoriť aerodynamicky funkčný celok. Popri tomu je potrebné dodržať všetky výrobné a materiálové požiadavky, splniť mechanickú a kompozičnú kompatibilitu s ostatnými časťami vozidla, pre jednoduchú montáž/demontáž karosérie a údržbu vozidla.

Podstatným tvorcom designu karosérie je aj sám pilot. Karoséria musí byť prispôsobená, dostatočnému výhľadu z vozidla, rýchlemu vystupovaniu, či už pred závodmi – skúška pred komisiou (do 5 sekúnd), ale najmä v kritických situáciách a zároveň musí byť dostatočne odolná.

Finálny návrh by mal spĺňať všetky spomínané aspekty, zohľadniť všetky požiadavky tímu, a to všetko pod pravidlami súťaže Formula Student. Vo výslednom návrhu by mala byť viditeľná snaha o prepojenie aerodynamicky funkčných prvkov s karosériou v jeden funkčný celok.

Cieľom práce je prekonať konvenčný pohľad konštruktérov Formula Student na karosériu a jej význam a ponúknuť im alternatívne a atraktívne riešenie.

3.2 Vedľajšie ciele práce

Vedľajšie ciele práce sú hlavne osobné a sú vypísané v bodoch.

- Zúčastniť sa všetkých dôležitých tímových stretnutí a konzultácií.
- Zúčastniť sa tímových aktivít, statických či dynamických ukážok.
- Efektívne pracovať v tímovom prostredí.
- Naučiť sa efektívne pracovať v programe SolidWorks a využiť všetky nástroje potrebné k modelácii 3D modelu.
- Mať podiel nie len na návrhu, ale aj na výrobe monopostu.
- Získať cenné skúsenosti od tímových kolegov.
- Zúčastniť sa letných závodov v Českej republike a prežiť s tímom neopakovateľnú atmosféru pretekov.

3.3 Oblasti možných inovací

Formula Student je doteraz neprebádané miesto dizajnérov. Tímy by mohli venovať tomuto odvetviu väčšiu pozornosť a prizvať si do tímu študentov dizajnu, ktorí môžu mať pozitívny vplyv pre tvorbu návrhu. Tým môžu tímy získať väčšiu pozornosť nielen verejnosti ale najmä sponzorov, od ktorých závisí ich existencia a pokrokovosť. Rovnako dizajnéri svojimi návrhmi môžu prispieť k lepšej efektívite kapotáže s aerodynamickými prvkami. Často dizajnéri vnášajú do svojich návrhov inovatívne myslenie, ktoré by mohlo vyriešiť problémy konštruktérov v hľadaní optimálneho tvaru.

Materiály, ktoré sa používajú na tvorbu kapotáže bývajú zväčša neekologické a nerecyklovateľné. V tejto oblasti by mohlo byť vynaložené úsilie o vývoj ekologickejších materiálov, ktoré by mohli byť čiastočne alebo úplne recyklovateľné. Bohužiaľ v tejto oblasti nie sú ani zďaleka materiály, ktoré by nahradili vlastnosti uhlíkového vlákna a mali by minimálny dopad na životné prostredie.

3.4 Cieľoví užívatelia a trh

Cieľový užívateľ, ktorý je rovnako aj zadávateľ bol definovaný od samotného začiatku projektu. Je ním tím CULS Prague Formula Racing. Monopost nemá slúžiť a neslúži ku komerčným predajom. Tím svojim monopostom reprezentuje nielen seba ale aj univerzitu a sponzorov, ktorí finančne alebo materiálovo zabezpečili jeho vývoj a výrobu.

3.5 Výrobné parametre

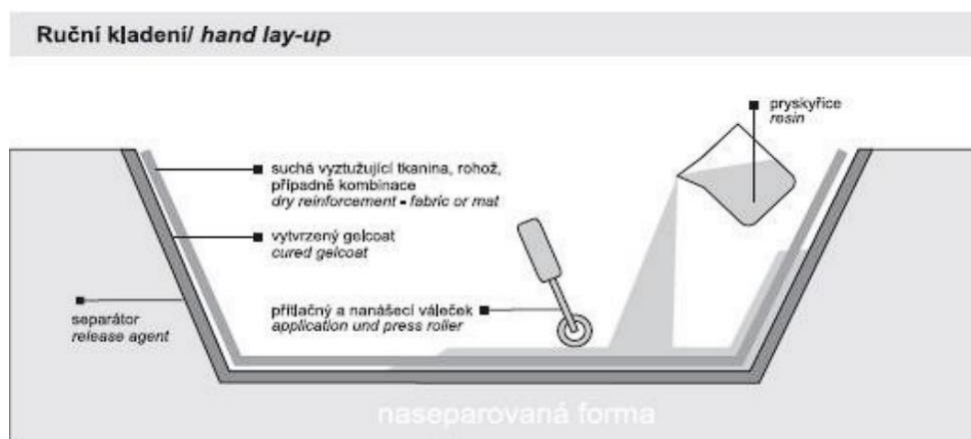
3.5.1 Výrobné technológie

Mokré laminovanie

Mokré laminovanie je bežná a všestranná technológia výroby kompozitov hlavne zo sklených alebo uhlíkových vlákien. Využíva sa pri výrobe širokej škály dielov v leteckom a automobilovom priemysle, športovom vybavení, priemyselných komponentov alebo aj v stavebnom priemysle. (Uhlíkové vlákno)

Proces výroby ručným kladením karbónových dielov je nasledovný:

- Príprava začína rozložením uhlíkových vlákien v požadovanom tvare do formy. Tie sa následne nasýtia živicom, zvyčajne epoxidovou alebo polyesterová.
- Impregnované vlákna sa vrstvia na seba do požadovanej hrúbky, pričom sa pritláčajú ručne, štetcom alebo pomocou valčeka. Pre spevnenie určitých miest sa používajú prídavné materiály na báze sklenených, uhlíkových, aramidových, či iných syntetických alebo prírodných vlákien v rôznej podobe, najčastejšie tkaniny, rohože alebo sendvičové materiály. Tento proces sa nazýva laminácia.
- Následne sa navrstvené rohože uzatvoria do vákuového vaku, z ktorého sa odsaje vzduch a do zbernej nádoby oteká prebytočná živica. Týmto procesom sa eliminujú všetky vzduchové bubliny a dosahuje sa požadovaná pevnosť.
- Po vytvrdnutí sa kompozitný diel opracováva do požadovanej tvaru. Povrchová úprava je posledným krokom v tomto procese. (Technologie výroby kompozitů)



Obrázok 52 – schéma výroby laminátu ručným kladením

Výhody mokrého laminovania s použitím uhlíkových vlákien sú: vysoká pevnosť a tuhosť pri nízkej hmotnosti, vynikajúca odolnosť voči korózii a chemikáliam. Uhlíkový kompozit má dobrú tepelnú vodivosť a tepelnú stabilitu. V neposlednom rade jeho veľkou výhodou sú široké možnosti tvarovania. (Technologie výroby kompozitů)

Nevýhodou je vysoká cena materiálov a výrobných procesov. Jednou z hlavných nevýhod je nerecyklovateľnosť kompozitných materiálov. Tie môžu tvoriť nebezpečný odpad.

Pri celom procese je dôležité dodržiavať bezpečnostné predpisy a používať ochranné pomôcky. Výroba kompozitných materiálov by mala byť v dostatočne odvetrávaných priestoroch.

3.5.2 Materiály

Uhlíkové vlákno

Uhlíkové vlákno, nazývané aj ako karbónové vlákno, je revolučný materiál s výnimočnými vlastnosťami, ktoré ho predurčujú pre široké spektrum aplikácií v rôznych odvetviach. Jeho vlastnosti sú:

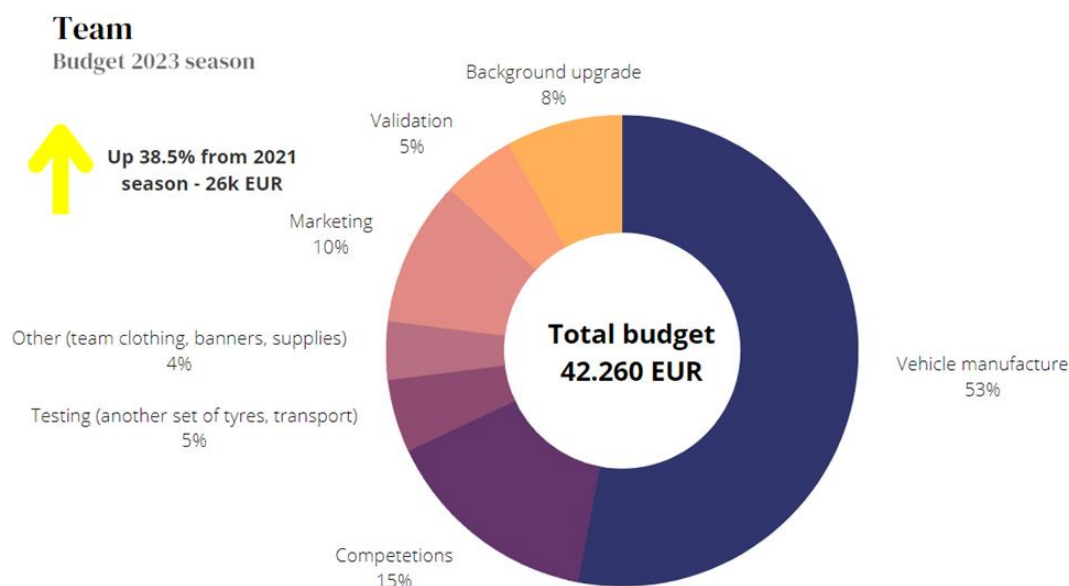
- Vysoká pevnosť a tuhosť: Uhlíkové vlákno je 5-krát prvejšie a 2-krát tuhšie ako oceľ pri rovnakej hmotnosti.
- Nízka hmotnosť: Uhlíkové vlákno je extrémne ľahké, čo z neho robí atraktívny materiál pre aplikácie, kde je dôležitá minimalizácia hmotnosti, napríklad v leteectve, automobilovom priemysle a športe.
- Odolnosť voči korózii a chemikáliám
- Vynikajúca tepelná vodivosť: Aplikuje sa, napríklad v elektronike, chladiacich systémoch a všade, kde je dôležitý odvod tepla.
- Elektrická vodivosť – niektoré typy uhlíkových vlákien sú vodivé, čo umožňuje ich použitie v elektronických súčiastkach a snímačoch.
- Rádioaktivita – Uhlíkové vlákno je mierne rádioaktívne, kvôli stopovým prímesí izotopu uhlíka ^{14}C . V bežných aplikáciách však nepredstavuje žiadne zdravotné riziko. (Uhlíkové vlákno)

Uhlíkové vlákno sa vyrába v niekoľkých krokoch:

- **Príprava prekurzoru** - vstupným materiálom pre výrobu uhlíkových vlákien je prekurzor ako je napríklad viskóza, polyakrylonitril (PAN) alebo zmes grafitu. Prekurzor sa upravuje do požadovanej formy, napríklad ťahaním do vlákien.
- **Stabilizácia** - následne sa prekurzorové vlákna zahrievajú na nízku teplotu v oxidačnom prostredí, aby sa stabilizovala ich štruktúra a zabránilo sa zmršťovaniu pri vysokých teplotách v neskorších krokoch.
- **Karbonizácia** - v inertnej atmosfére sa prekurzorové vlákna zahrejú na vysokú teplotu (1000 °C - 2000 °C), čím sa odstránia všetky nežiadúce atómy a zostane iba čistý uhlík. Tým vznikne uhlíkové vlákno.
- **Grafitizácia** – uhlíkové vlákna sa ďalej zahrievajú na ešte vyššiu teplotu (2400 °C – 3000 °C) v inertnej atmosfére. Tým sa dosiahne usporiadanie uhlíkových atómov do grafitovej štruktúry, čím sa zvyšuje pevnosť a vodivosť vlákna.
- **Povrchová úprava** – Povrch uhlíkových vlákien sa upravuje oxidáciou, aby sa zlepšila ich adhézia s epoxidovými živcami a inými materiálmi, s ktorými sa bežne používajú v kompozitoch. (Uhlíkové vlákno)

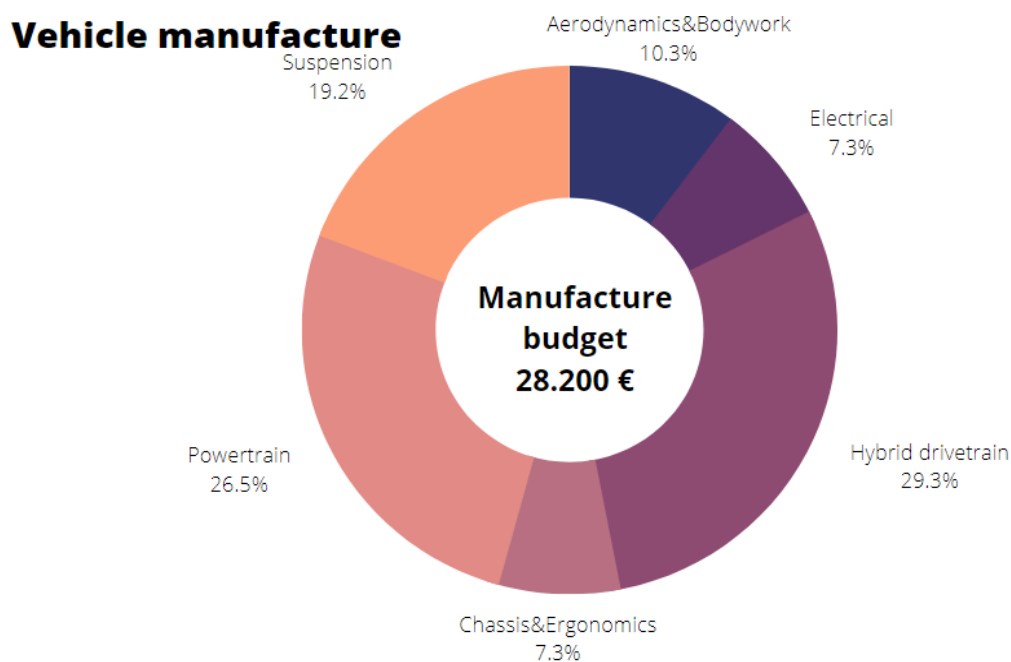
3.5.3 Výrobné náklady

Graf na obrázku 55 znázorňuje prerozdelenie celkového rozpočtu do jednotlivých sekcií tímu v sezóne 2023.



Obrázok 53 – tímový rozpočet v sezóne 2023

Graf na obrázku 56 v percentách znázorňuje rozdelenie vynaložených financií na výrobu monopostu. Kapotáž monopostu je zahrnutá v modrej sekcií Aerodynamics & Bodywork.

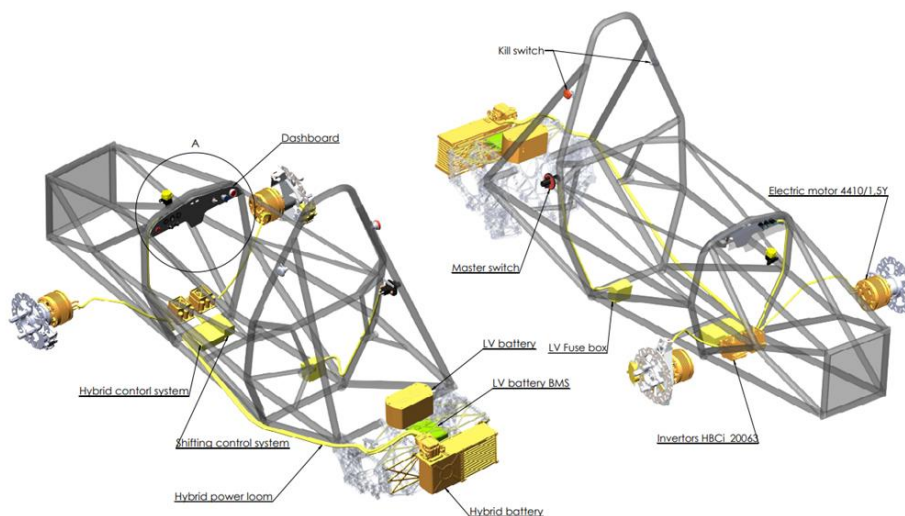


Obrázok 54 – rozpočet pre výrobu monopostu FS08

3.5.4 Vplyvy na životné prostredie

Formula FS08 využíva hybridný pohon, ktorý spája dva elektromotory v predných kolesách s benzínovým motorom umiestneným v zadnej časti. Táto kombinácia prináša viacero výhod. nižšia spotreba paliva, menšie emisie výfukových plynov, lepšia akcelerácia a trakcia.

Kapacita batérie 10 Ah umožňuje obmedzené používanie elektromotorov, takže vplyv na životné prostredie závisí od jazdného štýlu. (CULS, 2023)



Obrázok 55 – schéma hybridného pohonu

Aj keď karbonová kapotáž dodáva monopostom výnimočnú pevnosť a nízku hmotnosť, čím znižuje spotrebu paliva a emisií CO₂, jej výroba a likvidácia má značný dopad na životné prostredie. Tím CULS Prague Formula Racing si je tohto vedomý a pri výrobe karbonových dielov dbá na efektívne využitie materiálu a minimalizuje počet vyrobených častí. Zbytky uhlíkovej tkaniny sa efektívne využívajú natrháním na drobné vlákna a opätovným použitím pri výrobe, napríklad volantu alebo radiacích pádiel pod volantom. (CULS, 2023)



Obrázok 56 volant z forged karbonu, FS08

Všetky typy odpadu, ktoré pri prevádzke a údržbe formule vznikajú, ako napríklad pneumatiky, karosárske diely a oleje, sa dôkladne recyklujú a likvidujú s ohľadom na životné prostredie. Drobnjšie diely, ktoré nie sú namáhané, sú vyrobené z plne recyklovateľného materiálu ABS. Pre výrobu a vývoj modelov a jednotlivých komponentov formule sa používa biologicky odbúrateľný materiál PLA.

Tím CULS Prague Formula Racing sa zároveň pozerá do budúcnosti a pripravuje sa na prechod do elektrickej kategórie (EV). Táto zmena, ktorá sa očakáva v priebehu nasledujúcich rokov, prinesie ešte šetrnejší prístup k živorenému prostrediu. (CULS, 2023)

4 VARIANTNÉ DIZAJNÉRSKE NÁVRHY

4.1 Idea konceptu

Ideou bolo navrhnuť nezameniteľný tvar formule, ktorý by splňal všetky pravidlá súťaže, rešpektoval priestorový rám a aerodynamické prvky formule.

V úvodnej fáze návrhu tím nedisponoval novým rámom ani aerodynamickým paketom. Preto ako základ slúžili komponenty z minuloročnej formule. Bolo zrejmé, že v proporciách rámu a tvare profilov krídel nastanú určité, avšak nie radikálne zmeny.

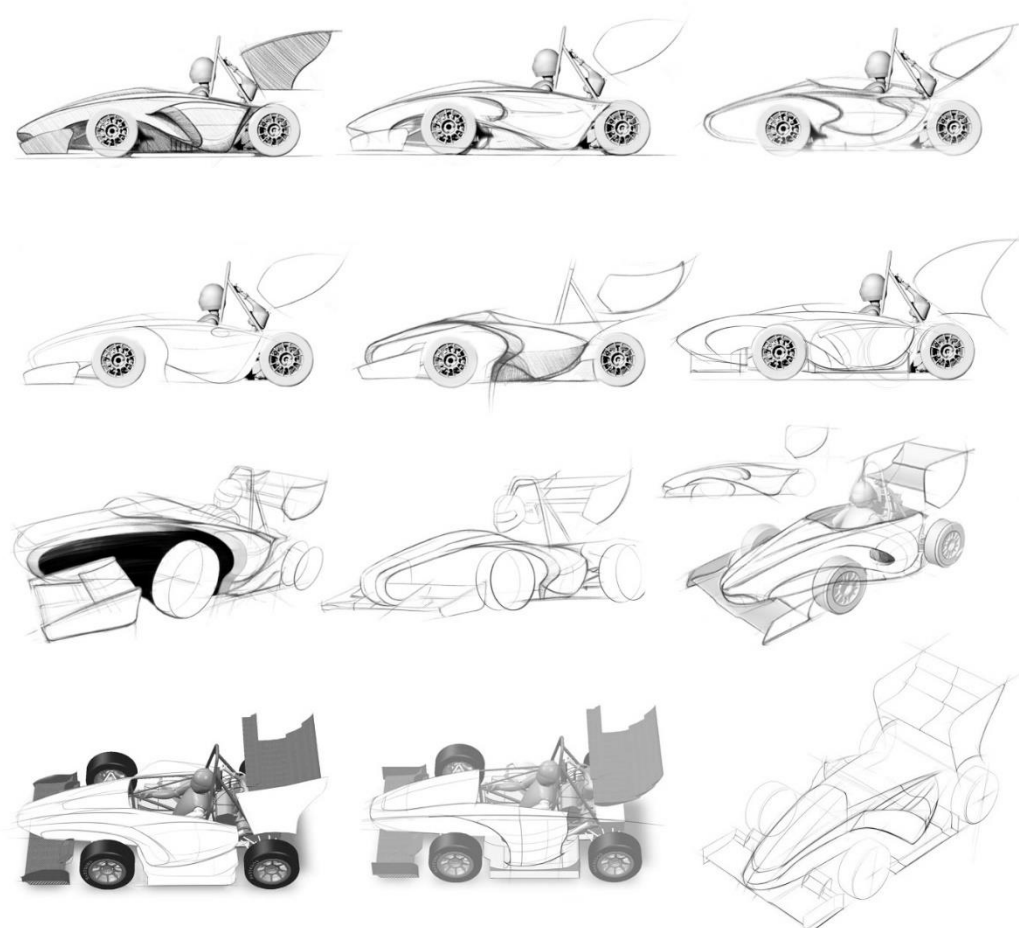
Prvotné skice slúžili na jasné definovanie profilu formule, od ktorého sa odvíjali ďalšie skice z rôznych pohľadov. V tomto kroku bolo kľúčové určiť hlavnú líniu kapotáže, ktorá do veľkej miery definuje celkový charakter formule. Ideou bolo brať kapotáž ako jeden celok. Zadná kapotáž motora bola zamietnutá tímom už v úvodnej fáze, najmä z finančných dôvodov a časovej náročnosti na výrobu.

Pri navrhovaní bočníc bolo hlavnou ideou v určitom mieste plynule nadviazať na prednú časť vozidla a tým dosiahnuť tvarové prepojenie hlavných častí karosérie. Súčasťou návrhu bola možnosť navrhnuť bočnice predného a zadného krídla. Aj keď pozícia profilov krídel bola jasne definovaná a nebolo možné ju meniť, ideou bolo tvarovo prepojiť bočnice zadných krídel s kapotážou formule, tak aby návrh nepôsobil príliš disproporčne a celkový tvar pôsobil vyvážene. V tejto časti sa dalo pracovať len s rovnými plátnami karbónu a nebolo možné ich priestorovo tvarovať.

Keďže koncepcia rámu neumožňovala vytvoriť čistú líniu kapoty, ktorá by nenavodzovala mohutný tvar prednej časti, bol už od začiatku zámer vytvoriť ďalšiu časť kapoty „kapličku“. Týmto prvkom sa kapota rozdelí na dve časti a s pomocou farebného polepu by sa mal tento efekt „mohutnosti“ eliminovať.

Ideou u väčšiny návrhov bolo plynulé nadviazanie vrchnej časti kapoty „kapličky“ na bočnú časť kapotáže.

Tvary kapotáží boli navrhované s cieľom vyhnúť sa agresívnym ostrým hranám a zlomom a zároveň dosiahnuť dynamický vzhľad pomocou čistých liniek evokujúcich rýchlosť. Vďaka tomu formula nadobudne organickejší tvar, ktorý sa v súčasnosti nevyskytuje vo formulách tohto typu.



Obrázok 57 – variantné návrhy profilu monopostu

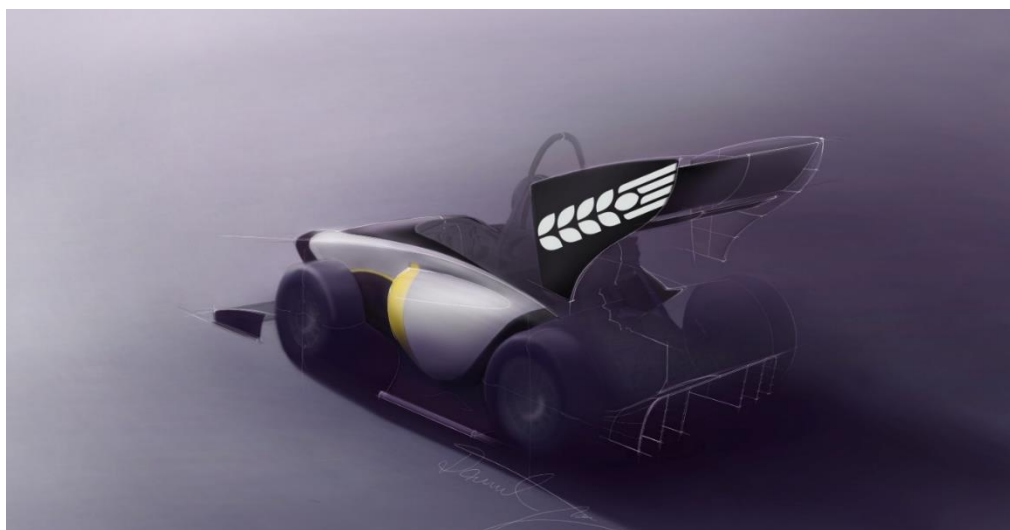
4.2 Návrh č. 1

Návrh č.1 bol zhotovený už v sezóne 2022 pre FS07. Tento návrh však nebol vyrobený, a preto pripadal ako prvý v úvahu pri tvorbe novej karosérie.

Profilová linka plynule stúpa od nosu ku kokpitu a smerom dozadu upadá. Nos a kapota majú čistý a jednoduchý tvar, rozdelený bielym polepom, ktorý plní dôležitú úlohu v návrhu. Čierna farba opticky odľahčuje prednú časť a v kontraste s bielou vytvára dojem komplexnejšieho tvaru. Žltá línia nadväzuje na spodnú časť bočnice a zároveň zdôrazňuje výrez kapoty a tvar vstupného otvoru. Opticky predlžuje formulu a dodáva jej dynamický vzhľad. Bočnice sa v prednej časti výrazne rozširujú a smerom dozadu zužujú, čím vytvárajú kontrast s trupom, ktorý je vpredu najužší. Ostré skosenie vstupných otvorov je súbežné s pozíciou chladiča umiestneného vo vnútri bočnice.



Obrázok 58 –profil návrhu č.1

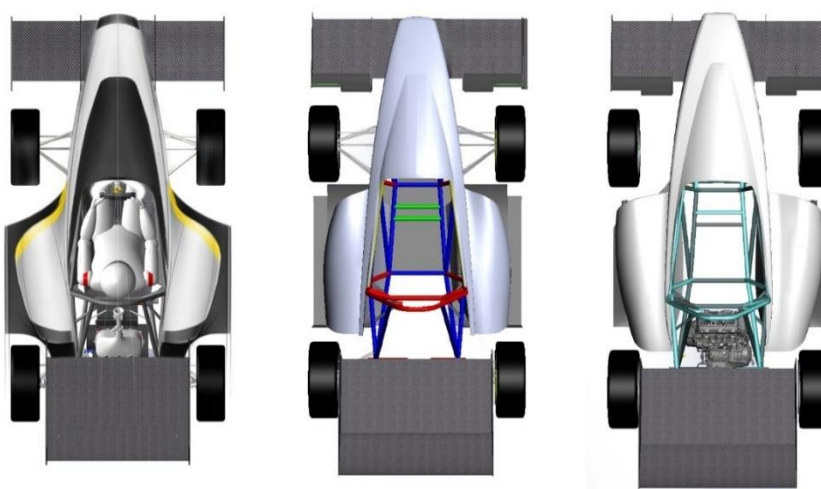


Obrázok 59 – návrh č.1 pohľad z troch štvrtín

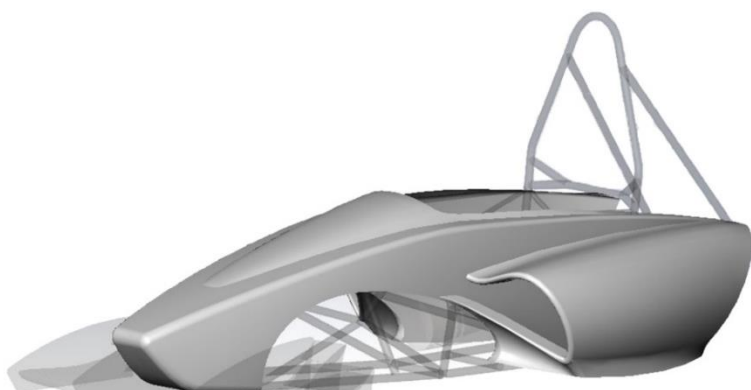


Obrázok 60 – návrh č.1 pohľad z troch štvrtín

V 3D modeloch sú reflektované zmeny oproti kresebnému návrhu, ktoré vznikli pri optimalizácii kapoty na rám. Zároveň sú v nich zapracované niektoré pripomienky tímu týkajúce sa dotykových miest medzi karosériou a rámom. Ak by boli zohľadnené všetky pripomienky v návrhu celkový dizajn by stratil svoju myšlienku a charakter.



Obrázok 62 – porovnanie skice s 3D modelmi

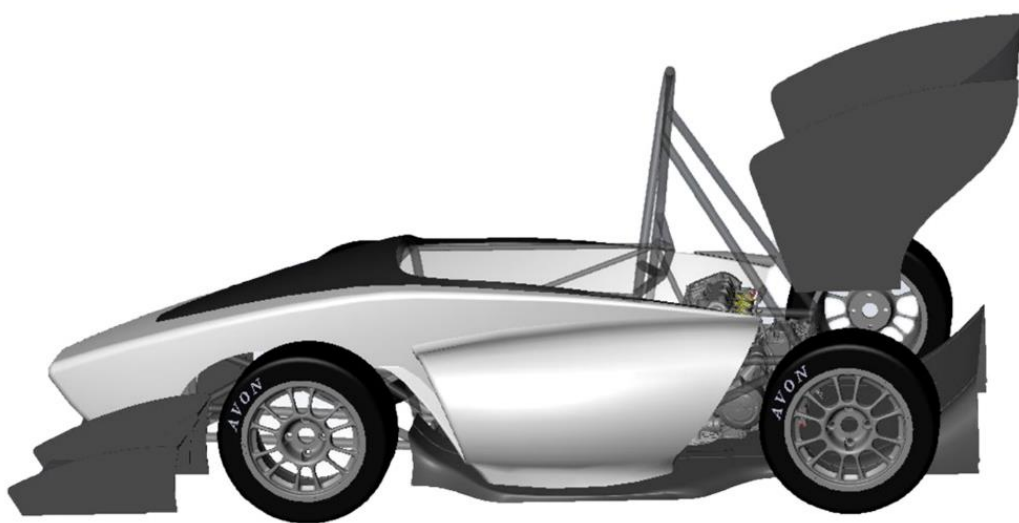


Obrázok 63 – návrh č.1 v 3D prostredí

Aj keď tento návrh spĺňa všetky stanovené idey, nebolo možné ho zanechať v rovnakej podobe. Po tímových konzultáciách bolo rozhodnuté opustiť návrh s uzatvorenou spodnou časťou bočníc a zamerať sa na návrhy s otvorenou bočnicou, ktorá ústi do podlahy vozidla. Cieľom bolo zabezpečiť maximálny prívod chladného vzduchu do chladiča motora. Komplikovaná by bola aj samotná výroba bočníc. Z dôvodu zachovania dostatočného výhľadu pilota na hranu predného krídla bol plynulý prechod „kapličky“ na bočnú stranu formule nemožný.



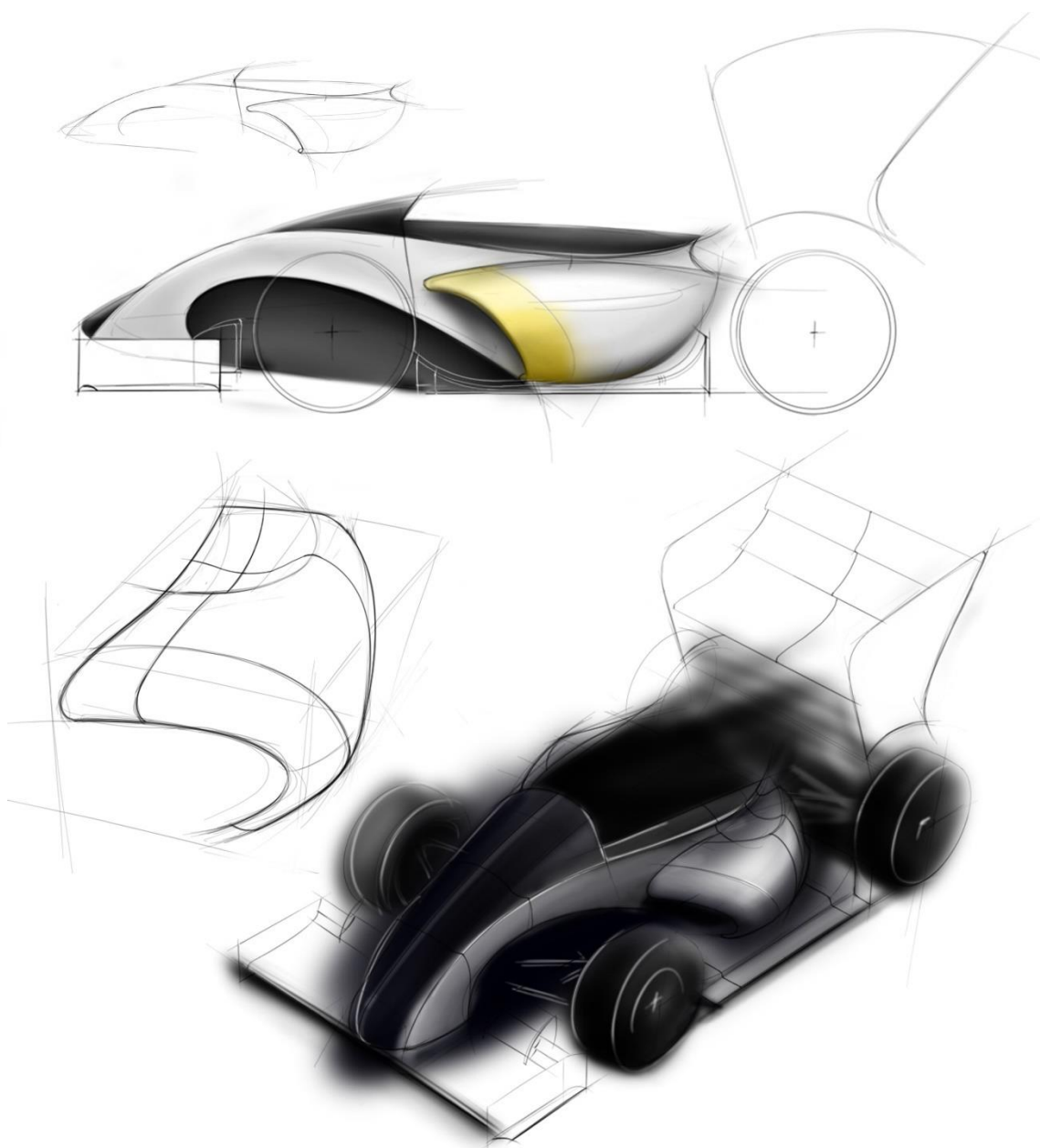
Obrázok 64 – pohľad spredu, návrh č.1



Obrázok 65 – pohľad z boku, návrh č.1

4.3 Návrh č. 2

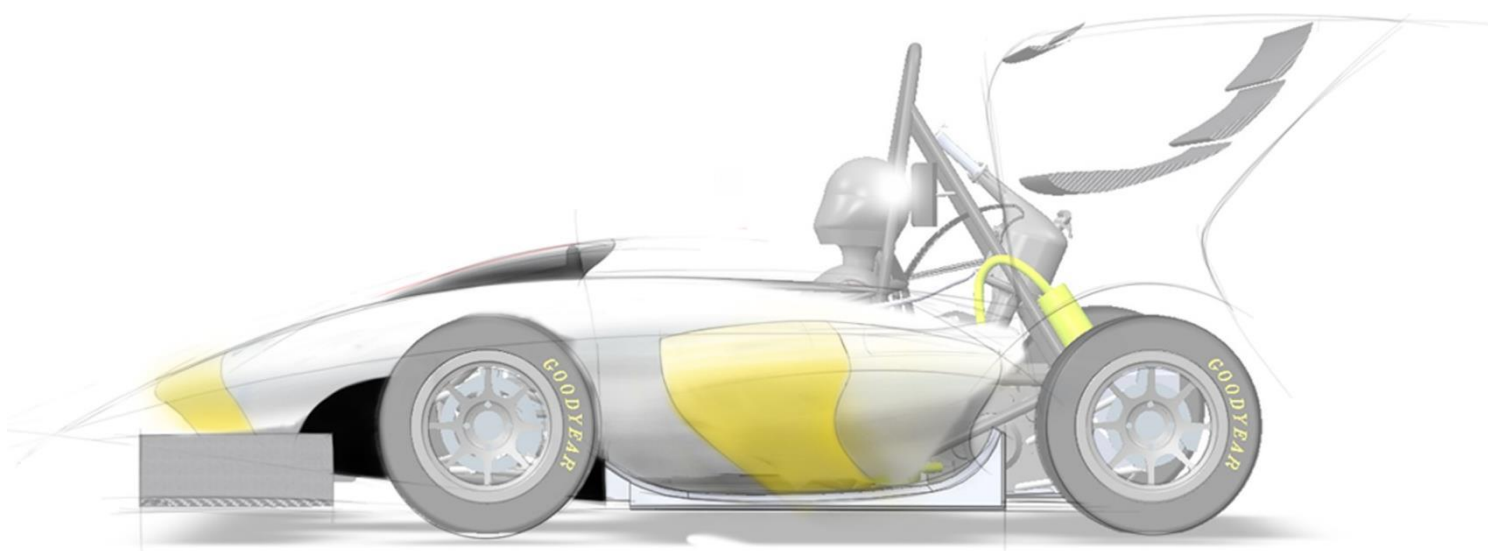
Na základe tímových pripomienok bol vytvorený návrh č.2, ktorý nadväzuje na pôvodný koncept. Predná časť formule prešla tvarovou úpravou a pôsobí dynamickejšie. Od nosu sa tiahne línia, ktorá je v oblasti predného oblúka rámu prudko zlomená a vytvára tak striešku slúžiacu ako tienidlo prístrojovej dosky. Kapotáž následne dolieha na bočnú trubku rámu. Bočnice z profilu pripomínajú návrh č. 1, avšak z iných pohľadov pôsobia odlišne. Odstránením spodnej časti bočnice vznikol tvar, ktorý nenadväzuje na zvyšok karosérie. Ukončenie bočnice kopíruje tvar podlahy, čím sa čiastočne prepojuje podlaha s kapotážou.



Obrázok 66 – návrh č.2

4.4 Návrh č. 3

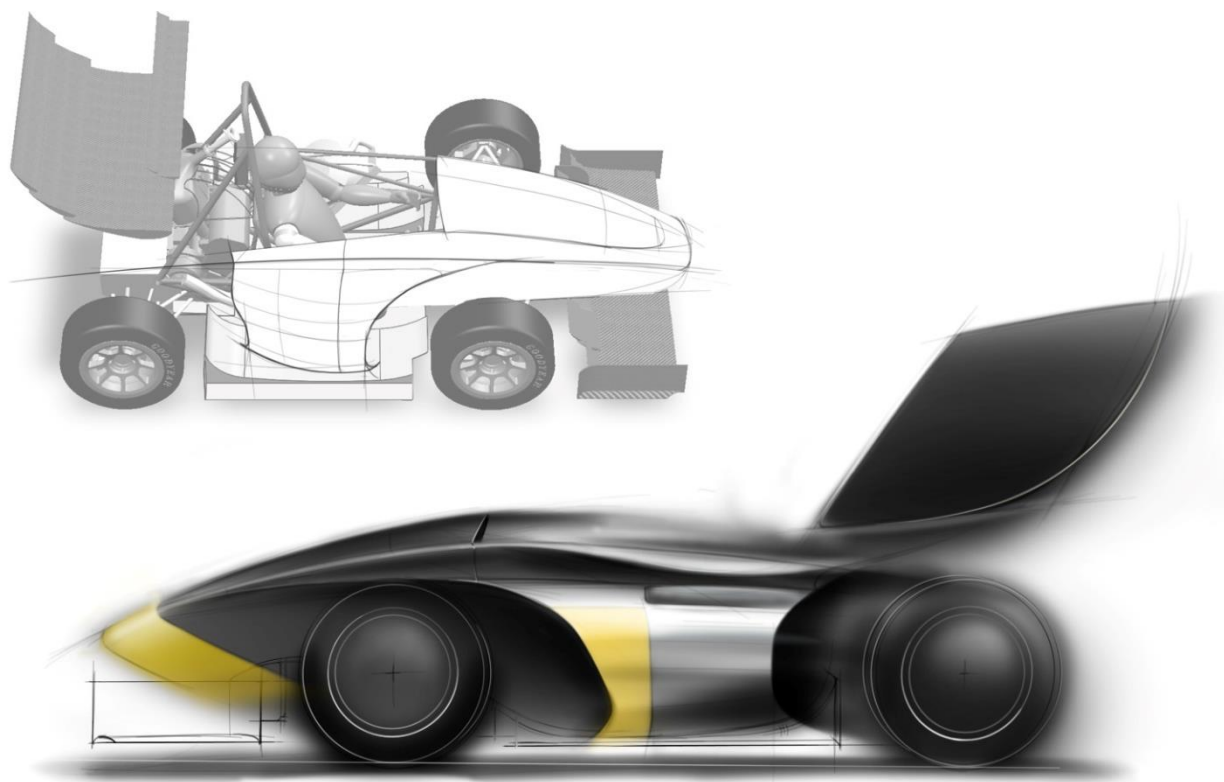
Návrh č.3 pokračuje v dizajnovom jazyku predchodcu FS07, no prináša zmenu v podobe kompaktnejších a tvarovo prepracovaných bočníc. Svojim tvaroslovím nadväzujú na líniu trupu formule a zároveň dotvárajú jej elegantný vzhľad. Vrchná časť kapoty sa smerom dole zužuje a v kombinácii s oblúkovým výrezom kapoty dodáva monopostu dynamickejší profil. Čisté línie a jemne lomené plochy, doplnené žltým polepom na nose a prednej časti bočníc, dodávajú monopostu originálny charakter. Tradičnejší tvar „kapličky“ je od zvyšku kapoty oddelený čiernou farbou, ktorá opticky zvýrazňuje bielu plochu a minimalizuje rušivý prvok.



Obrázok 67 – návrh č.3

4.5 Návrh č. 4

Návrh č. 4 sa odlišuje od predošlých návrhov ostrejšími líniami pričom si zachováva dynamický vzhľad. Dominujú mu 3 hlavné línie, ktoré vychádzajú z úrovne nosa formule. Vrchná línia definuje tvar „kapličky“. Stredová línia v úrovni kokpitu vytvára bočný previs, ktorý rieši vizuálny problém vrchnej šikmej roviny doliehajúcej na rám. Na spodnú horizontálnu líniu nadväzujú bočnice, ktoré spolu s žltým polepom ukončeným vertikálou pôsobia staticky, ale zároveň ich oživujú ostré otvory. V hornej časti bočníc sú umiestnené otvory, ktoré napomáhajú odvodu teplého vzduchu z chladiča. Nos formule je ostrý, postavený vyššie, kvôli dostatočnému prúdeniu vzduchu pod podlahu formule. Zadná bočnica krídla nadväzuje na stredový líniu karosérie a pomáha tak v tvarovom prepojení aerodynamických prvkov s kapotážou formule.



Obrázok 68 – návrh č.4

5 FINÁLNE DIZAJNÉRSKE RIEŠENIE

Finálny návrh vychádza z predošlých návrhov, zároveň sa snaží vytvoriť originálne riešenia jednotlivých dielov a vzájomne ich prepojiť. Primárnou myšlienkou bolo návrh čo najviac vizuálne zoštíhliť v prednej časti a následne ju plynulo prepojiť s bočnicami formule.

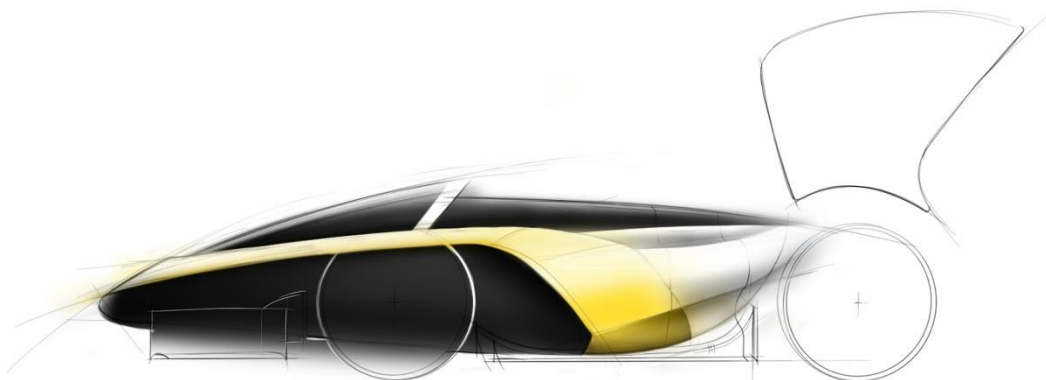
Nos formule, smerujúci k zemi, je umiestnený pred predným profilom krídla, čo predlžuje samotný tvar formule. Tým sa formula stáva proporčne vyváženejšia.

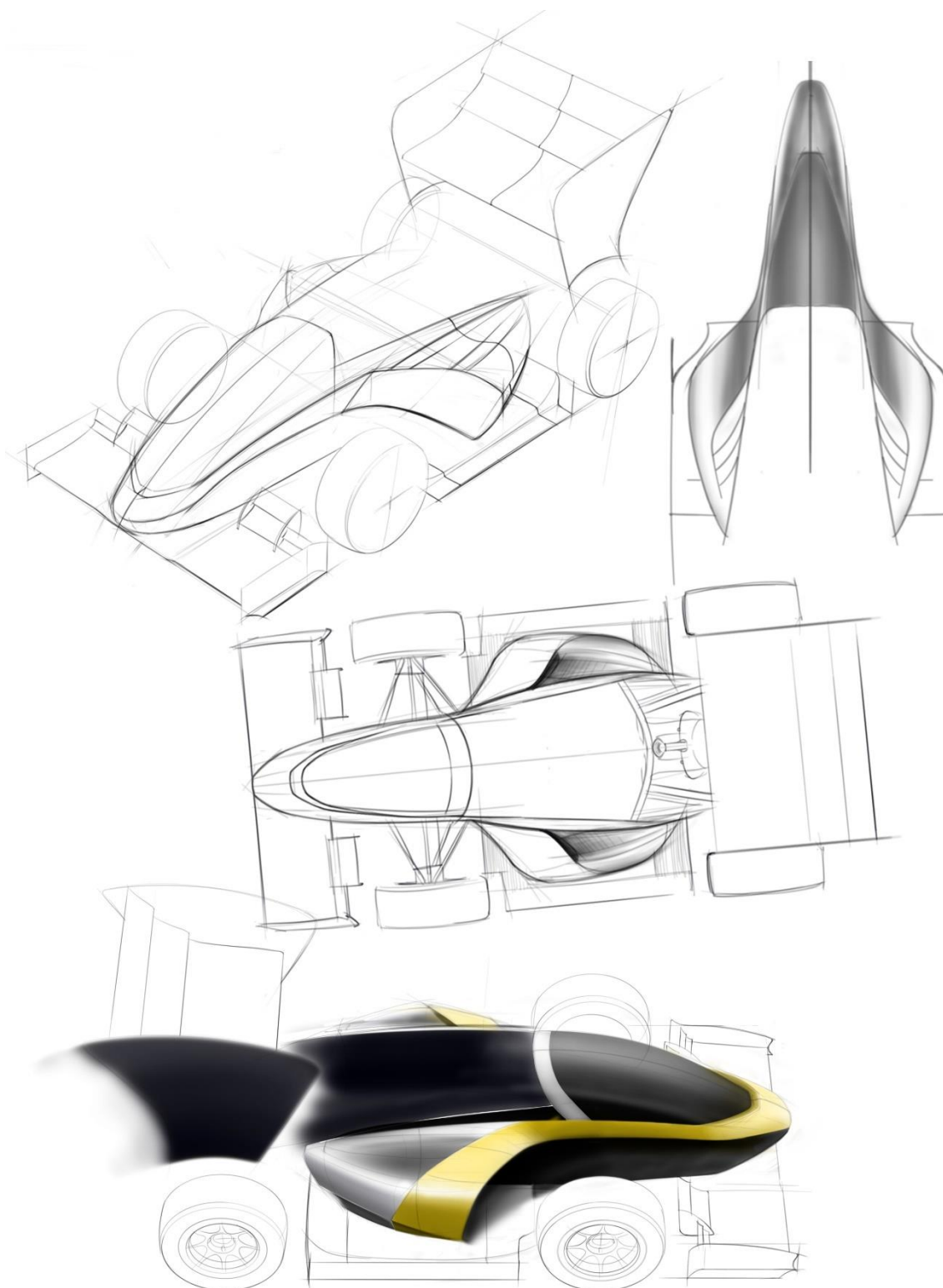
S cieľom zachovať čistotu návrhu, bez pridanej „kapličky“, kapota výrazne odstupuje od stredovej časti a pokračuje až k vrcholu predného oblúku rámu. V tomto bode je kapota skosená, aby mal pilot čo najväčší výhľad na prednú hranu krídla. Vrchná časť kapotáže v oblasti kokpitu kopíruje tvar bočnej rámovej výstuhy, na ktorú po celej dĺžke prilieha. V tejto oblasti nie sú možné žiadne tvarové alternatívy a kapotáž musí byť prispôbena pozícii trubky.

Najvýraznejší prvok predstavuje stredová časť, ktorá sa tvarovo aj farebne odlišuje od vrchnej a spodnej časti. Žltý pás sa v oblasti nosa jemne láme a pokračuje pozdĺž kapoty, kde sa následne rozširuje do bočníc.

Bočnice tvoria dva farebné segmenty (žltý a biely), ktoré spája šikmé zrezanie spodku bočníc. V hornej časti bočníc sú umiestnené kanály na odvod horúceho vzduchu od chladiča. Predná časť bočníc sa výrazne rozširuje, čím monopost pôsobí robustnejšie. Potom sa bočnice plynulo zužujú a v zadnej časti zostávajú otvorené.

Počas tvorby návrhov sa tím rozhodol aplikovať vlastné bočnice predného krídla, preto tento diel ostal v nezmenenej podobe. Pre efektívne využitie zadného krídla bola jeho bočnica navrhnutá tak, aby pokrývala čo najväčší priestor medzi spodným profilom krídla a zadným kolesom.

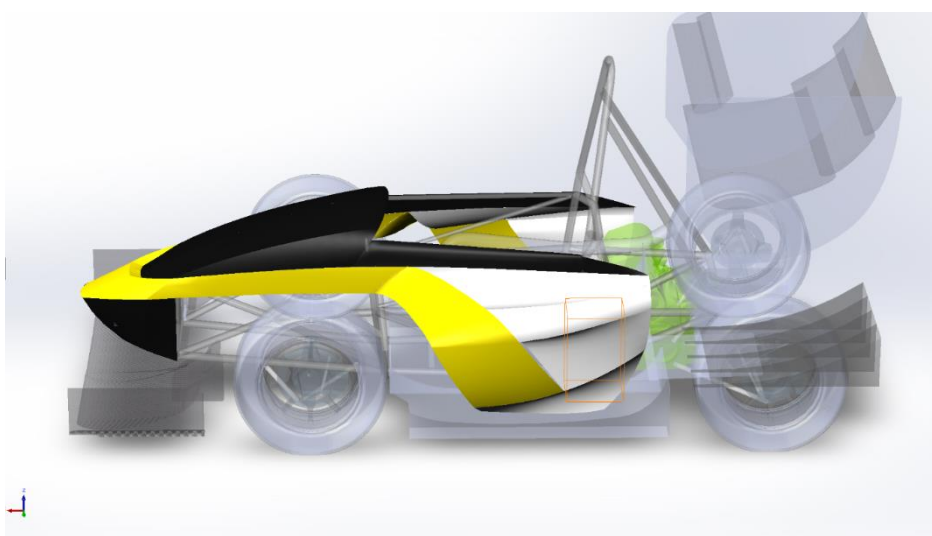




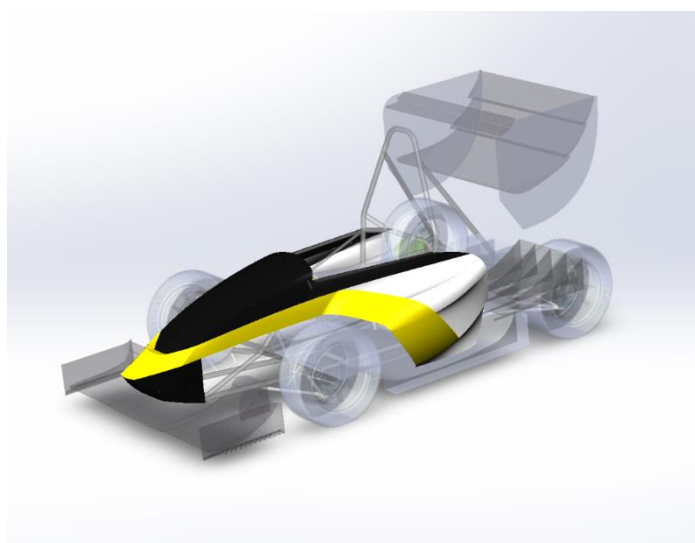
Obrázok 69 – finálny návrh

5.1 Pracovní 3D model

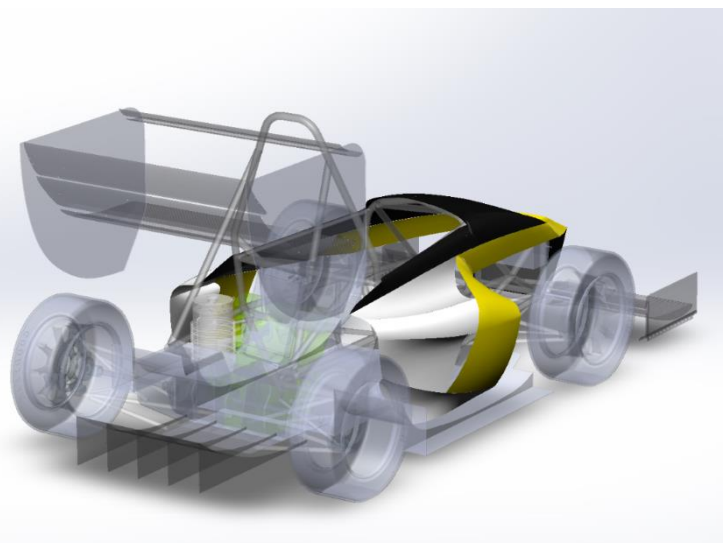
Pracovní model sloužil na overenie základných parametrov a proporcií finálneho návrhu v 3D prostredí. Hlavným cieľom bolo preskúmať kritické body karosérie, ktoré musia doliehať k rámu. Model bol vytvorený bez detailných zaoblení a rádiusov. Bočnice boli doplnené o bočné otvory, ktoré dopomáhajú odľahčiť celkový tvar. Následne prebehla aerodynamická simulácia modelu, ktorá pomohla identifikovať kritické miesta a slúžila ako podklad pre ďalšie úpravy.



Obrázok 70 – pracovný model z profilu



Obrázok 71 – pracovný model, pohľad spredu z troch štvrtín

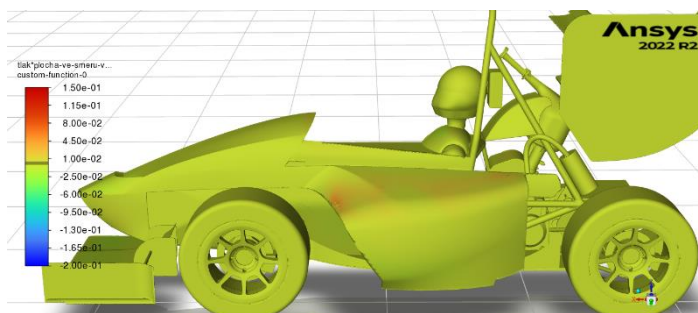


Obrázok 72 – pracovný model, pohľad zozadu z troch štvrtín

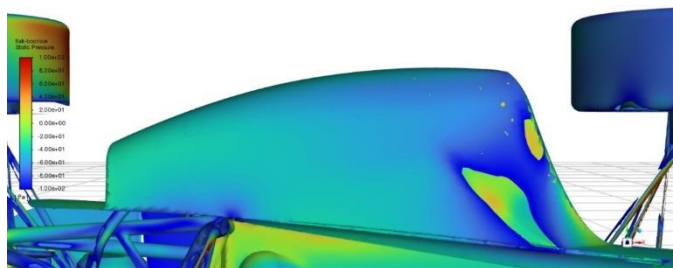
Aerodynamická simulácia odhalila problematické miesta na bočnici monopostu. Nábehová plocha na vnútornej strane generovala nežiadúci vztlak, čím narušovala aerodynamickú stabilitu formule. Naopak, vonkajšia časť nábehovej hrany spôsobovala zbytočný odpor vzduchu. Rovnako bolo nutné eliminovať hlboký predel medzi nosom a kapotou.

Z výrobného hľadiska sa bočná stredová časť, pod úrovňou kapoty, musela zdvihnúť od predného kolesa smerom nahor, aby sa optimalizovala výroba formy - z jedného kusu. Táto zmena ovplyvnila pozíciu a nástupnú hranu bočnice. Z dôvodu zjednodušenia výroby bol odstránený aj bočný kanál. U zadného výstupného otvoru bočnice bola potrebná tvarová úprava do atraktívnejšej podoby, ktorá by nenarušovala prúdenie horúceho vzduchu od chladiča a zároveň spevňovala tvar bočnice.

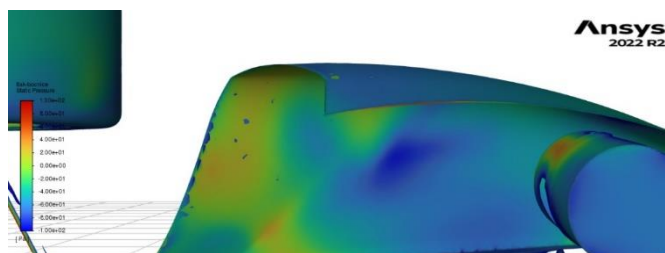
Z funkčného hľadiska, bolo nutné zúžiť vstupný otvor bočnice tak, aby v najširšom bode nepresahoval úroveň vnútornej hrany pneumatiky. Táto úprava bola vyžadovaná z dôvodu ochrany komponentov v bočnici pred odlietavajúcimi nečistotami od kolies, ktoré poškodzujú najmä chladič. Táto úprava mala pozitívny vplyv aj na aerodynamiku vozidla.



Obrázok 73 – aero – simulácia č. 1



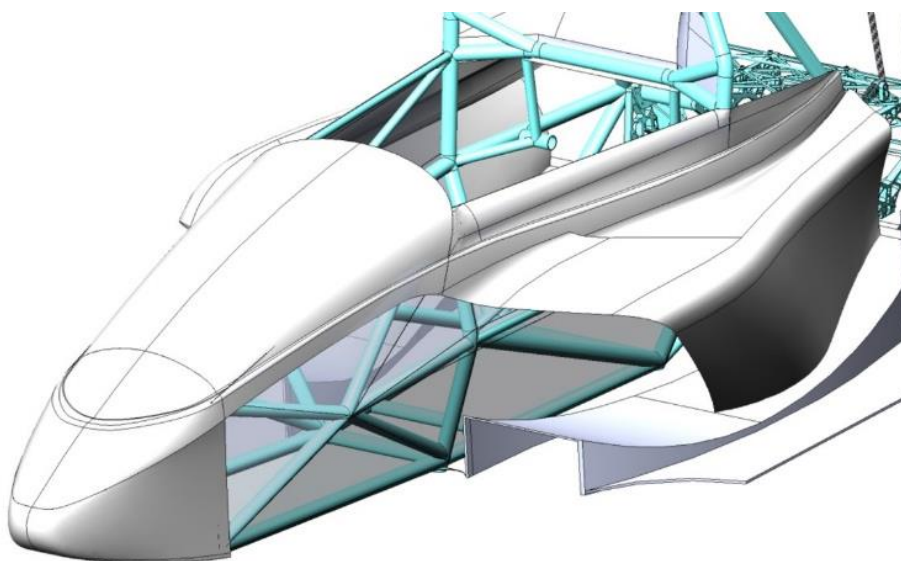
Obrázok 74 – aero – simulácia č. 2



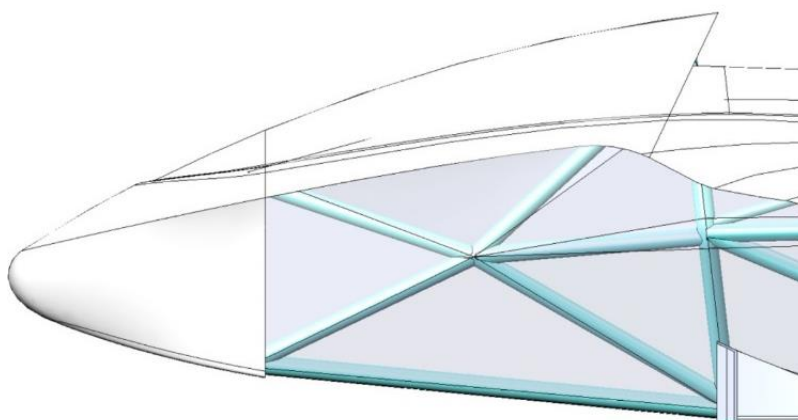
Obrázok 75 aero – simulácia č. 3

5.2 Finálny 3D model

Vzhľadom k časovej náročnosti opakovaných úprav musela práca na 3D modeli prejsť do ďalšej fázy. Model prešiel od prvotnej idey, cez skice a náročnú modeláciu až do finálnej podoby. Kvôli aerodynamickým, výrobným a funkčným požiadavkám sa koncept musel značne pozmeniť, avšak s úsmevom možno konštatovať, že pôvodná myšlienka v ňom zostala zachovaná. Finálne vizualizácie predstavovali už len pomyselnú čerešničku na torte, ktorá však mala viacero poschodí. Tím posledným bola realizácia návrhu.



Obrázok 76 – finálny model



Obrázok 77 – výšková zmena hlavnej línie a nadviazanie bočníc

5.3 Vizualizácie



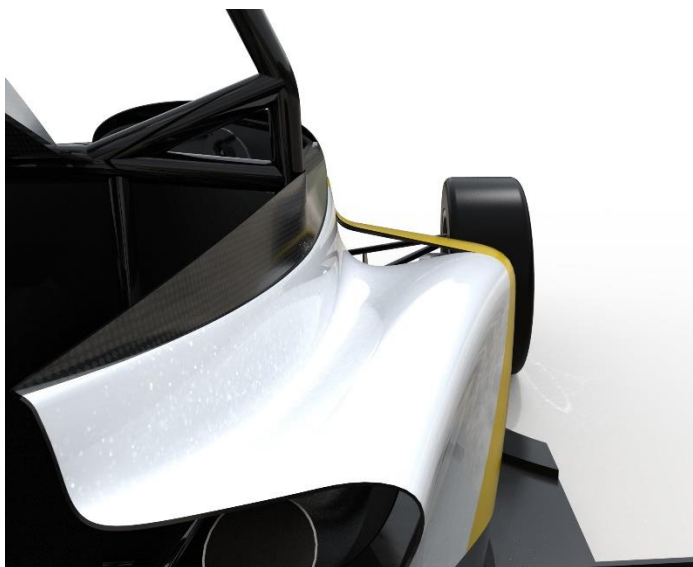
Obrázok 78 – vizualizácia 1



Obrázok 79 – vizualizácia 2



Obrázok 80 – vizualizácia 3



Obrázok 81 – vizualizácia 4 – detail kanálu bočnice



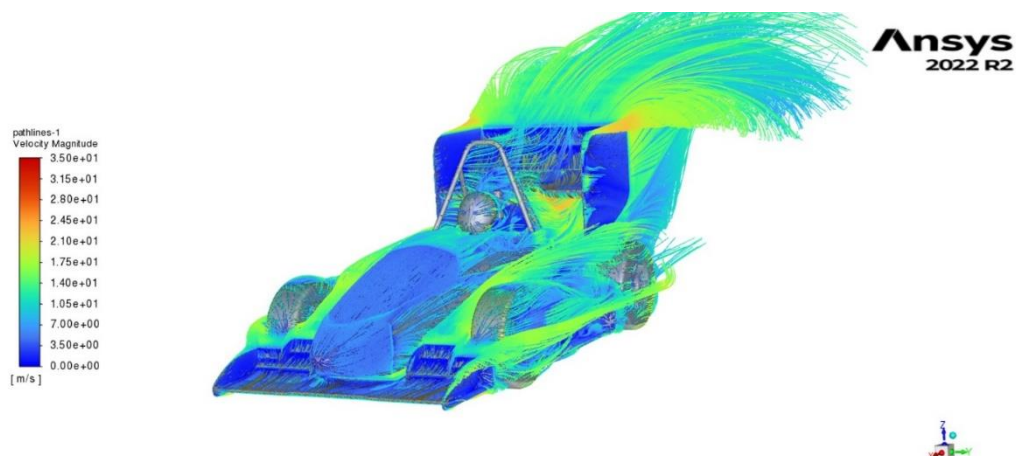
Obrázok 82 – vizualizácia

5.4 Aerodynamika finálneho návrhu

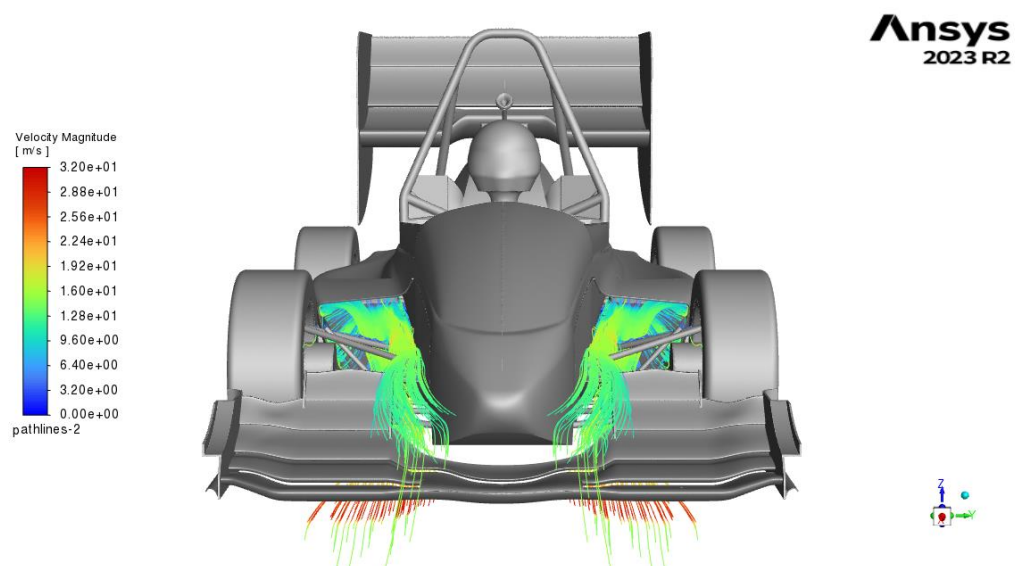
Hlavnou úlohou aerodynamiky karosérie je zaistiť plynulé obtekanie vzduchu okolo monopostu.

V porovnaní s predchádzajúcim monopostom FS07 dizajn karosérie FS08 výrazne lepšie plní túto úlohu, navyše čiastočne generuje prítlak a prispieva k lepšej stabilite a ovládateľnosti.

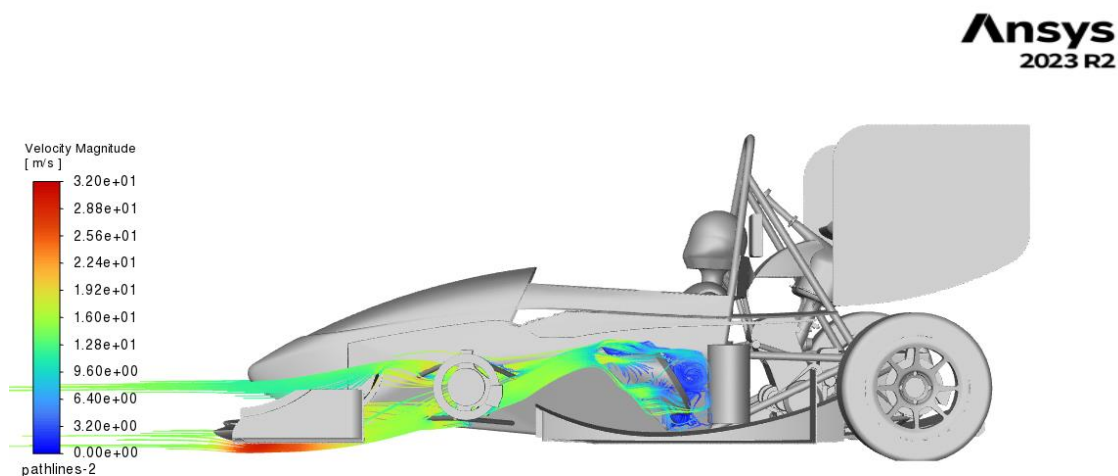
Špeciálnu funkciu majú bočnice, ktoré usmerňujú prúdenie vzduchu k chladiču motora.



Obrázok 83 – prúdenie vzduchu



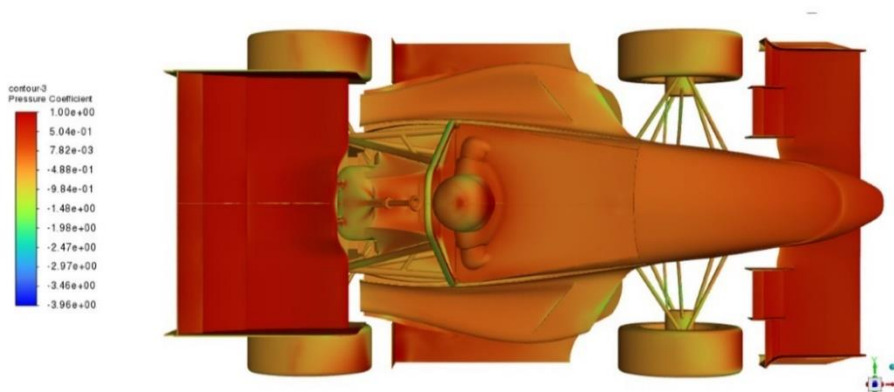
Obrázok 84 – prúdenie vzduchu do bočníc



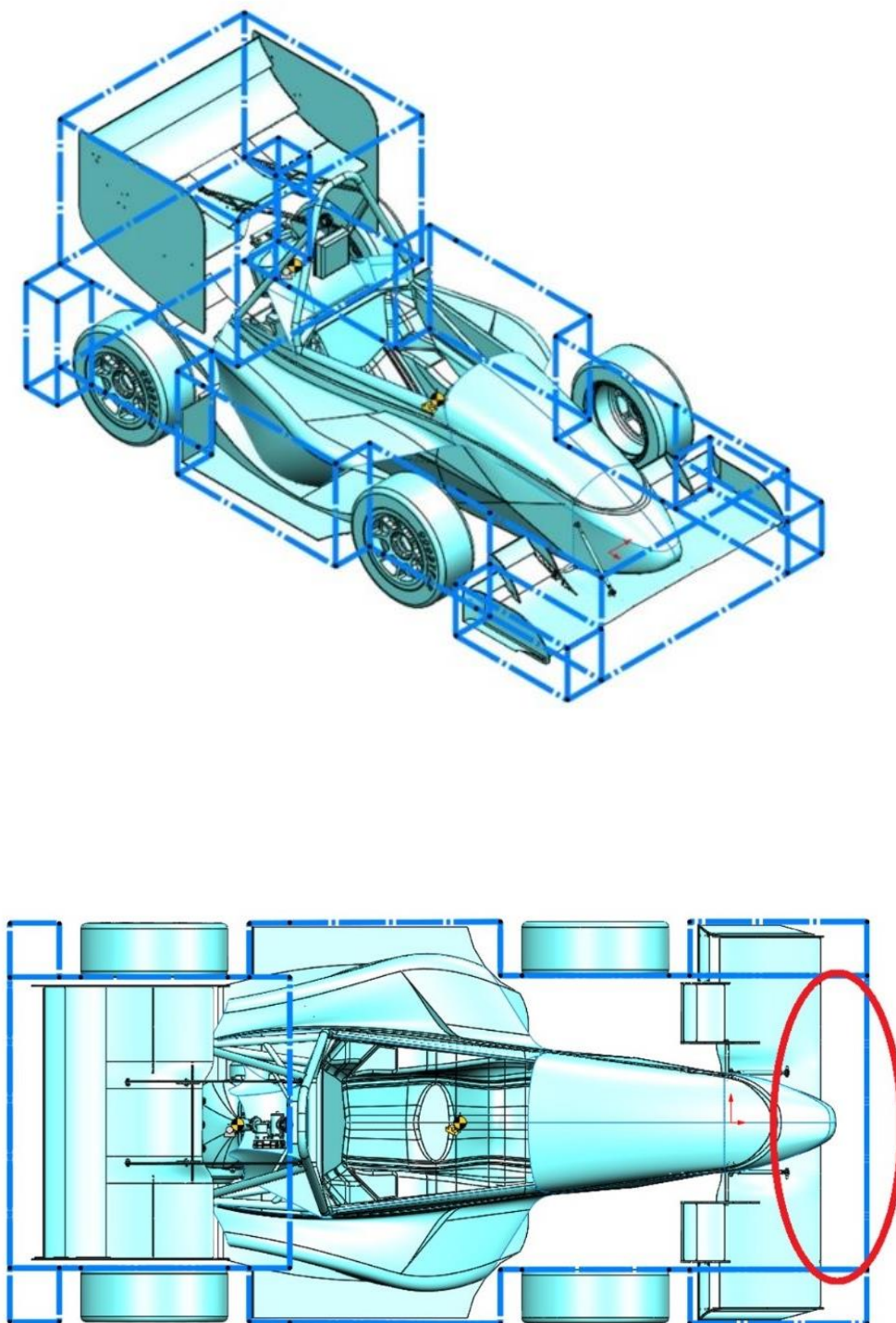
Obrázok 85 – prúdenie vzduchu do bočníc z profilu



Obrázok 86 – simulácia – rozloženie tlaku 1



Obrázok 87 – simulácia – rozloženie tlaku 2



Obrázok 88 – porovnanie modelu s rozmerovými pravidlami

5.5 Grafika

5.5.1 Grafický polep

Farebná kombinácia (biela, čierna, žltá) vychádza z vizuálneho tímového štýlu. Biele a žlté časti karosérie sú riešené formou polepu, zatiaľ čo odhalená čierna textúra uhlíkových vlákien plní funkciu čiernej farby. Použitie polepov na veľkých plochách znamená značné navýšenie hmotnosti, preto sa tím rozhodol zanechať lakovaný karbón a tým ušetriť dôležité gramy. Biela farba je neoddeliteľnou súčasťou tímového vizuálneho štýlu a v kombinácii s čiernou karbónovou textúrou vytvára maximálny možný kontrast. Doplnková žltá farba je v porovnaní s minuloročnými tímovými monopostami použitá vo väčšej miere a zvýrazňuje hlavné línie kapotáže. Použitá je aj na vnútorných stranách bočníc krídel, kde efektívne rozbíja čiernu masu karbónu a prepojuje ich s karosériou. Grafika polepu je čistá a striedma, použitá najmä na zvýraznenie hlavných rysov auta a dosiahnutie proporčnej vyváženosti dizajnu. Zle zvolený farebný polep, napríklad na spodnej alebo vrchnej prednej časti, by mohol narušiť vizuálne proporcie a monopost by stratil svoju ľahkosť. Tá bola docielená aj v spodnej časti bočníc, kde polep končí nad úrovňou podlahy vozidla, čím bočnice pôsobia ľahším a dynamickejším dojmom.



Obrázok 89 – grafický polep



Obrázok 90 – polep kapotáže z profilu

5.5.2 Kompozícia grafických prvkov

Obilný klas umiestnený v spodnej úrovni bočnice zadného krídla odkazuje na Zemědělskou univerzitu. Zámerné sleduje spodnú hranu a snaží sa dodať dynamiku statickému povrchu. Logo tímu sa nachádza na profiloch zadného krídla, tak ako je už tradíciou. Logo univerzity je zámerné umiestnené samostatne v žltej časti bočnice a farebne odlišné od ostatných sponzorov.



Obrázok 91 – rozmiestnenie log z profilu

Kvůli čistote návrhu sú všetky logá sponzorov zjednotené do jednej farby. Logá sú umiestnené systematicky podľa marketingového plánu pre sponzorov. Podľa formy podpory a výšky finančného príspevku sa radia do kategórii Platinum, Gold, Silver a Bronz. Tieto kategórie na formule určujú veľkosť loga a jeho umiestnenie na danú časť formule. Logá z kategórie Platinum a Gold majú rozmer 220 x 200 mm a 200 x 170 mm a sú umiestnené na najviditeľnejšej časti - kapota. Kategória Silver zahŕňa logá s rozmermi 140 x 140 mm. Ich umiestnenie je na prednom krídle a bočnici zadného krídla. Poslednou je kategória Bronz s rozmerom 90x60. Logá tejto kategórie sú umiestnené na podlahe vozidla a v čiernej časti bočnice. Na obrázku 93 je tabuľka s prehľadom výhod jednotlivých kategórií.



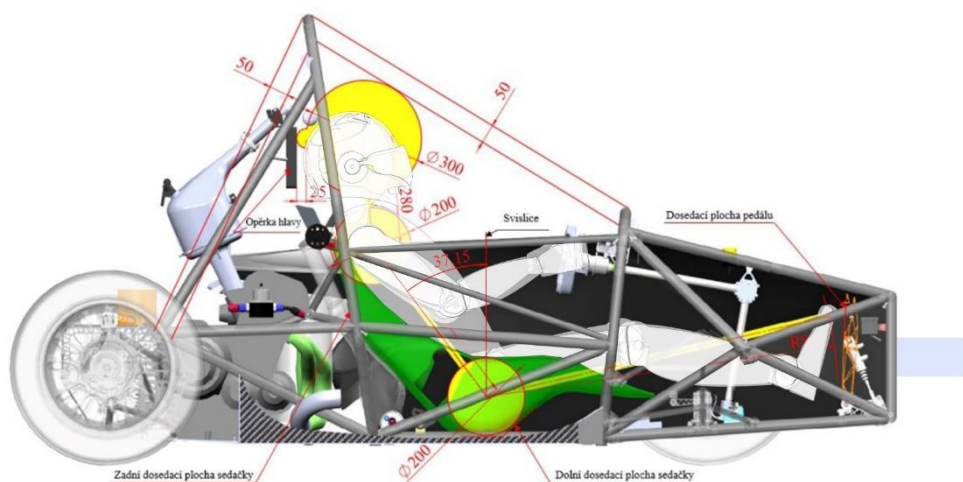
Obrázok 92 – rozmiestnenie log spredu

	Platinum	Gold	Silver	Bronze
Logo na monopostu	220x200	200x170	140x140	90x60
Logo na tímovom oblečení				
Logo na spoločnom banneru				
Logo na sociálnych sítich a webových stránkach				
Logo v prezentáciach				
Newsletter				
Účast na dni sponzorů				
Zapůjčení monopostu na výstavu (statická ukázka)				
Zapůjčení monopostu na výstavu (dynamická ukázka)				
Príspevky o výrobcích a událostech partnerů				
Samostatný baner s logem firmy				
Logo na přívěsu				
Přednášení spolupráce se sponzorem mezi studenty				
Hashtag na zadním křídle				

Obrázok 93 – marketingový plán pre sponzorov

6 ERGONOMICKÁ ŠTÚDIA

Ergonomické riešenie monopostu FS08 je dané jednak súťažnými pravidlami, tak geometriou rámu. Poloha ovládacích prvkov, volantu a pedálov, je prispôsobená parametrom tímových jazdcov. Pilotom Formula Student pri podávaní vrcholových výkonov musí byť zabezpečená bezpečná a správna ergonómia. Táto skutočnosť zaraďuje FS08 do ergonomickej kategórie I.



Obrázok 94 – ergonomická schéma, pilot – 95 percentil muža

Hlavným prvkom ergonómie kokpitu je laminátová škrupinová sedačka. Univerzálny tvar bol vyrobený pre piatich tímových pilotov. Uhol sklonu sedadla voči zvislej polohe bol zvolený 37.15 stupňov, čím spĺňa pravidlá a zabezpečuje relatívne pohodlie jazdca. Z dôvodu výhod mechanických vlastností je sedadlo vyrobené z karbónového vlákna. Sedadlo bolo vyrobené technológiou mokrého laminovania, ktoré je ideálne pre organické tvarovanie. Súčasťou posedu je šesťbodový bezpečnostný pás pre maximálnu ochranu jazdca.



Obrázok 95 – výroba sedačky



Obrázok 96 – 3D sken sedačky

Opierka hlavy definuje polohu hlavy pilota. Opora hlavy je uchytená na tenkých trubkách spájajúce hlavný oblúk. V prípade bočného nárazu polyuretánové polstrovanie na hlavnom oblúku spomaľuje pohyb hlavy smerom k hlavnému oblúku.



Obrázok 97 – detail opory hlavy

Pedálová skupina pozostáva z dvoch pedálov – plynového a brzdového. Spojkové pádlo je umiestnené v oblasti palubnej dosky. Spojka sa používa iba pri rozjazde formule. Radenie prevodov je sekvenčné. Pilot volí 2 prevody pádlami, z karbónového vlákna, umiestnenými pod volantom. Samotný volant obsahuje jedno tlačidlo slúžiace pre launch control. Otáčky motora sú zobrazené graficky pomocou LED pásu umiestneného v hornej časti volantu. Všetky prvky sú umiestnené v dosahu rúk pilota, čo umožňuje rýchlu reakciu na situácie na trati.



Obrázok 98 – detail volantu

Pilot pred samotným vjazdom na trať musí absolvovať skúšku pred komisármi, pri ktorej sa musí bezpečne dostať z monopostu do piatich sekúnd. V tomto čase musí byť schopný odopnúť bezpečnostné pásy, odpojiť volant a vystúpiť z formule. Pri tomto procese kapotáž značne trpí. Kapotáž FS08 je navrhnutá tak, aby opakovane odolávala hrubšiemu zaobchádzaniu.

Jedným z referenčných bodov pilota pri jazde na trati je okraj hrany predného krídla. Kapotáž v oblasti kokpitu je výrazne vykrojená a kopíruje tvar trubkového rámu, čím je zabezpečený maximálny výhľad.



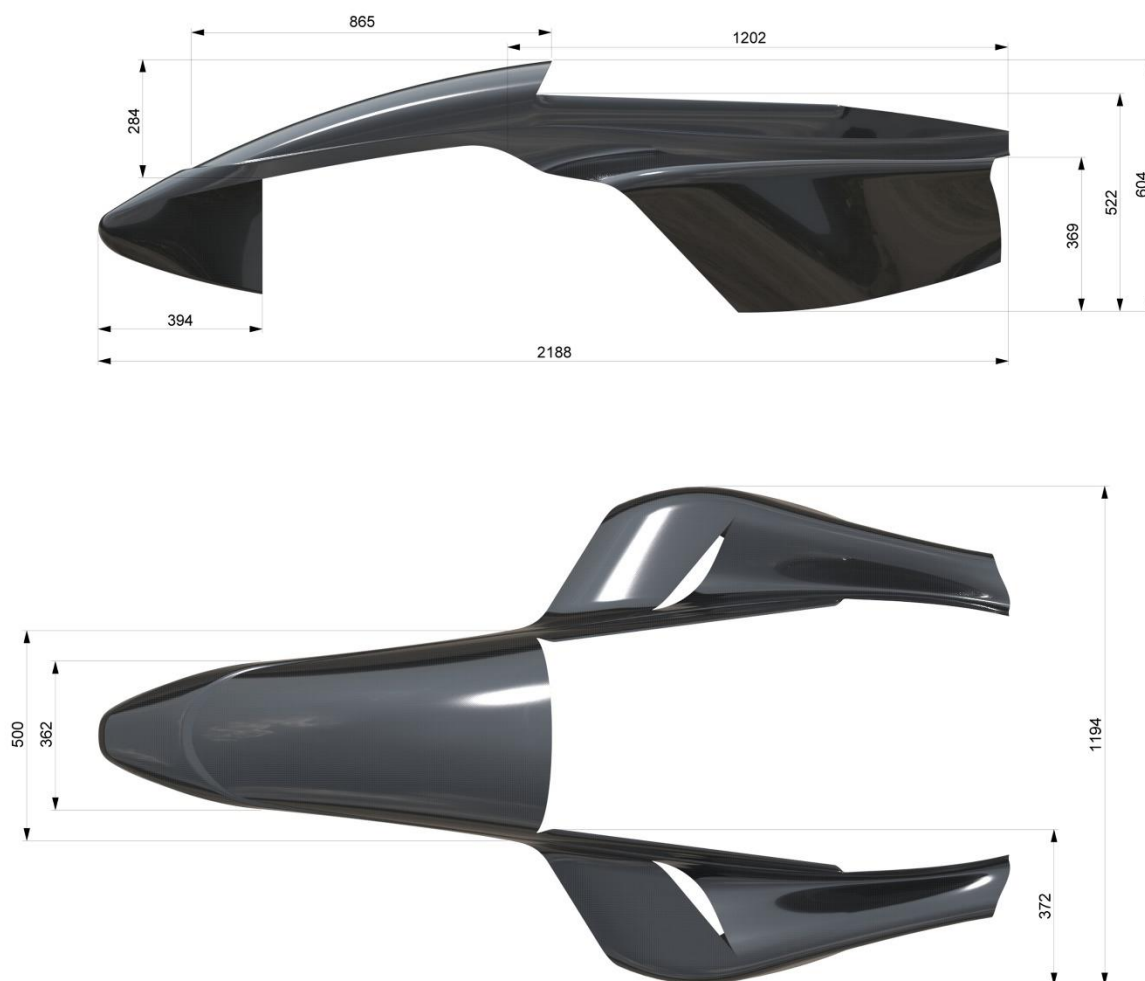
Obrázok 99 – výhľad pilota z formule



Obrázok 100 – výskum slepého uhlu

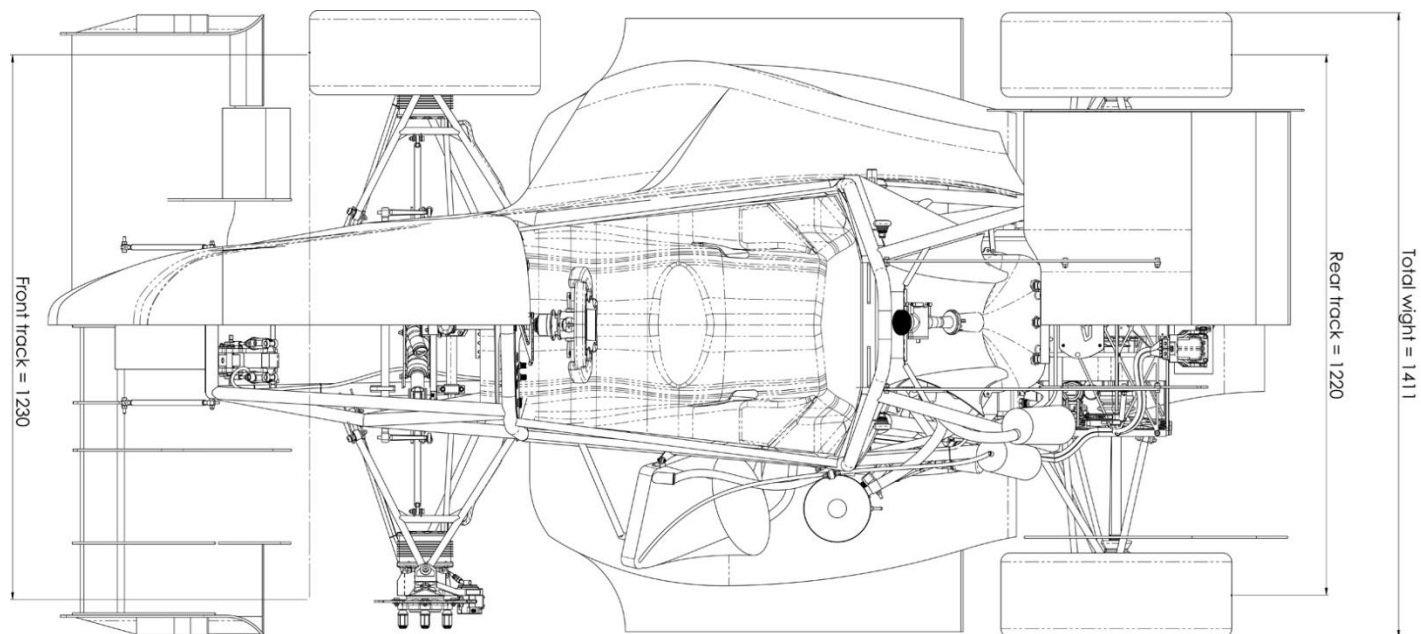
7 TECHNICKÁ DOKUMENTÁCIA

7.1 Rozmery kapotáže

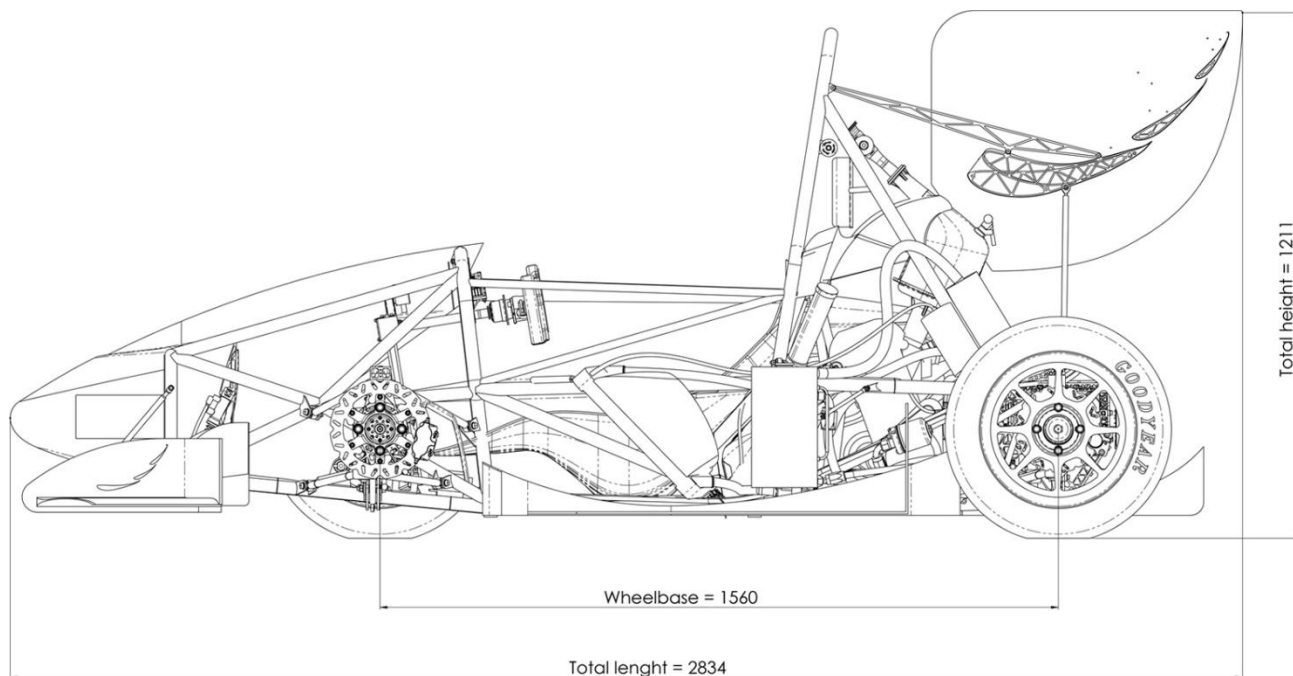


Obrázok 101 – rozmerový náčrt

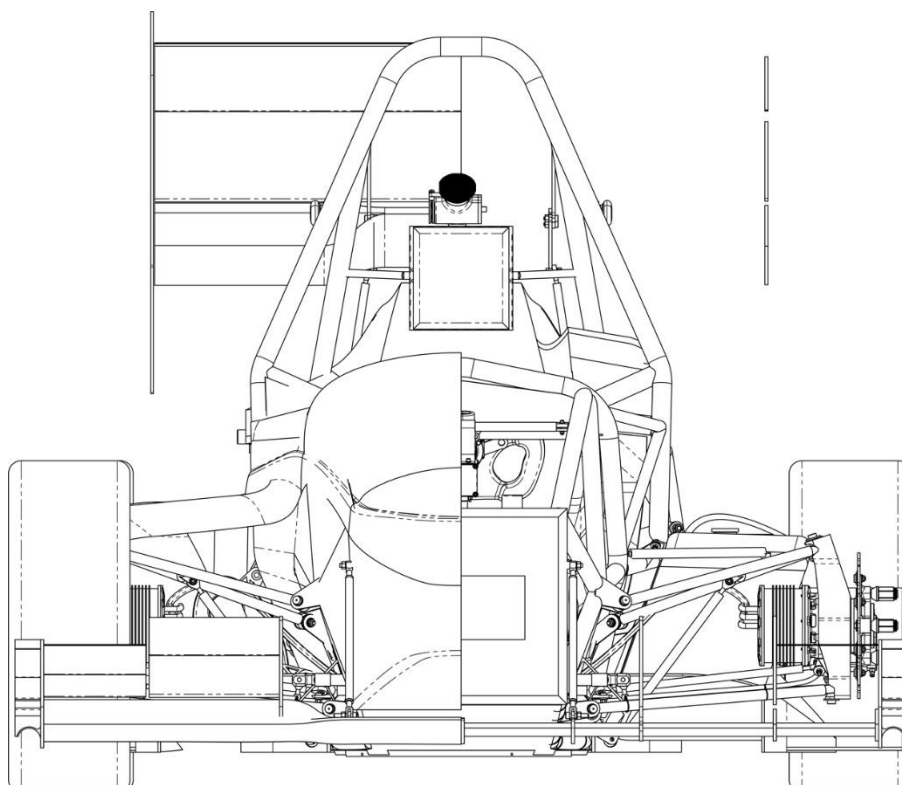
7.2 Základná technická schéma



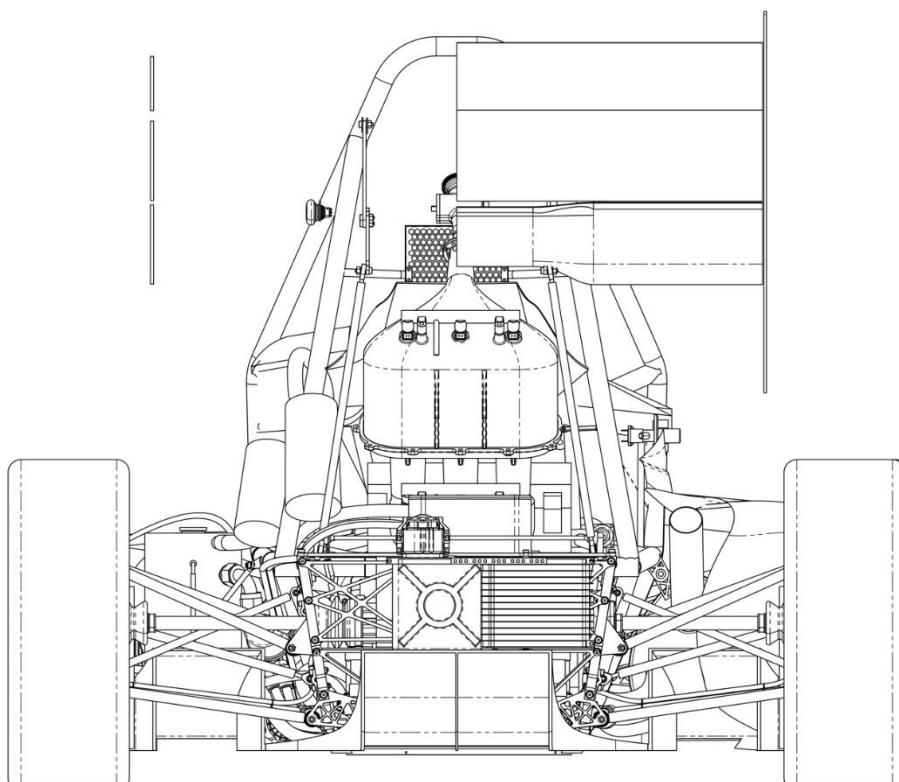
Obrázok 102 – technické schéma zhora



Obrázok 103 – technické schéma z boku



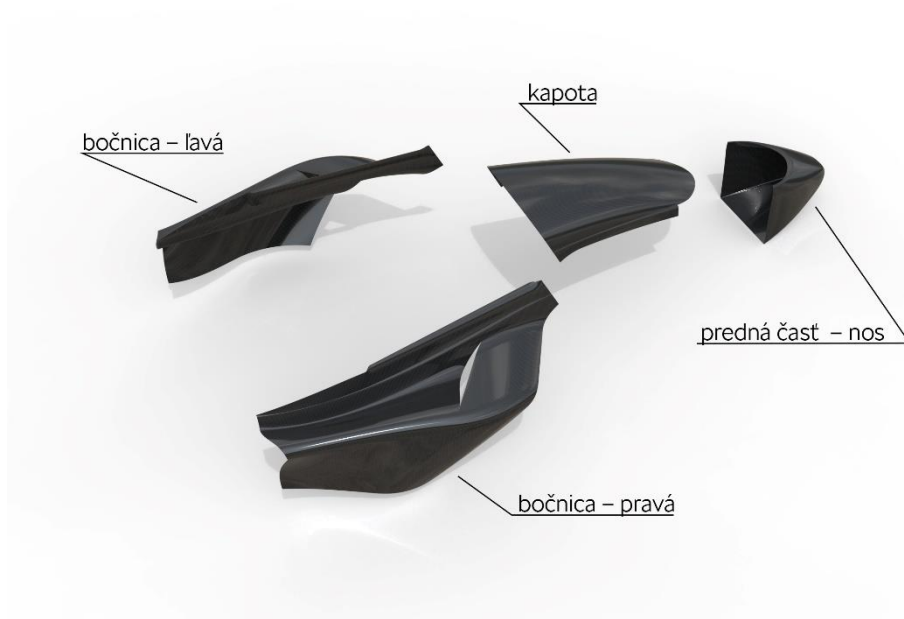
Obrázok 104 – technické schéma spredu



Obrázok 105 – technické schéma zozadu

7.3 Popis jednotlivých dílů

Všetky díly kapotáže boli navrhované z ohľadom na výrobitelnosť pomocou mokrého laminovania. Nos a kapota sú vyrobené z jedného kusu, bočnice sú lepené z dvoch kusov laminátu. Díly sú vyrobené z kompozitného karbónu a lakované čírim lesklým lakom. Sú rozdelené na 4 časti, ktoré sú zaaretované imbusovými skrutkami o úchyty oceľového rámu.



Obrázok 106 – schéma kapotáže



Obrázok 107 – díly kapotáže

8 VÝROBA PROTOTYPU

Kapotáž monopostu bola vyrobená technológiou mokrého laminovania s použitím vákuového vreca. Všetky diely kapotáže boli vyrobené z epoxidovej živice vystuženej tkaninou z uhlíkového vlákna. Uhlíkové vlákno bolo zvolené kvôli lepším mechanickým vlastnostiam a hmotnosti, oproti sklenenému vláknu, avšak na úkor násobne vyššej ceny. Vďaka jednému zo sponzorov, ktorý nám dodal materiál, bolo toto rozhodnutie ľahšie.

Proces výroby kapotáže sa začal výrobou foriem. Ako vstupný údaj bol použitý digitálny model vytvorený v programe Solidworks Premium 2021, ktorý ponúka kompletné 3D softwarové nástroje pre tvorbu parametrického modelovania, simulácie a výrobnéj dokumentácie. Pri tomto kroku bol kladený dôraz na kvalitu vstupného modelu a bolo potrebné dodržať určité tolerancie polohy a zarovnania dotykových plôch.

Následne boli z modelu vygenerované NC kódy pre CNC frézu. Na výrobu foriem boli použité lepené MDF dosky, najmä kvôli obstarávacej cene a jednoduchšej obrobiteľnosti.

Keďže povrch foriem po frézovaní nebol dostatočne hladký, bola potrebná dodatočná povrchová úprava ručným brúsením, tmelením, plničmi a finálnym základným nástrekom. Kvalita výsledných karbónových častí závisí najmä na kvalite povrchu formy.



Obrázok 108 – povrchová úprava formy

Po príprave foriem a nanesením separátora prišiel proces mokrého laminovania. Prvou vrstvou boli pláty karbónovej tkaniny. Ich rozloženie a uloženie je dôležité nielen z pevnostného hľadiska, ale aj z vizuálneho, pretože je to pohľadová vrstva. S použitím valčekov a štetiek bola nanesená epoxidová živica. Tento proces sa opakoval.



Obrázok 109 – proces laminovania

Po nanesení požadovaného počtu vrstiev tkaniny a živice sa celá forma uzatvorila do vákuového vreca. Vákuová pumpa odsala vzduch z vreca, čím vytvorila tlakový rozdiel, ktorý stlačil laminát a vytlačil prebytočný epoxid. Ten absorboval priedušný materiál, ktorý bol uložený na vrchnej časti laminátu.

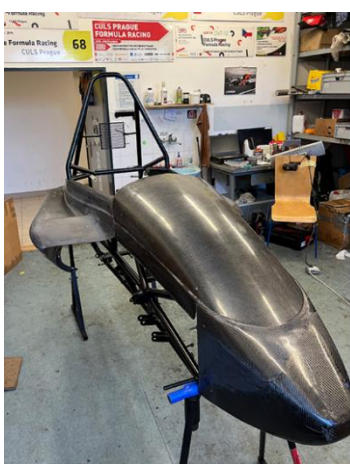


Obrázok 110 – proces vakuovania

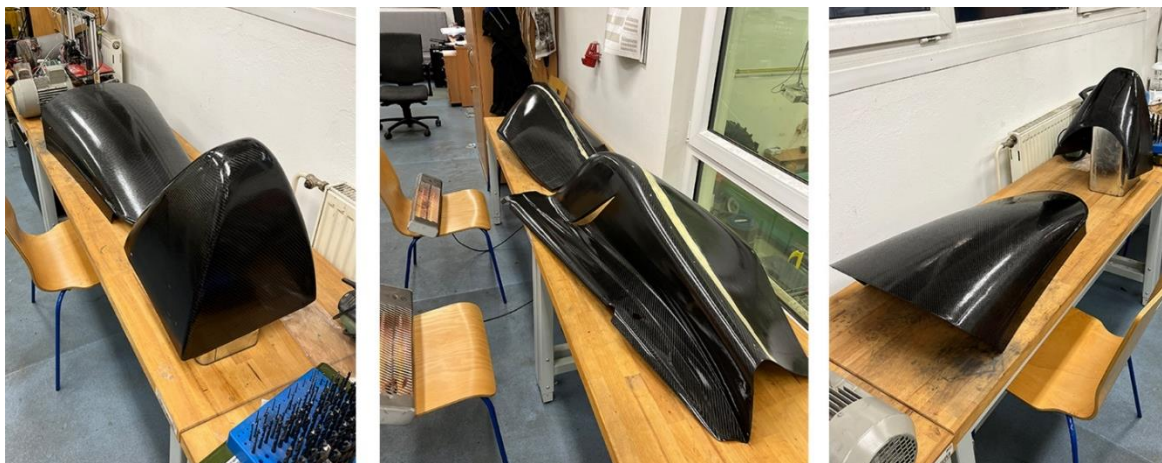
Ďalším krokom bola povrchová úprava laminátu. Jedná sa prakticky o rovnaký postup ako pri úprave formy s tým rozdielom, že výsledná kvalita podkladu je oveľa lepšia. Kapotáž bola orezaná a provizórne nasadená na rám. Po dôkladnej povrchovej úprave sa kapotáž nalakovala čírim lakom.



Obrázok 111 – surový laminát s vnútornou výstuhou



Obrázok 112 – úprava kapotáže voči rámu



Obrázok 113 – povrchová úprava lakovaním

Poslednou fázou bol grafický polep kapotáže v externej firme.



Obrázok 114 – lepenie farebného povrchu



Obrázok 115 - odhalenie monopostu FS08 – Bumblebee

9 ZHRNUTIE PRÍNOSOV PRÁCE

9.1 Rekapitulácia dizajnerskeho procesu

Úvodná fáza dizajnerskeho procesu bola zameraná na vytvorenie viacerých alternatívnych variantov kapotáže. Každý z nich slúžil ako stelesnenie určitej myšlienky, ktorá formuje celkový tvar a charakter monopostu. Napriek tomu, že základné proporcie boli dané tvarom rámu, odkrytými kolesami a aerodynamickými prvkami typickými pre Formula Student, cieľom bolo vytvoriť viaceré atraktívnych návrhov.

Proces navrhovania začal analýzou existujúcich študentských formúl. Na zachytenie prvých náčrtkov bola použitá nenahraditeľná ceruzka a papier. Tieto dva základné nástroje umožňujú dynamický a spontánny proces, ktorý podporuje plynulý tok myšlienok. Po užšom výbere tvarových variantov nasledovala digitálna skica, ktorá poslúžila aj ako praktický nástroj pri preneste konceptov do CAD modelovania. V tomto kroku bol použitý program Autodesk Sketchbook a Adobe Photoshop.

Po fáze skicovania a výbere vhodného návrhu nasledoval prechod k 3D digitálnemu modelu. 3D model karosérie bol spracovaný v programe Solidworks Premium 2021. Počas fázy modelovania boli vykonávané aerodynamické simulácie, v programe Ansys Mechanical, ktoré definovali kritické miesta dizajnu. Vo fáze modelovania bolo vykonané veľké kvantum drobných úprav, ktoré nie sú súčasťou diplomovej práce, avšak zásade sa podpísali na funkčnosti kapotáže.

Po vytvorení 3D modelu karosérie, prišla na rad grafika polepu a rozmiestnenie log. Táto fáza je veľmi podstatná, keďže zle zvolená grafika a rozmiestnenie log môžu negatívne ovplyvniť vizuál monopostu. Bolo potrebné naštudovať si pravidlá súťaže v rozmiestnení čísel a log tak, aby nebola porušená ochranná zóna a čísla s univerzitou boli dobre viditeľné. Na základe tímového biznis plánu boli citlivo rozmiestnené loga sponzorov tak, aby nerušili čistotu návrhu. Následne boli vytvorené vizualizácie v programe Keyshot 11.

Proces výroby bol poslednou fázou. V tejto fáze sa vytvorili MDF formy, do ktorých sa laminovalo technikou mokrého laminovania. Následne boli lamináty opracované do podoby, na ktorú prišiel farebný polep. Celý proces bol ukončený nalepením log sponzorov.

9.2 Prínosy a inovácie dizajnerskeho riešenia

Tvar karosérie odlišuje FS08 od ostatných monopostov Formula Student a vytvára pre tím rozpoznateľnú a zapamätateľnú identitu. Plynulé a hladké línie vyjadrujú pocit rýchlosti a dynamiky, čím sa spájajú s kompetitívnym duchom Formula Student

Navrhnutá kapotáž zapája aerodynamické princípy na optimalizáciu prúdenia vzduchu okolo monopostu, znižuje odpor vzduchu a čiastočne generuje prítlak. To zlepšuje celkovú stabilitu a ovládateľnosť formule.

Kapotáž je navrhnutá s ohľadom na ergonómiu pilota a jeho potrebný výhľad z kokpitu.

Použitie kompozitov z uhlíkových vlákien pre komponenty karosérie vedie k ľahkej konštrukcii, ktorá minimalizuje celkovú hmotnosť monopostu. To prispieva k zlepšeniu akcelerácie, brzdenia a jazdných vlastností.

Dizajn kapotáže zohľadňuje výrobu, pričom využíva techniku mokrého laminovania a minimalizuje počet výrobných foriem. Dizajn sa dá previesť do fyzickej reality bez narušenia jeho zamýšľanej formy a funkčnosti.

Kombinácia bielej, čiernej a žltej farby vytvára čistú a prítiažlivú estetiku závodných vozov. Umiestnenie log a grafiky je starostlivo zvážené tak, aby sa zvýraznil celkový vzhľad bez narušenia hlavných línií monopostu.

9.3 Kritické zhodnotenie

Finálny návrh sa v určitých bodoch líši od stanovených ideí a dizajnerskeho návrhu. Tento fakt je spôsobený prirodzeným vývojom a novými poznatkami počas tvorby návrhov.

V záverečnej fáze došlo k zmene tvaru bočnice zadného krídla, ktorá je charakterovo odlišná od zbytku kapotáže. Konečný tvar navrhol aerodynamik, ktorý má v tejto oblasti rozhodujúce slovo.

Na aerodynamické prvky bola použitá uhlíková tkanina so striebornou farbou, ktorá nekorešpondovala s pôvodným grafickým návrhom. Tento materiál bol darovaný na poslednú chvíľu sponzorom a tím ho z finančných a logických dôvodov zúročil.

Napriek neočakávaným zmenám formula vzbudila na odhalení a počas pretekov veľkú pozornosť a cieľ zatraktívniť monopost Formula Student sa tým naplnil. Pozitívne ohlasy zazneli nielen z radov tímu, ale aj od konkurenčných tímov, komisárov a širokej verejnosti.

10 ZÁVER

Táto diplomová práca sa zaoberala výzvou vytvoriť dizajn kapotáže závodného monopostu pre tím CULS Prague Formula Racing. Hlavným cieľom bolo navrhnuť jedinečný dizajn, ktorý by nielen pútal pozornosť, ale aj spĺňal funkčné a aerodynamické požiadavky a pravidiel súťaže Formula Student.

Prvá etapa spočívala v dôkladnej analýze problematiky. Preskúmali sme historický vývoj závodných vozidiel, históriu súťaže a tímu. Analyzovali sme tímové a svetové monoposty. Naštudovali sme si odbornú literatúru, pravidlá a disciplíny súťaže Formula Student. Vďaka tomu sme si stanovili jasné požiadavky na kapotáž a definovali sme ciele projektu.

Návrh kapotáže prebiehal v niekoľkých krokoch. V prvej fáze sme vytvorili viacero návrhov pomocou skíc a 3D modelov. Následne sme tieto modely podrobne analyzovali z hľadiska aerodynamiky a funkčnosti. Na základe získaných dát sme vybrali finálny návrh kapotáže a následne spracovali kompletnú technickú dokumentáciu.

Výsledkom práce je kapotáž, ktorá v sebe spája estetiku, funkčnosť a aerodynamiku. Dizajn kapotáže plne zodpovedá funkčným požiadavkám, zaisťuje plynulé obtekanie vzduchu a spĺňa všetky podmienky súťaže Formula Student.

S radosťou možno konštatovať, že všetky ciele práce boli úspešne splnené nad rámec očakávania, keďže kapotáž sa bude používať už v druhej sezóne. Verím, že s novými prítlačnými krídlami, podlahou a množstvom nových dát z praktických testov bude dosahovať excelentné výsledky na trati. Dúfam, že vzhľad formule priláka pozornosť divákov a sponzorov a vytvorí tímu nové partnerstvá.

Spolupráca s tímovými kolegami z iných odborov, priniesla množstvo cenných skúseností a vedomostí, ktoré budú užitočné v živote.

11 VÝSLEDOK VÝSKUMU

Monopost FS08 – Bumblebee sa od svojho vzniku zúčastnil závodov v Česku a Taliansku. Tesne po závodoch absolvoval niekoľko akcií a podujatí so sponzormi a bol k videní na výstave Designblok Prague 2023 v stánku Ateliéru Průmyslového designu z UTB. S monopostom sa pravidelne vykonávajú dynamické ukážky a testy. V súčasnosti sa chystá prestavenie novej verzie FS09 s mnohými vylepšeniami, ktorá bude niesť kapotáž FS08.



Obrázok 116 – monopost FS08 – Bumblebee

12 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY A ZDROJOV

- BENNETT, Nigel, 2013. *Inspired to Design: F1 cars, Indycars & Racing Tyres*. England: Veloce Publishing Limited. ISBN 9781845845360.
- Chassis explained. *Technical F1 Dictionary* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.formula1-dictionary.net/chassis.html>
- CULS, Team, 2023. *EDR FULL*.
- CROLLA, David A., 2009. *Automotive Engineering*. Elsevier. ISBN 9781856175777.
- Disciplines. *Formula Student Germany* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.formulastudent.de/about/disciplines/>
- FLAJŠMAN, Tomáš, 2023. *Návrh rámu pro monopost Formule Student* [online]. Praha [cit. 2024-05-15]. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- Formula SAE, 2001-. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Formula_SAE
- *Formula Student Rules 2022* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2022/rules/FS-Rules_2022_v1.0.pdf
- FS Alpe Adria 2023. *Alpe Adria* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://fs-alpeadria.com/event-archive/fs-alpe-adria-2023/>
- GT40 CHASSIS, 2020. *GT Racing* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://gtracingonline.co.uk/GT-racing-pantera-chassis-GT40-specialist-gt-racing-vehicle-parts-kit-car-builds.html>
- History of Formula One, 2001-. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_Formula_One

- History of Formula Student. *Institution of Mechanical Engineers* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.imeche.org/events/formula-student/about-formula-student/history-of-formula-student>
- Lotus Type 25. *Lotus* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://media.lotuscars.com/en/heritage-race-cars/lotus-type-25.html>
- MILLIKEN, William F. a Douglas L. MILLIKEN, 1994. *Race Car Vehicle Dynamics*. SAE International. ISBN 1560915269.
- Nová formule týmu CULS Prague Formula Racing zazářila mezi světovou špičkou. *Živá univerzita* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://zivauni.cz/nova-formule-tymu-culs-prague-formula-racing-zazarila-mezi-svetovou-spickou/?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTEAAR2FSIv-f_DUUe0q6NBM17_V3XkwO_ejAhNFVRHxhxNoSIT-_90OTqdeCig_aem_AfrJIb936Ux8KfyN-BHkqFvWDFClZStHZlgjo_115swbR6vsymxMf7rrOB1s2iYWIKSiqG49DHARxCcFigeQZjOY
- PAUER, Václav, 2011. *Vývoj konstrukce závodních vozů: vše podstatné z historie techniky formulových vozů*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-3015-8.
- PHIPPS, David a Michael COSTIN, 1962. *Racing and Sports Car Chassis Design*. London: B. T. BATSFORD. ISBN 9780713404586.
- SEWARD, Derek, 2014. *Race car design*. London: Palgrave/Macmillan. ISBN 978-1-137--03014-6.
- ŠULC, Vít, 2022. CULS Prague Formula Racing. *Auta 5p* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://auta5p.eu/clanky/culs/culs-prague-formula-racing.php>
- Technologie výroby kompozitů. *Havel Composites* [online]. [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://www.havel-composites.com/uploads/files/Technologie%20výroby%20kompozitů.pdf>
- TRZESNIOWSKI, Michael, 2008. *Rennwagentchnik Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme*. Vieweg+Teubner. ISBN 9783834804846.
- Uhlíkové vlákno. *Kordcarbon* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://www.kordcarbon.cz/uhlikove_vlakno

13 ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

CV – kategória spaľovacích vozidiel

EV – kategória elektrických vozidiel

DV – kategória autonómnych vozidiel

Hp – jednotka výkonu

MDF – stredne tvrdá vlákniťa doska

NC – číselné riadenie

CNC – počítačové číslicové riadenie

CAD – počítačom podporované programovanie

Ah – jednotka elektrického náboja

LED – elektroluminiscenčná dióda

14 ZOZNAM OBRÁZKOV A GRAFOV

- Obrázok 1 *Louis Wagner vo svojom voze Fiat, French GP, r. 1912.* Online. In: . Dostupné z: [https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Louis_Wagner_in_his_Fiat_at_the_1912_French_Grand_Prix_at_Dieppe_\(13\).jpg](https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Louis_Wagner_in_his_Fiat_at_the_1912_French_Grand_Prix_at_Dieppe_(13).jpg). [cit. 2024-05-13].
- Obrázok 2 *Alfa Romeo P3, r. 1932.* Online. In: Drawingdatabase. 2015. Dostupné z: <https://drawingdatabase.com/alfa-romeo-p3-1932/>. [cit. 2024-05-13].
- Obrázok 3 *Tím Scuderia Ferrari s vozom Alfa Romeo P3, Italian GP, r. 1934.* Online. In: La Escuderia. 2023. Dostupné z: <https://en.escuderia.com/alfa-romeo-p3-primer-diseno-vittorio-jano/>. [cit. 2024-05-06].
- Obrázok 4 Detail pevnej nápravy vs. nezávislé zavesenie kolies. In: *McCabism* [online]. 2011 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://mccabism.blogspot.com/2011/09/suspension-camber-in-grand-prix-racing.html>
- Obrázok 5 *Auto Union Type C V16, 520hp, r.1936.* Online. In: Topspeed.sk. 2011. Dostupné z: <https://www.topspeed.sk/userfiles/articles/02-11/7785/1936.auto.union.type.c.pred.vojnou.03.jpg>. [cit. 2024-05-06].
- Obrázok 6 *Prvý monokok, Lotus 49, Monaco GP, r. 1967.* Online. In: Motorsport Image. Dostupné z: https://www.motorsportimages.com/photos/?event_id=4407. [cit. 2024-05-06].
- Obrázok 7 *Prvé aerodynamické prvky na Lotuse 49, r. 1970.* Online. In: Motorsport Magazine. 2014. Dostupné z: <https://motorsportmagazine.b-cdn.net/wp-content/uploads/2014/07/Rindt-49-1600x900.jpg>. [cit. 2024-05-06].
- Obrázok 8 Princíp ground-efektu na formule Lotus 79. In: *Wikimedia Commons* [online]. 2017 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1a/Lotus_Modell_79_wing-profile.svg
- Obrázok 9 *Kontroverzný Brabham BT46B ventilátor, r. 1978.* Online. In: Motorsport Image. Dostupné z: https://www.motorsportimages.com/photos/?race_type_id=&search=brabham+bt46b&p=3. [cit. 2024-05-06].
- Obrázok 10 *Karbónová karoséria a monokok, McLaren MP4-4, r. 1988.* Online. In: Garage Dreams. 2020. Dostupné z: <https://garagedreams.net/history/the-history-of-the-mclaren-mp4-4-f1s-most-dominant-car>. [cit. 2024-05-06].
- Obrázok 11 *McLaren MP4-21 Mercedes, German GP, r. 2006.* Online. In: Motorsport Image. Dostupné z: https://www.motorsportimages.com/photos/?race_type_id=&search=McLaren+MP4-21+Mercedes%2C+German+GP+kim. [cit. 2024-05-06].
- Obrázok 12 *MCL32 Honda, Malaysian GP, r. 2017.* Online. In: Wikipedia. 2017. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/McLaren_MCL32#/media/File:Fernando_Alonso_2017_Malaysia_FP2_2.jpg. [cit. 2024-05-06].
- Obrázok 13 *Predloha modelu od FIA pre sezónu 2022.* Online. In: Formule. 2021. Dostupné z: <https://www.formule.cz/clanek/44590-f1-ukazala-monopost-sezony-2022>. [cit. 2024-05-13].
- Obrázok 14 *University of Texas v Arlingtone, Formula SAE, r. 1986.* Online. In: https://www.wikiwand.com/en/Formula_SAE. Dostupné z: https://www.wikiwand.com/en/Formula_SAE. [cit. 2024-05-13].
- Obrázok 15 *Víťazný monopost z roku 1998.* Online. In: Race car engineering. 2013. Dostupné z: <https://www.racecar-engineering.com/news/formula-student-1998-the-first-ever-competition/>. [cit. 2024-05-13].
- Obrázok 16 *CTU CarTech, FS01, r. 2010.* Online. In: Cartech cvut. 2010. Dostupné z: <https://cartech.cvut.cz/en/fs-01/>. [cit. 2024-05-13].
- Obrázok 17 *Tím The Edinburgh University Formula Student, r. 2019.* Online. In: Mapix. 2019. Dostupné z: <https://www.mapix.com/news/edinburgh-university-wins-autonomous-formula-student-for-2nd-year/>. [cit. 2024-05-13].

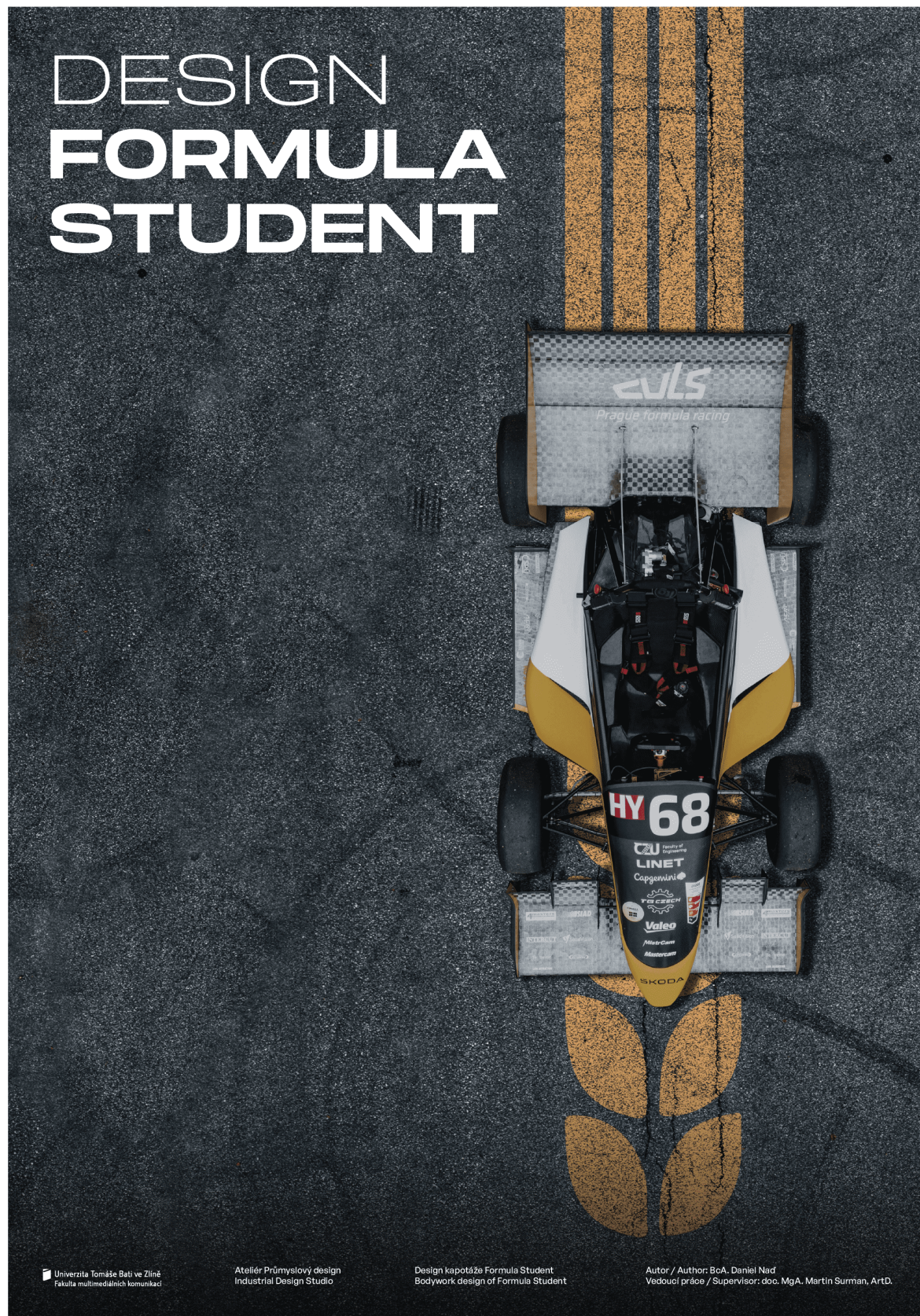
- Obrázok 18 *Prvý monopost tímu Culs, Saturn VI, r. 2012* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 19 *Monopost Prague Deamon, r. 2013* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 20 *Monopost Spikelte, r. 2014* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 21 *Monopost Sparkle, r. 2017* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 22 *Monopost Flying Potato, r. 2018* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 23 *Monopost Razor, r. 2021* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 24 *Monopost Fighter, r. 2022* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 25 *Tankia zhora*. Online. In: . Dostupné z: <https://www.tugracing.at/auto?lng=de#>. [cit. 2024-05-13].
- Obrázok 26 *Tankia 2010, TU Graz Racing*. Online. In: . Dostupné z: <https://www.tugracing.at/auto?lng=de#>. [cit. 2024-05-13].
- Obrázok 27 *Monopost Markétka, FS TUL Racing, r. 2018*. Online. In: . Dostupné z: [Link: https://www.fstulracing.cz/galerie](https://www.fstulracing.cz/galerie). [cit. 2024-05-13].
- Obrázok 28 *Monopost Anička, FS TUL Racing, r. 2018*. Online. In: . Dostupné z: [Link: https://www.fstulracing.cz/galerie](https://www.fstulracing.cz/galerie). [cit. 2024-05-13].
- Obrázok 29 *Monopost Viktorie, FS TUL Racing, r. 2023*. Online. In: . Dostupné z: https://www.facebook.com/fstulracing/photos_by. [cit. 2024-05-13].
- Obrázok 30 *Prvý monopost H01–Lady, tím HAWKS Racing, r. 2004*. Online. In: . Dostupné z: <https://sk.pinterest.com/hawksracing/>. [cit. 2024-05-13].
- Obrázok 31 *Monopost H08, tím HAWKS Racing, r. 2013*. Online. In: . Dostupné z: https://www.facebook.com/HAWKS Racing/photos_albums. [cit. 2024-05-13].
- Obrázok 32 *Tím High-Voltage Motorsports e. V., r. 2022*. Online. In: . Dostupné z: <https://voltages.de/en/rennwagen/rennwagen-electric/faumax-omikron/>. [cit. 2024-05-13].
- Obrázok 33 *Monopost FAUmax Omikron*. Online. In: . Dostupné z: <https://voltages.de/en/rennwagen/rennwagen-electric/faumax-omikron/>. [cit. 2024-05-13].
- Obrázok 34 *Mercedes F1 W08 EQ Power+, 2017*. Online. In: . Dostupné z: https://www.motorsportimages.com/photos/?race_type_id=&search=mercedes+f1+2017&p=2. [cit. 2024-05-13].
- Obrázok 35 *Letiaci monopost PMT-04 tímu PMz Racing, r. 2023*. Online. In: . Dostupné z: https://www.instagram.com/prz_racing/. [cit. 2024-05-13].
- Obrázok 36 *Tím UniNa Corse - Squadra Corse Università Federico II, r. 2023*. Online. In: . Dostupné z: <https://uninacorse.com/le-monoposto/>. [cit. 2024-05-13].
- Obrázok 37 *Monopost FS13 tímu CTU CarTech, 2021*. Online. In: . Dostupné z: https://www.instagram.com/p/CWi54qCLHKJ/?img_index=4. [cit. 2024-05-13].
- Obrázok 38 *Bodové hodnotenie disciplín súťaže Formula Student* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 39 *Prezentácia FS08 pri disciplíne Engineering Design* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 40 *Nákres trate disciplíny Acceleration* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 41 *Nákres trate disciplíny Skid Pad* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 42 *Nákres trate disciplíny Autocross* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 43 *Nákres trate disciplíny Endurance* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 44 *Priestorové obmedzenie pred a za pneumatikami*. Online. In: . Dostupné z: https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2022/rules/FS-Rules_2022_v1.0.pdf
- Obrázok 45 *Pomocná šablóna pre kontrolu definovaného polomeru 38 mm* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 46 *Minimálne rozmery a umiestnenie aerodynamických prvkov*, Online. In: . Dostupné z: https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2022/rules/FS-Rules_2022_v1.0.pdf
- Obrázok 47 *Meranie torznej tuhosti rámu FS07* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 48 *Monokok monopostu McLaren MP4/I*, Online. In: . Dostupné z: <https://www.ennomotive.com/3-formula-1-innovations-car/>
- Obrázok 49 *Popis jednotlivých častí šasi* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 50 *Chladič a olejová nádoba – ľavá strana* (Archív tímu CULS PFR)

- Obrázok 51 *Titánový výfuk – pravá strana* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 52 *Zrovnanie rámov* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 53 *Zrovnanie podpor predného oblúku* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 54 *Schéma výroby laminátu ručným kladením*. Online. In.: Dostupné z: <https://www.havel-composites.com/uploads/files/Technologie%20v%C3%BDroby%20kompozit%C5%AF.pdf>
- Obrázok 55 *Timový rozpočet v sezóne 2023* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 56 *Rozpočet pre výrobu monopostu FS08* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 57 *Schéma hybridného pohonu* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 58 *Volant z forged karbónu, FS08* (Archív tímu CULS PFR)
- Obrázok 59 *Variantné návrhy profilu monopostu* (Archív autora)
- Obrázok 60 *Profil návrhu č.1* (Archív autora)
- Obrázok 61 *Návrh č.1 pohľad' z troch štvrtín* (Archív autora)
- Obrázok 62 *Porovnanie skice s 3D modelmi* (Archív autora)
- Obrázok 63 *Návrh č.1 v 3D prostredí* (Archív autora)
- Obrázok 64 *Pohľad spredu, návrhu č.1* (Archív autora)
- Obrázok 65 *Pohľad zboku, návrh č.1* (Archív autora)
- Obrázok 66 *Návrh č.2* (Archív autora)
- Obrázok 67 *Návrh č.3* (Archív autora)
- Obrázok 68 *Návrh č.4* (Archív autora)
- Obrázok 69 *Finálny návrh* (Archív autora)
- Obrázok 70 *Pracovný model z profilu* (Archív autora)
- Obrázok 71 *Pracovný model, pohľad spredu z troch štvrtín* (Archív autora)
- Obrázok 72 *Pracovný model, pohľad zozadu z troch štvrtín* (Archív autora)
- Obrázok 73 *Aero - simulácia č. 1* (Archív autora)
- Obrázok 74 *Aero - simulácia č. 2* (Archív autora)
- Obrázok 75 *Aero - simulácia č. 3* (Archív autora)
- Obrázok 76 *Finálny model* (Archív autora)
- Obrázok 77 *Výšková zmena hlavnej línie a nadviazanie bočníc* (Archív autora)
- Obrázok 78 *Vizualizácia 1* (Archív autora)
- Obrázok 79 *Vizualizácia 2* (Archív autora)
- Obrázok 80 *Vizualizácia 3* (Archív autora)
- Obrázok 81 *Vizualizácia 4 – detail kanálu bočnice* (Archív autora)
- Obrázok 82 *Vizualizácia* (Archív autora)
- Obrázok 83 *Prúdenie vzduchu* (Archív autora)
- Obrázok 84 *Prúdenie vzduchu do bočníc* (Archív autora)
- Obrázok 85 *Prúdenie vzduchu do bočníc z profilu* (Archív autora)
- Obrázok 86 *Simulácia - rozloženie tlaku 1* (Archív autora)
- Obrázok 87 *Simulácia - rozloženie tlaku 2* (Archív autora)
- Obrázok 88 *Porovnanie modelu s rozmerovými pravidlami* (Archív autora)
- Obrázok 89 *Grafický polep* (Archív autora)
- Obrázok 90 *Polep kapotáže z profilu* (Archív autora)
- Obrázok 91 *Rozmiestnenie log z profilu* (Archív autora)
- Obrázok 92 *Rozmiestnenie log spredu* (Archív autora)
- Obrázok 93 *Marketingový plán pre sponzorov* (Archív autora)
- Obrázok 94 *Ergonomická schéma, pilot – 95 percentil muža* (Archív autora)
- Obrázok 95 *Výroba sedačky* (Archív autora)
- Obrázok 96 *3D sken sedačky* (Archív autora)
- Obrázok 97 *Detail opory hlavy* (Archív autora)
- Obrázok 98 *Detail volantu* (Archív autora)
- Obrázok 99 *Výhľad pilota z formule* (Archív autora)
- Obrázok 100 *Výskum slepého uhlu* (Archív autora)
- Obrázok 101 *Rozmerový náčrt* (Archív autora)
- Obrázok 102 *Technické schéma zhora* (Archív autora)

- Obrázok 103 *Technické schéma z boku* (Archív autora)
Obrázok 104 *Technické schéma spredu* (Archív autora)
Obrázok 105 *Technické schéma zozadu* (Archív autora)
Obrázok 106 *Schéma kapotáže* (Archív autora)
Obrázok 107 *Diely kapotáže* (Archív autora)
Obrázok 108 *Povrchová úprava formy* (Archív autora)
Obrázok 109 *Proces laminovania* (Archív autora)
Obrázok 110 *Proces vakuovania* (Archív autora)
Obrázok 111 *Surový laminát s vnútornou výstuhou* (Archív autora)
Obrázok 112 *Úprava kapotáže vŕči rámu* (Archív autora)
Obrázok 113 *Povrchová úprava lakovaním* (Archív autora)
Obrázok 114 *Lepenie farebného povrchu* (Archív autora)
Obrázok 115 *Odhalenie monopostu FS08 – Bumblebee* (Archív autora)
Obrázok 116 *Monopost FS08 – Bumblebee* (Archív autora)

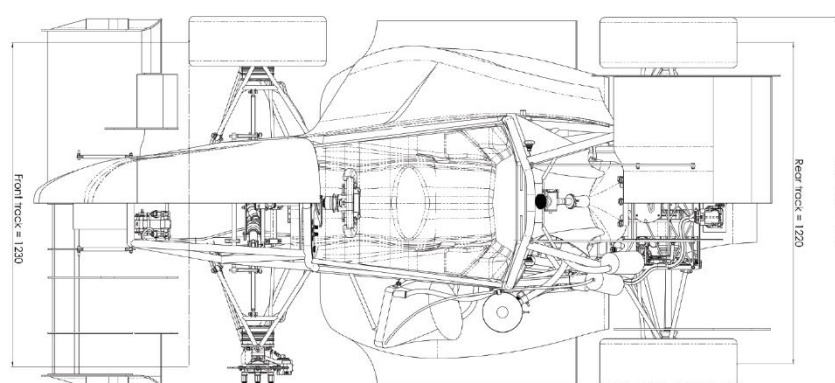
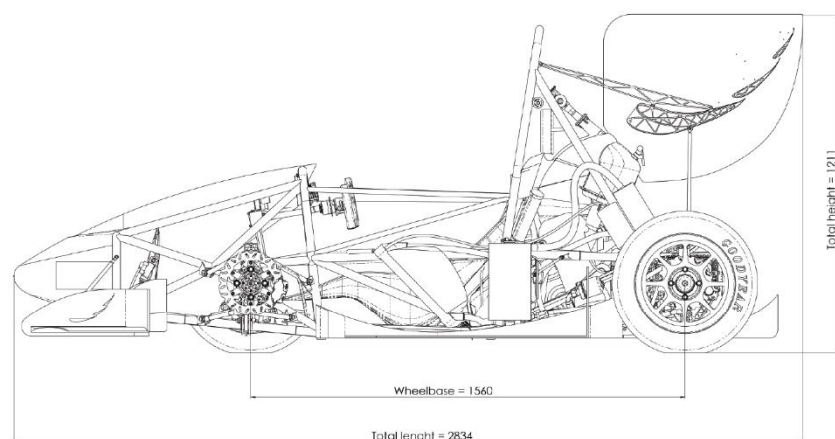
15 ZMENŠENÉ POSTERY

15.1 Dizajnerský poster



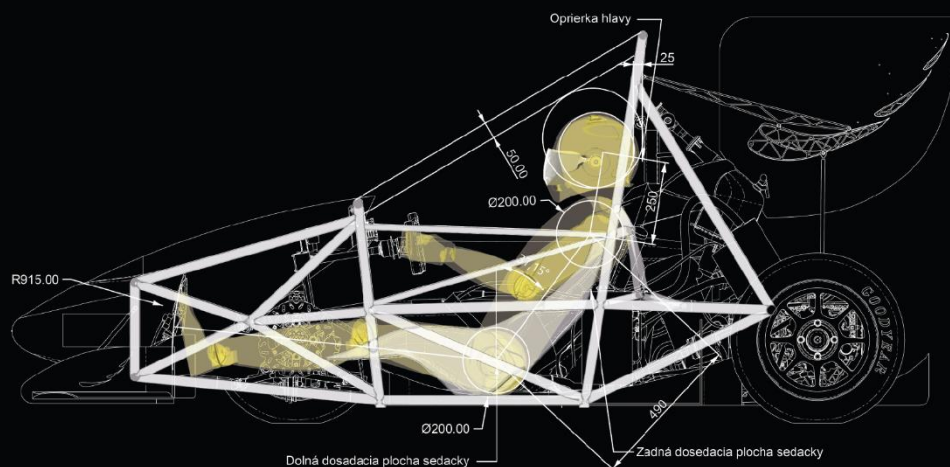
15.2 Technický poster

DESIGN FORMULA STUDENT



15.3 Ergonomický poster

DESIGN FORMULA STUDENT



15.4 Sumarizačný poster

