



Bakalářská práce

Volant pro monopost Formula Student

Formula Student Monopost Steering Wheel

Autor: **Filip Müller**

Studijní program: (B) Bakalářský

Studijní obor: (B212) Design

Vedoucí: MgA. Martin Tvarůžek, Ing. Tomáš Bláha

Praha, Červen 2025

© Filip Müller

České vysoké učení technické v Praze, 2025

Klíčová slova: *Volant, Formule Student, kompozit, ergonomie, pilot*

Key words: *Steering wheel, Formula Student, composites, ergonomics, pilot*



FAKULTA
ARCHITEKTURY
ČVUT V PRAZE

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta architektury Zadání bakalářské práce

Jméno a příjmení:

Filip Müller

Datum narození:

1. 7. 2003

Akademický rok / semestr:

LS 2024 / 25 6. semestr

Studijní program:

Design

Ústav:

15150 / Ústav designu

Vedoucí bakalářské práce:

Mga. Martin Tvarůžek

Téma bakalářské práce:

~~Volant pro formuli~~
Volant pro formuli

zadání bakalářské práce:

1/ popis zadání projektu a očekávaného cíle řešení

Návrh volantu pro závodní vůz formule student týmu eForce Prague Formula

2/ popis závěrečného výsledku, výstupy a měřítka zpracování

Model 1:1, plakát, portfolio

3/ seznam případných dalších dohodnutých částí BP

Datum a podpis studenta

12.2.2025 *FM*

Podpis vedoucího bakalářské práce:

M. Tvarůžek

V Praze dne 10.2.2025

registrováno studijním oddělením dne

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta architektury	
Autor: Filip Müller Akademický rok / semestr: 2024/2025 LS Ústav číslo / název: 15150 ústav Designu Téma bakalářské práce – český název: Volant pro monopost Formula Student Téma bakalářské práce – anglický název: Formula Student Monopost Steering Wheel Jazyk práce: český	
Vedoucí práce:	MgA. Martin Tvarůžek
Oponent práce:	Ing. Jiří Král
Klíčová slova (česká):	Volant, Formule Student, kompozit, ergonomie, pilot
Anotace (česká):	Tato práce dokumentuje postup návrhu volantu pro závodní monopost Formula Student týmu eForce Prague Formula. Návrh je zaznamenaný celý, od prvotních zjišťování dispozic určených pravidly a obálkami vozu přes hledání ideálního tvaru, vnitřní zástavbu až po výrobu.
Anotace (anglická):	This thesis documents the design process of the steering wheel for the Formula Student racing car of the eForce Prague Formula team. The design is recorded in its entirety, from the initial investigations of the layout determined by the rules and the car's envelope, through the search for the ideal shape, the internal fitment, to production.

Prohlášení autora

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

V Praze dne 25.5.2025


Podpis autora bakalářské práce

Tento dokument je nedílnou, povinnou součástí bakalářské práce i portfolia (titulní list)

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval panu MgA. Martinu Tvarůžkovi a Ing. Tomáši Bláhovi za vedení mé bakalářské práce. Děkuji i panu Ing. Jiřímu Králi za oponenturu. Dále chci poděkovat týmu eForce Prague Formula za umožnění tohoto projektu, hlavně pak pilotům za zpětnou vazbu k návrhům a Vojtovi Vejšickému za návrh elektroniky. V neposlední řadě děkuji rodině, přátelům a mé přítelkyni za podporu.

Anotace

Tato práce dokumentuje postup návrhu volantu pro závodní monopost Formula Student týmu eForce Prague Formula. Návrh je zaznamenaný celý, od prvotních zjišťování dispozic určených pravidly a obálkami vozu přes hledání ideálního tvaru, vnitřní zástavbu až po výrobu.

Annotation

This thesis documents the design process of the steering wheel for the Formula Student racing car of the eForce Prague Formula team. The design is recorded in its entirety, from the initial investigations of the layout determined by the rules and the car's envelope, through the search for the ideal shape, the internal fitment, to production.

Obsah

1. Úvod	14
1.1 Motivace	14
1.2 Soutěž Formula Student (FS).....	14
1.2.1 Historie	14
1.2.2 Význam.....	14
1.3 Historie volantů závodních vozů	15
2. Analýza.....	16
2.1 Pravidla FSG.....	16
2.1.1 Pravidla upravující vzhled volantu.....	16
2.2 Cílová skupina	17
2.3 Elektromechanické komponenty volantu	17
2.3.1 Tlačítka.....	18
2.3.2 Relativní enkodéry	18
2.3.3 Absolutní enkodéry	19
2.3.4 Dvoupolohový přepínač	19
2.4 Rychlospojka.....	19
2.5 Seznámení s komponenty, jednotkami a funkcemi vozu souvisejícími s volantem.....	20
2.5.1 STW	20
2.5.2 DSH.....	20
2.5.3 ARB	21
2.5.4 BB	21
2.5.5 TV	21
2.5.6 Rekuperace	22
2.5.7 TLM.....	22
2.5.8 DRS.....	22
2.5.9 VDCU.....	22
2.6 Analýza předchozích řešení.....	23
2.6.1 Volant CTU.24.....	23
2.6.2 Volant FS.15	25

2.6.3	Volanty FSE.....	26
2.7	Kupovaná řešení.....	27
2.8	Volanty v motorsportu.....	27
2.9	Situace používání	29
2.10	Závěr z analýzy a vize výrobku.....	30
3.	Postup navrhování tvaru a ergonomie.....	31
3.1	Inspirace.....	31
3.2	Prvotní skici	33
3.2.1	Výběr ovládacích prvků	33
3.2.2	Skici tvarosloví.....	35
3.3	Hmotové návrhy.....	36
3.3.1	Podklad pro hmotový model.....	36
3.3.2	Verze 1 hmotového návrhu.....	36
3.3.3	Verze 2 hmotového návrhu.....	37
3.3.4	Verze 3 hmotového návrhu.....	41
3.3.5	Verze 4 hmotového návrhu.....	41
3.3.6	Verze 5 hmotového návrhu.....	42
3.3.7	Finální verze hmotového modelu.....	43
3.4	Sken modelu.....	44
3.5	Skicování tvarosloví	46
3.6	3D modelování.....	48
3.6.1	Verze 7.....	49
3.6.2	Verze 8.....	51
3.6.3	Verze 9.....	52
3.6.4	Výběr spojovacího prvku.....	54
3.7	Finální tvar.....	56
3.8	Pozicování pádel.....	56
3.9	Návrh otočných knoflíků enkodérů.....	57
3.9.1	Hlavní enkodéry	57
3.9.2	PAR enkodéry.....	57
3.9.3	DSH enkodéry	58
4.	Grafické prvky	58

4.1	Týmová identita	58
4.1.1	Loga eForce	58
4.1.2	Barvy eForce	59
4.2	Použití týmových znaků v návrhu	59
4.2.1	Vsazení loga	59
4.2.2	Zpracování barev týmu	60
4.3	Označení ovládacích prvků	60
5.	Rendery	62
6.	Technická dokumentace	65
6.1	Výkres	65
6.2	Vnitřní zástavba	67
7.	Výroba	68
7.1	Materiály	68
7.1.1	Materiál těla	68
7.1.2	Materiál enkodérů	68
7.1.3	Materiál pádel	68
7.1.4	Materiál úchopů	69
7.2	Metoda výroby a formy	69
7.2.1	Způsob laminace	69
7.2.2	Formy	69
8.	Závěr	71
9.	Zdroje	72
10.	Seznam obrázků	73

1. Úvod

1.1 Motivace

Designu jsem se chtěl věnovat už od svého mládí, nejvíce mě lákalo tvořit ladné křivky karoserií sportovních automobilů. Abych, jako správný designer, měl nadhled nad celou problematikou vozů, připojil jsem se na ČVUT do týmu Formula Student a začal jsem se věnovat externí aerodynamice. Nyní vedu sekci aerodynamiky týmu eForce Prague Formula a věřím, že mé porozumění proudění vzduchu mi pomůže v mém cíli zanechat svůj podpis na formování vzhledu aut. Protože aerodynamika závodního speciálu je vedena čistě výkonem a nemohl bych se v ní i esteticky příliš vyžít, hledal jsem možnost, jak jinak spojit své dvě vášně, tedy design a motorsport. Toto spojení jsem nakonec našel právě ve volantu, který mi dovoluje dělat rozsáhlý ergonomický výzkum, a zároveň zpracovat jeho tvarosloví. Mým cílem je vytvořit volant, který padne do ruky většině současných i budoucích pilotů formulí týmu eForce a s tím i auto doplňovat svým vzhledem.

1.2 Soutěž Formula Student (FS)

1.2.1 Historie

Soutěž vznikla v roce 1981 v USA. Do Evropy se dostala v roce 1998. Německá soutěž FSG je momentálně hlavní soutěží a z jejích pravidel vychází většina ostatních závodů. První český tým vznikl právě na ČVUT v roce 2009 pod názvem CTU CarTech, později zde vznikl i první elektrický tým, FEE eForce Prague Formula. V současnosti se týmy CarTech a eForce spojily a pracují na jedné elektrické formuli jako eForce Prague Formula. Prvním společným úsilím byl vůz CTU.24 z roku 2024. Formula Student, nebo také FSAE, je nyní celosvětovým fenoménem, kterého se účastní přes 800 univerzit.

1.2.2 Význam

Premisa tohoto klání nespočívá jen v závodění, ale hlavně ve vychovávání budoucích inženýrů a konstruktérů, nejen závodních vozů. Kromě dynamických disciplín, kterých je hned několik a testují se při nich všechny aspekty vozu, se soutěží i v disciplínách statických. Hlavní statickou disciplínou je *Engineering Design Event* (EDE), při kterém je návrh formule prezentován porotcům z praxe, průmyslu, nebo přímo motorsportu. Pravidelně se jako hodnotící objevují např. konstruktéři z F1. Účastníci tak získávají nejen cenné zkušenosti, ale i kontakty pro budoucí kariéru. Představovat musíme i ergonomii celého vozu, kdy se nejvíce řeší poloha pilota, dobrá viditelnost a ovladatelnost, nebo právě zpracování volantu. Další disciplínou, zajímavou i pro designéra je *Cost and Manufacturing Event*, při které musí být ke každému dílu, který se na vozidle

nachází, vypracována dokumentace a tzv. BOM (Bill of Material) a pro vybrané CCBOM (Costed Carbonized Bill of Material). Jde o výkresy a seznam všech dílů, u později zmíněného CCBOMu se uvádí i cena a uhlíková stopa jednotlivých kroků výroby. Dynamické disciplíny jsou pak pro většinu členů, kromě pilotů, už jen odpočinek a odměna v podobě sledování celého komplexního vozu v jeho nejlepší formě.

„What I find most appealing about Formula Student is the innovation that it encourages, as the competition rules give the entrants a lot of design freedom.“

-Ross Brawn (1)

1.3 Historie volantů závodních vozů

Volanty se ve formě, ve které je známe v této době, začaly používat koncem 19. století. Do té doby byly některé z prvních automobilů ovládány pomocí různých pák a táhel. První použití se datuje do roku 1894 na voze Panhard. (2)

První volanty v F1 vozech byly přejaty z normálních silničních aut. Byly velké, až 40 cm v průměru, a byly vyrobeny z hliníkového středu a dřevěného věnce. Věci se začaly měnit až v 60. letech, kdy se začalo více dbát na aerodynamiku, kokpity se zmenšovaly a s nimi i volanty. V 70. letech došlo k prvnímu využití ovládacího prvku na volantu. Šlo o bezpečnostní přepínač, který dovoloval vypnout motor v případě nějaké poruchy. V 80. letech došlo ke změně povrchu volantu, místo kůže, která byla celkem kluzká po delší době, se začal používat semiš. Někteří piloti tento krok nazvali jako nejlepším vylepšením F1 vozů za celou dobu. S novými povrchy přišlo i nové tvarování a piloti mohli své volanty upravovat dle svých představ. O přibližně 10 let později pak Ferrari přišlo s prvními pádly pod volanem. Od této změny počet ovládacích prvků přenesených na volant jen rostl a v současné době už jsou volanty F1 výkonnější než některé chytré telefony. (3) V ostatních motorsportech, jako je například World Endurance Championship nebo IndyCar jsou podobně složité jako ty F1. Najdou se ale i formy závodění, kde se přiklání k jednodušším řešením, hlavně ve World Rally Championship a Formula Drift.



Obr. 1-1 Volanty vozů Mercedes, 70 let od sebe https://www.formula1-dictionary.net/Images/steering_wheel.jpg

2. Analýza

2.1 Pravidla FSG

Celý návrh auta je přísně kontrolován pravidly, která vydává soutěž FSG. Definovány jsou například základní rozměry auta, že musí mít 4 odkrytá kola a místo pro jednoho pilota. Bezpečnost je taky velkou částí obsahu, auta musí splňovat několik předpisů o používaných materiálech, vybavení apod. Kromě obecných nařízení jsou zde určena i pravidla pro návrh jednotlivých sestav. (4)

2.1.1 Pravidla upravující vzhled volantu

Volant zmiňuje hned několik pravidel. Vypsaná a přeložená z angličtiny jsou zde:

- T2.8.5 Volant musí být ke sloupku připevněn pomocí rychlospojky. Řidič musí být schopen ovládat rychlospojku v normální poloze řidiče v rukavicích.
- T2.8.6 Volant nesmí být umístěn více než 250 mm za Front Hoopem¹. Tato vzdálenost se měří vodorovně, na ose vozidla, od zadní plochy Front Hoopu k nejpřednější ploše volantu v jakékoli poloze řízení.
- T2.8.7 Volant musí mít souvislý obvod, který je téměř kruhový nebo téměř oválný. Profil vnějšího obvodu může mít některé rovné části, ale žádné konkávní části.
- T2.8.8 V jakékoliv poloze nesmí být horní část volantu výše než nejvyšší povrch Front Hoopu.

Nejvíce mě ovlivňuje pravidlo T2.8.7, které upravuje vzhled volantu a zakazuje mít konkávní části. Pravidla přeložena z FSG pravidel. (4)

¹ Front Hoop je jedním z ochranných prvků formule, svařený hliníkový rám, v našem případě zalaminovaný v monokoku. Společně s main hoopem tvoří ochrannou obálku pro pilota při převrácení auta.

2.2 Cílová skupina

Pro tento projekt je cílová skupina velmi omezená, jedná se o piloty studentské formule eForce. Piloti jsou na každou sezónu 4 a jejich výběr probíhá několika způsoby. První výběr probíhá na motokárách, kde se vyfiltrují nejrychlejší jezdci, kteří se mohou účastnit *driver academy*. V tomto programu se zájemci o řízení formule utkávají mezi sebou v jízdě ve formuli, na simulátoru a ve fyzických testech. Právě členové této skupiny vyvolených jsou ti, kteří mi byli cenným zdrojem informací a zpětné vazby. Díky tomu, že cílová skupina mého projektu je takto úzká, mohl jsem se věnovat detailnějšímu propracování právě pro tuto skupinu. Jezdci se sice v týmu mění poměrně často, kvůli nastavení soutěže, kdy člen může být v týmu maximálně 5 let od svých prvních závodů, a to jen do ukončení magisterského studia, i tak se dá množina možných pilotů hodně zkonkretizovat. Konstrukce auta dost omezuje maximální výšku pilota, která je momentálně na přibližně 190 cm. Naopak člověk, který je moc malý z formule neuvidí na trať. Díky všem těmhle omezením mohu z výzkumu vyřadit různé extrémy. Skupinu interagující s mým návrhem bych tedy shrnul jako mladé dospělé ve věku od 18 do 28 let. Výškou se uživatelé pohybují mezi 170 a 190 cm. Pro dobré ovládání formule je potřeba i fyzická zdatnost a ačkoliv se 11 km jízdy může zdát jako nízké číslo, piloti jsou po závodě vždy fyzicky vyčerpaní. Pohlaví není určujícím faktorem, i když je pravda, že většina jezdců je pohlaví mužského. Pilotky se v historii týmu za volant také usadily a s jednou z bývalých jezdkyň jsem svůj návrh také konzultoval. Navrhovat inkluzivně je samozřejmě extrémně důležité, ale je také potřeba vědět, kde inkluze dává smysl. Vrcholový motorsport je jedním z oblastí, kde obsahovat řešení pro všechny nedává úplný smysl. Pokud má závodník vyhrát, potřebuje k tomu nástroje, které sedí hlavně jemu a široká veřejnost není tolik důležitá. Jiní lidé, než piloti se do formule dostanou přibližně jednou až dvakrát za rok po závodní sezóně, kdy je aktivním členům umožněno se formulí projet. Tuto krátkou projížďku lze zvládnout i s volantem, který člověku nepadne dokonale. I přes takové zúžení uživatelů je možné vytvořit produkt, který bude pro většinu populace naprosto vyhovující.

2.3 Elektromechanické komponenty volantu

Komponenty jsem bohužel vybírat nemohl, vzhledem k časovému rozvržení návrhu a vývoje ovládací desky, který probíhal před začátkem mé práce. Součástky popíšu ve stručnosti v následujících pár odstavcích, jelikož jsou pro návrh velmi důležité a majoritně ovlivňují výsledný vzhled kvůli vnitřní zástavbě a jejich proporcím.

2.3.1 Tlačítka

Vybraná tlačítka s označením PB6B2FM6M2CAL00 se pro naše použití hned z několika důvodů. Jedním z nich je skvělá výdrž, dovolující až 1 000 000 cyklů. Důležitá je také voděodolnost IP68, jelikož všechny elektrické formule musí projít Rain testem, ve kterém musí vydržet 2 minuty v simulovaném dešti a následně 2 minuty mokré bez vyzkratování jakékoliv elektroniky. Další výhodou je nízká hmotnost sestavy. Síla potřebná pro aktivaci je přibližně 5 N, což zamezí omylnému zmáčknutí, ale zároveň není příliš vysoká. (5) Tlačítko váží 2,1 g.



Obr. 2-1 Obrázek tlačítka použitého na volantu,
<https://mm.digikey.com/Volume0/opasdata/d220001/medias/images/321/PB6B2FM7M1CAL00.jpg>

2.3.2 Relativní enkodéry

Enkodéry se dají mimo jiné využívat jako vstupní zařízení v kombinaci s rotačním kloboučkem. Relativní enkodér si nepamatuje svoji pozici a funguje tedy na bázi rotace vpravo a vlevo a podle toho k hodnotě přidává nebo ubírá. Hodí se pro navigaci v menu, nebo pro hodnoty, u kterých nám nevadí přejet mimo původně daný rozsah. Konkrétní model v mém volantu je WS-ENTV Mechanical Incremental Encoder Switch. (6) Hmotnost jednoho kusu je 5,7 g.



Obr. 2-2 Relativní enkodér použitý na volantu, https://www.wonline.com/components/media/o127908v209%20Family_WS-ENTV_482020714001.jpg

2.3.3 Absolutní enkodéry

Enkodéry absolutní si na rozdíl od těch relativních pamatují svoji polohu. Využit se dají hlavně u parametrů s fixním nastavením, u kterých chceme hodnotu uchovat i po vypnutí a znovu zapnutí auta. Oproti relativním enkodérům jsou většinou větší, což může být nevýhodou. V mém volantu je použit Bourns PAC18R. Tento konkrétní enkodér se vyznačuje nízkým profilem a dlouhou výdrží. (7) Jeden váží 6,7 g.



Obr. 2-3 Absolutní enkodér PAC18R, https://eu.mouser.com/images/bourns/sm/PAC18R_SPL.jpg

2.3.4 Dvoupolohový přepínač

Posledním spínacím zařízením na volantu je dvoupolohová páčka WE TOTV. Používá se k přepínání funkcí z vypnutých na zapnuté. Váží 4,9 g.

2.4 Rychlospojka

Jak je definováno v pravidlech, volant musí být se zbytkem sestavy řízení propojen rychlospojkou. Hlavním důvodem pravidla upravujícího tento spoj je bezpečnost. Piloti musí být schopni během 5 sekund vyskočit z auta. Splnění tohoto požadavku je podmínkou pro možnost řídit vůz na soutěži. Právě odpojení volantu od zbytku sestavy dovoluje výskok z auta ve velmi krátkém čase. U formulích tak kompaktních, jako jsou současné monoposty se nikdo bez vyjmutí volantu do ani z auta nedostane.

V našem týmu se využívá spojka QR-03 od firmy KRONTEC. Tato rychlospojka je považována za jednu z nejlepších, která se pro motorsportová využití dá sehnat. Nejvíce času na trati ubírá díky téměř nulovému vřlu v celém spoji. S malou vůlí je auto responsivnější a výsledek může být o to lepší. Další nespornou výhodou je konektor zabudovaný ve spojce, díky kterému mizí nutnost zvlášť propojovat volant s autem. Záporům této volby je určitě hmotnost. Spojka je složená z více než 10 dílů a její hmotnost i s protikusem přivařeným k řízení se pohybuje okolo 380 g. Její spolehlivost a snadnost použití je ale dostatečným vykupujícím faktorem.



Obr. 2-4 Rychlospojka KRONTEC QR-03, <https://evilspeed.eu/cdn/shop/files/Krontec-QR-03-7.jpg?v=1722584967&width=1000>

2.5 Seznámení s komponenty, jednotkami a funkcemi vozu souvisejícími s volantem

2.5.1 STW

Zkratka pro Steering Wheel, hlavně využívaná pro označení řídicí desku volantu. Jednotku pro letošní volant má na starosti student FELu a člen elektro skupiny našeho týmu Vojta Vejšický, společně jsme rozhodovali o tom, kolik, a jakých vstupů musí deska pojmout pro ideální ovládání formule.

2.5.2 DSH

Dashboard neboli palubní displej je jednou z nejdůležitějších součástí auta, jelikož pilotovi zobrazuje veškeré informace potřebné pro kontrolu jízdy. Zobrazují se zde parametry jako například stav baterie, současné nastavení některých parametrů a teplotu každé ze čtyř pneumatik v reálném čase. Dále pomocí DSH probíhá nastavení všech možných více podrobných parametrů vozu, když je statický. Před jízdou si je řidič schopen vybrat přednastavení pro danou disciplínu. Na grafickém rozhraní se softwarovým návrhářem spolupracuje i další student designu na FA. Displej má vysokou svítivost, aby byl dobře čitelný i za přímého slunečního svitu.



Obr. 2-5 Fotografie DSH v autě CTU.24

2.5.3 ARB

ARB je označení pro Anti-roll Bar, což je komponent podvozku, který v, našem týmem vyvinutým decoupled roll and heave systému, dovoluje nastavovat tuhost auta v náklonu. Přední je fixní, nastavený podle požadavků kinematiky, ale zadní je nastavitelný pilotem právě na volantu. Nastavitelnost dovoluje motorek otáčející kovovým bladem, jehož tuhost se mění díky změně průřezu. Tužší ARB znamená méně náklonu, a tedy lepší stabilitu a menší změnu přítlaku. Příliš tuhé ARB ale způsobí zdvihání vnitřního kola z vozovky a výkon naopak zhorší.

2.5.4 BB

Pod zkratkou BB se skrývá slovní spojení Brake Balance (nebo Bias). Jedná se o rozložení brzdných sil. Nastavení brzdné síly dopředu zapříčiní lepší stabilitu, ale s ní i nedotáčivost. Při vyšší síle na zadní nápravě naopak dochází k přetáčivosti, nebo až k zablokování zadních kol. Elektronicky nastavitelný BB byl pro monopost CTU.25 z auta odstraněn kvůli hmotnosti a nespolehlivosti systému. Ovládání ale na volantu zůstává kvůli ovládání rozložení síly rekuperace, která se ve výsledku používá více než brzdy.

2.5.5 TV

Torque Vectoring neboli rozdělení točivého momentu je technologie, která, dovoluje rozdělit točivý moment na potřebná kola. V zatáčce umožňuje posílat větší výkon na venkovní kola, která jsou zpravidla více zatížena kvůli přenosu hmotnosti způsobenému odstředivou silou. Vnitřní kola potřebují výkon nižší. Speciálním případem je tzv. „Tank steering“ kdy se kola na protilehlých stranách vozidla pohybují opačným směrem rotace a vozidlo se může otáčet na místě. Elektrická formule tohle taky umí, ale v praxi se to nevyužívá. Více do detailu je TV vysvětlen například v tomto článku: [Torque Vectoring for Electric Vehicles with Individually Controlled Motors: State-of-the-Art and Future Developments \(8\)](#).

V souvislosti s volantem TV zmiňuji kvůli nastavení, která na volantu může řidič měnit. Jako první je zde přepínač, kterým se TV zapíná a vypíná a dále je zde nastavení intenzity.

2.5.6 Rekuperace

Rekuperaci formule využívá většinu času při delších disciplínách místo brždění. Při rekuperaci, jinak řečeno regenerativním brždění, se mění funkce motorů na generátory elektřiny a kinetická energie zpomalujícího vozu se mění na energii elektrickou, která je pak uložena v akumulátoru. Díky této vymoženosti formule nepotřebují tak robustní brzdový systém a mohou tedy ušetřit cenné gramy. Dále dovoluje více využívat potenciál auta, protože má pilot k dispozici více energie bez zvětšení akumulátoru. U rekuperace pro letošní vůz CTU.25 dojde ke zvýšení výkonu z 30 kW až na teoretických 120 kW, proto by na volantu měla být i možnost korigovat si intenzitu regenerativního brždění.

2.5.7 TLM

Telemetrie je další funkcí, jejíž ovládání je příhodné umístit na volant. V letošní sezóně 2025 by mělo dojít k nasazení komunikace s pilotem pomocí headsetu zabudovaného v helmě. Pomocí dat, která formule posílá ze závodiště, budou technici mimo trať mluvit s pilotem o veškerých problémech, doporučených nastaveních i počínání ostatních týmů. Volant by měl být vybaven tlačítky pro ovládání, jako je Push to Talk, nebo Acknowledge

2.5.8 DRS

Protože se pro letošní vůz podařilo zvednout přítlak o 20 %, narostl i odpor generovaný novým aerodynamickým balíčkem. DRS, tedy Drag Reduction System, tento odpor na rovinkách sníží až o 30 procent a dovolí tak CTU.25 dosáhnout vyšších rychlostí za stejného výkonu otevřením jedné z klapek zadního křídla. Ačkoliv způsob fungování ještě není v době psaní této BP zcela otestován, je jasné, že nějaká interakce přes volant bude potřeba, aby si pilot mohl chování tohoto systému přizpůsobit za jízdy.

2.5.9 VDCU

Jednotka VDCU, Vehicle Dynamics Control Unit, se stará o správu veškerých funkcí vozidla při jízdě. Ovládá TV i rekuperaci a hlídá limity auta. Pro svou funkci využívá vstupy z GPS, Ground Speed Sensoru, který je také novinkou letošního vozu, a právě z volantu.

2.6 Analýza předchozích řešení

Díky tomu, že za působení týmů formule student vzniklo už několik volantů, jsem mohl vycházet z předešlých návrhů a mít tak vstupy pro začátek navrhování. V této kapitole se budu věnovat analýze některých z nich.

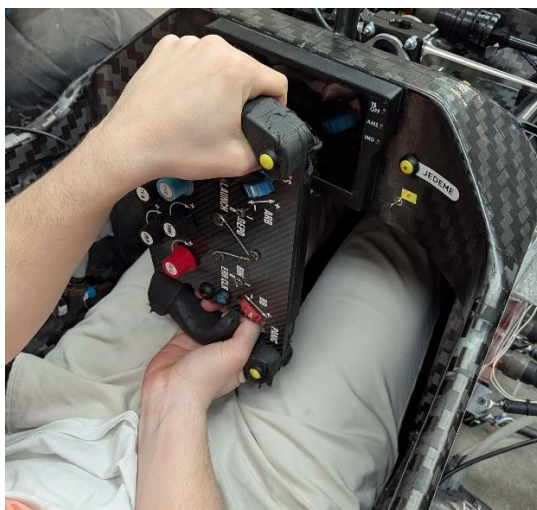
2.6.1 Volant CTU.24

Jako první a v největším rozsahu, bych rád rozebral poslední řešení, které vzniklo po spojení týmů pro vůz CTU.24.



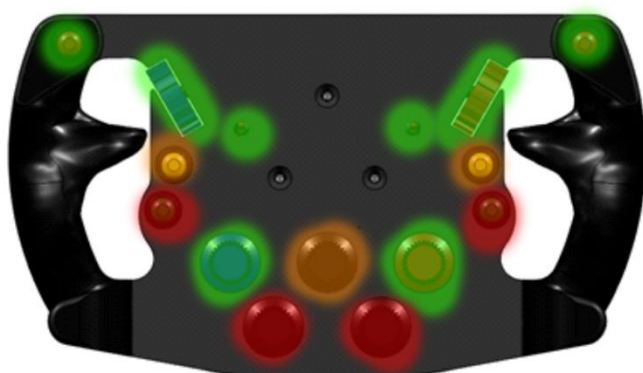
Obr. 2-6 Fotografie volantu CTU.24

Volant byl bohužel navrhován i vyráběn hodně na poslední chvíli, poslední komponenty se dokonce tiskly až v kempu, noc před prvními závody. Jako výhodu i nevýhodu zároveň, se dá považovat velikost tohoto volantu. Se svými 30 centimetry v průměru byl navrhován co nejširší, aby piloti měli co největší rameno pro zatáčení. Jelikož auta pro tuto soutěž nejsou vybavena žádnými posilovači řízení a moment v řízení dosahuje až 9 Nm, je toto rozhodnutí celkem logické. Problém ale nastává kvůli stísněnému prostoru v kokpitu vozu. Široký úchop roztahuje ruce řidiče od sebe a dochází ke kontaktu se stěnou monokoku a s nohama pilota. Pro nový volant jsem tedy potřeboval najít i vhodnou velikost.



Obr. 2-7 Poloha rukou při plném zatočení s volantem CTU.24

Rozložení tlačítek a dalších ovládacích prvků také není zcela optimální, analýzu lze vidět na schématu níže, kde je zvýrazněna dosažitelnost prvků.



Zelená - dobrá dostupnost
Oranžová - zhoršená dostupnost
Červená - špatná dostupnost

Obr. 2-8 Zhodnocení dosažitelnosti na ovládací prvky

Zelenými, tedy dobře dosažitelnými prvky jsou tlačítka nad palci, a rotační enkodéry. Tyto spínače jsou jednoduše ovladatelné bez přílišného uvolnění volantu za jízdy, a tedy nejvhodnější pro umístění důležitých funkcí jako ARB, BB pro enkodéry, nebo Time Stamp a Error Clear u palců. Dále bych sem zařadil modrý a červený enkodér ze skupiny 5 těchto otočných ovladačů na spodní části volantu. Ty sice pro manipulaci vyžadují sundání ruky z gripů, ale není to u nich problém. Mají totiž na starosti pohyb v menu na DSH, který za jízdy ovládat nelze. Patří sem i jednoduché dvoupolohové přepínače z prostředku volantu, kterými se zapínala například aktivní aerodynamika.

Oranžovou barvou jsou pak zvýrazněna hůře dosažitelná tlačítka. Do této kategorie bych zařadil tlačítka po stranách palců a enkodér uprostřed.

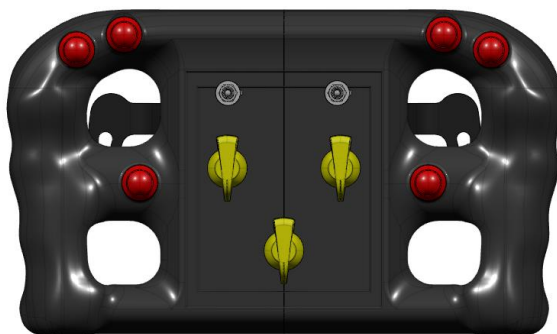
Ovládací prvky označené barvou červenou jsou nejhůře dostupné a nazval bych jimi nejspodnější tlačítka a nejspodnější enkodéry. Červeně vyznačená tlačítka vyžadují velké vykroucení palce a síla úchopu volantu je potom téměř nulová. Dva otočné knoflíky na spodku volantu jsou špatně dostupné i při stání auta, a přesto je možné, že je potřeba je použít za jízdy.

Ergonomie volantu je koncepčně v pořádku. Grip je navržený pro více rukou, nejen pro jednoho pilota obtisknutím jeho rukou do nějaké modelíny. Tento přístup je pro naši soutěž důležitý, protože na jedné soutěži řídí auto až 4 piloti a volant se nesmí měnit. Nemyslím si ale, že tento nápad byl dotažen do úplného cíle a úchop by mohl být ještě mnohem lepší. Největšími problémy je nedostatečná opora palce a úchop směřující ruce do V, který není nejideálnější pro přenos síly ruky na volant. Změnu vyžaduje i poloha osy otáčení vůči rukám, která u tohoto návrhu není zcela doladěná a síla rukou tak není nejefektivněji přenášena do řídící sestavy.

Posledním bodem, který je u závodních aut neopomenutelný, je hmotnost. Tento volant váží něco přes 1,2 kg, což je poměrně dost. Na vině je mnoho 3D tištěných dílů, které musí být skoro plné, aby se při náročném zacházení nepoškodily. Nosným prvkem je zde uhlíková deska, která v sobě má 14 vrstev uhlíkové tkaniny s gramáží 600 g/m².

2.6.2 Volant FS.15

Tento volant byl navržen téměř před 10 lety pro formuli FS.08, ale pro spalovací formule se používal až do jejich poslední generace, FS.15.



Obr. 2-9 Volant FS.15 na snímku obrazovky

Volant je o něco menší než ten z CTU.24, což dává pilotovi větší volnost. Úchopy jsou ale hrozně zvláštní a vlastně ani nechápu, pro koho byl volant navržen. Sestávají z několika výčnělků, které ale většině lidí, spíše, než pomáhají, překáží. Jak je patrné i z obrázku výše, úchop ruce směřuje do V, stejně jako u CTU.24 volantu. Tlačítka jsou rozmístěna v dobrém rozsahu, ale vzhledem

k blízkosti vrchních tlačítek k sobě, může dojít k omylnému zmáčknutí, pokud se pilot nepodívá.

Naopak pochválit musím koncepci výroby volantu. Na rozdíl od mixu tuhé základny a 3D tištěných přílozek jde o dvoudílnou lepenou skořepinu, díky tomu je volant lehčí. Oproti CTU.24 volantu má asi 300 g méně. Výhodou jsou i pádla, která u spalovacího vozu slouží k řazení, ale na elektrickém voze se dají také využít.

2.6.3 Volanty FSE

Volant FSE.8 až 11, tedy pro elektrické formule, byl speciální tím, že měl v sobě zabudovaný displej. Byl také o dost menší a nebyl zkosen do V, což je podle mého testování lepší pozice rukou. Displej na volantu se nakonec ukázal jako redundantní a pro poslední formuli FSE.12 byl také vytvořen nový volant, který v sobě už displej neměl. Displej byl přesunut na předek kokpitu v podobě DSH, kde se nachází i v nových modelech. FSE.12 volant byl podobně, jako ten na CTU.24, zkonstruován z uhlíkové základní desky a úchopů z 3D tiskárny. Neměl na sobě mnoho ovládacích prvků, spoléhal se hlavně na dotykovou obrazovku. Toto řešení se ale ukázalo jako nesmyslné pro využití při závodě, proto se tým vrátil k hapticky lepším tlačítkům a enkodérům.



Obr. 2-10 Odstrojený FSE.12 volant, nyní používaný pro týmový simulátor

2.7 Kupovaná řešení

Samozřejmě je i možnost si volant do formule koupit z výběru komerčně dostupných výrobků. Jediná kritéria pro zvolení toho správného jsou určená pravidly, zmíněnými v sekci 2.1. Firmy s dostupnými řešeními jsou například MOMO nebo Sparco. Přímo pro FS pak volanty dělá firma Racetech.



Obr. 2-11 Nabídka FS volantů firmy Racetech, https://race.parts/catalogue/image.aspx?img_id=57c66a36-ef2d-4a1d-b63d-a61801093865

Výhodou koupě může být nižší pořizovací cena, která se u těchto řešení pohybuje kolem 8 000 Kč. Kvalitně zpracovaný uhlíkový volant může stát pouze v materiálech na výrobu kolem 20 000 Kč, kdybych započítal i návrh a výrobu forem v pracovních hodinách, dostala by se suma klidně až ke 100 tisícům korun. Další výhodou je zaručená kvalita a pravděpodobně dobrý úchop. Asi největší výhodou pro týmy studentské formule je úspora času, který je, u všech, ale hlavně u nově začínajících týmů, velmi cennou komoditou. Proto po tomto řešení sahá většina nezkušených týmů s menším počtem lidí.

Výhody vlastního návrhu jsou jasné, tým tím má absolutní kontrolu nad vším, co na volantu bude. Volant může být přizpůsoben pilotům formule, a i samotné formuli a jejím funkcím.

2.8 Volanty v motorsportu

Nejznámějším motorsportem světa jsou bez pochyby závody F1. I v této kategorii se piloti s tratí perou pomocí propracovaných a technologií napěchovaných volantů.



Obr. 2-12 Volant F1 týmu Mercedes-AMG Petronas, <https://www.thedrive.com/wp-content/uploads/content-b/message-editor/1623170106242-m264765.jpg?strip=all&quality=85>

Z obrázku výše, na kterém je vyobrazen volant jednoho z předních týmů současné soutěže F1 je vidět, jak jsou jimi volanty našich studentských formulí ovlivněny. Ty naše samozřejmě nedosahují takové komplexnosti, vozy Formula Student přeci jen nemají všechny funkce a nastavitelnost, jaké se dosahuje právě ve Formuli 1. Principiálně jsou si ale velmi podobné, jedná se o obdélníkový volant, zbavený neužitečných spodních a horních částí, obsahují velké množství tlačítek a otočných enkodérů. I jejich konstrukce je podobná nejlepším a nejlehčím volantům z formule student, tedy uhlíková skořepina, která skvěle uschovává všechny komponenty. Úchopy F1 volantů jsou pokryté gumou, která má sice horší držení než třeba semiš, ale zato se dá lépe vytvarovat pro konkrétního pilota a méně se opotřebovává, což je pro dlouhé a náročné závody velice potřebné.

Nejpodobnější z motorsportu jak volantem, tak celkovými trendy je Formula E, jejíž volant z roku 2013 můžete vidět na obrázku 2-13.

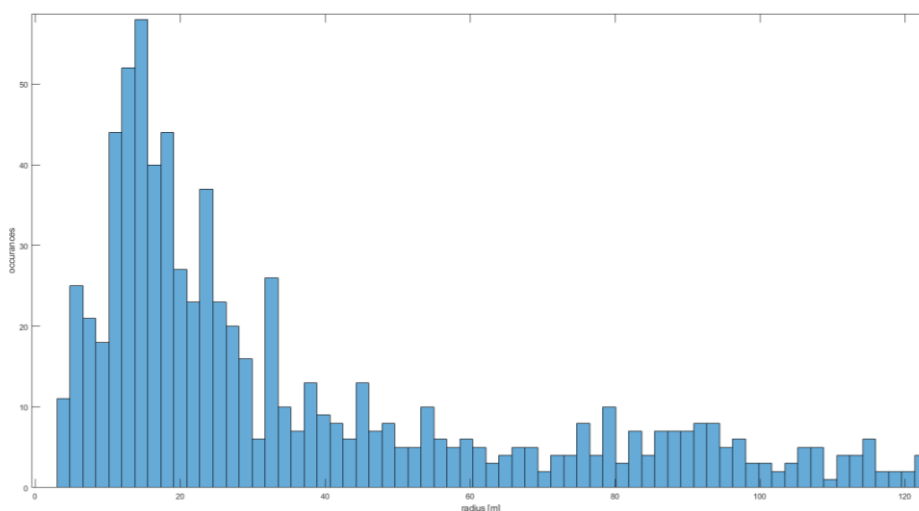


Obr. 2-13 Volant Formule E, <https://www.racecar-engineering.com/wp-content/uploads/2013/09/upsprak2.jpg>

V tomto případě nejde o skořepinový volant, jako je tomu u F1, ale o tvarovanou desku s přimontovanými gumovými gripy. Podobnost spočívá v jednoduchosti ovládacích prvků. Na co bych rád poukázal jsou pádla, která právě řidiči Formule E mohou využívat pro ovládání různých nastavení vozu, díky absenci řazení. Tento princip bych také rád využil pro svůj návrh.

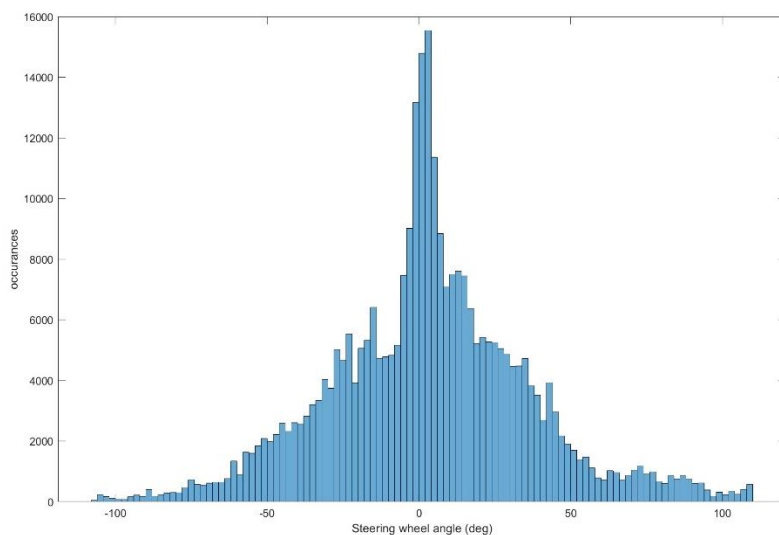
2.9 Situace používání

Od skupiny náprav jsem pro svůj výzkum sehnal data, která by mi mohla s vývojem pomoci. Hlavní pro mě byl graf četnosti zatáček a graf času natočení volantu.



Obr. 2-14 Histogram četnosti zatáček v soutěži FS, zdroj: data týmu

Z prvního grafu je vidět, že nejčastější zatáčka má poloměr kolem 15 m.



Obr. 2-15 Graf četnosti natočení volantu ve stupních, zdroj: data týmu

Díky druhému grafu vím, že se mohu zaměřit spíše na natočení volantu do přibližně 50°. Větší úhly nejsou v žádné z disciplín příliš časté a projíždí se v nízkých rychlostech, proto je pilot schopný je projet i s menším možným diskomfortem v ergonomii volantu. Právě v nejčastějším poloměru je rotace někde mezi 45-55°.

2.10 Závěr z analýzy a vize výrobku

Zkoumáním volantů dříve v týmu využívaných, a i volantů používaných v jiných motorsportech, jako je F1, nebo WEC, jsem si byl schopen vytvořit základní představu o tom, jak by nový volant měl vypadat. Jeho specifikace v bodech jsou následující:

- Ideální úchop volantu v nejčastějších poloměrech zatáčky
- Snadné rozpoznání tlačítek i bez sledování volantu za jízdy
- Menší než CTU.24
- Nové gripy
- Lepší natočení rukou
- Univerzálnost pro naše piloty
- Snazší dosah na ovládací prvky
- Skořápková konstrukce z uhlíkových vláken pro snížení hmotnosti
- Využití pádel
- Zkrášlení celé sestavy
- Zanesení identity týmu do vzhledu
- Využití komponentů vybraných elektrikáři

3. Postup navrhování tvaru a ergonomie

U návrhu volantu, který je založený hlavně na ergonomii, jsem nechtěl začínat se skicováním a návrhem tvaru předtím, než budu mít vypracovaný ideální tvar úchopu, se kterým budou spokojeni všichni piloti i já. Tvar úchopu mi definuje i různé tvary a dispozice volantu, proto jsem, kromě několika iniciálních skic začal rovnou s tvarováním hmoty.

3.1 Inspirace

Mimo zkoumání funkcí volantů jsem jich i mnoho prohlížel ze stránky estetické. Nejzajímavější volanty se většinou nachází u luxusních superaut, proto jsem hledal hlavně tam.



Obr. 3-1 Volant auta Aston Martin Valkyrie,
<https://www.topgear.com/sites/default/files/2023/03/3-Aston-Martin-Valkyrie.jpg?w=1784&h=1004>

Jako první jsem inspiraci hledal u Aston Martinu a jejich Valkyrie. Volant tohoto vozu je koncepčně podobný tomu z formule student. Oproti F1 se i počtem ovládacích prvků přibližuje tomu našemu. Zajímavě působí i grafické oddělení věnce a středu volantu. Ačkoliv se vrchní a spodní část úchopu volantu při jízdě nevyužívá, je pošta semišem, stejně jako právě gripy.



Obr. 3-2 Volant traťové hračky Bugatti Bolide, https://pbs.twimg.com/media/F__i-NXGX0AE1Ev-?format=jpg&name=4096x4096

Asi nejvíce mě zaujal volant Bugatti Bolide. O dosažitelnosti na některé prvky bych trochu pochyboval, ale po vzhledové stránce je to jeden z nejlepších návrhů, který jsem kdy viděl. Tvarování do písmene X je krásným propojením s exteriérem auta, kde je taky prominentní. X u tohoto automobilu odkazuje na zalepování světel páskou v začátcích závodění, aby se předešlo rozbití.



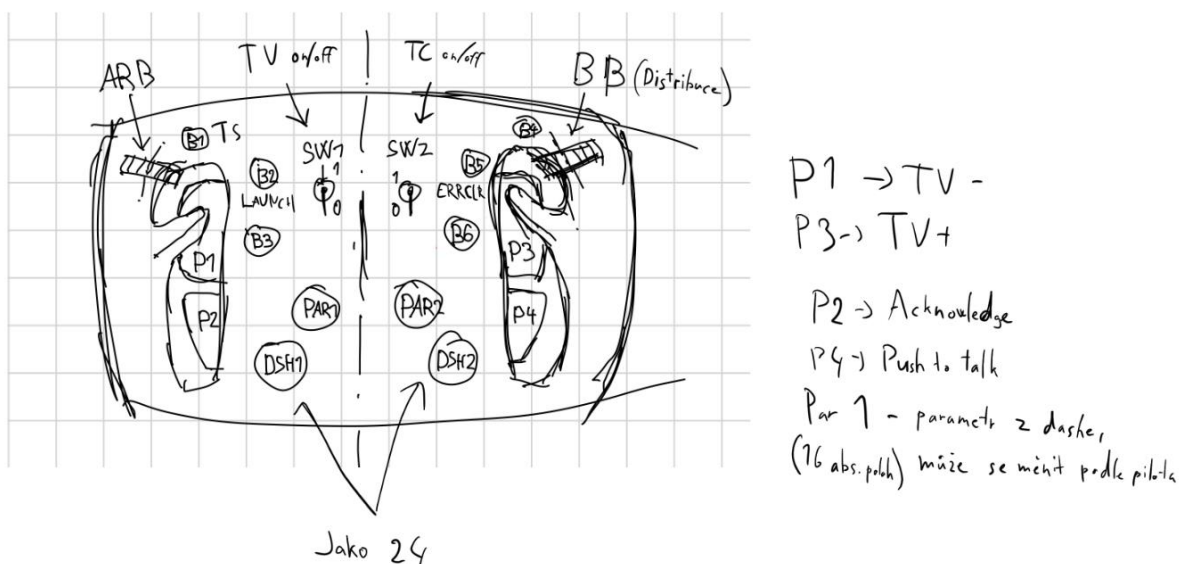
Obr. 3-3 Volant Lamborghini Essenza SCV12 na simulátory MOZA, <https://mozaracing.com/wp-content/uploads/2024/10/Automobili-Lamborghini-Squadra-Corse-Essenza-SCV12-Sim-Racing-Steering-Wheel-3.avif>

Jako poslední produkt, kterým jsem se nechal lehce inspirovat sem uvedu volant okruhového vozu Lamborghini Essenza SCV12. Ergonomicky vypadá dost

podobně tomu, čeho se snažím dosáhnout a počty ovládacích prvků přibližně souhlasí. Vzhledem mě zaujal hlavně svou hloubkou ve směru jízdy auta.

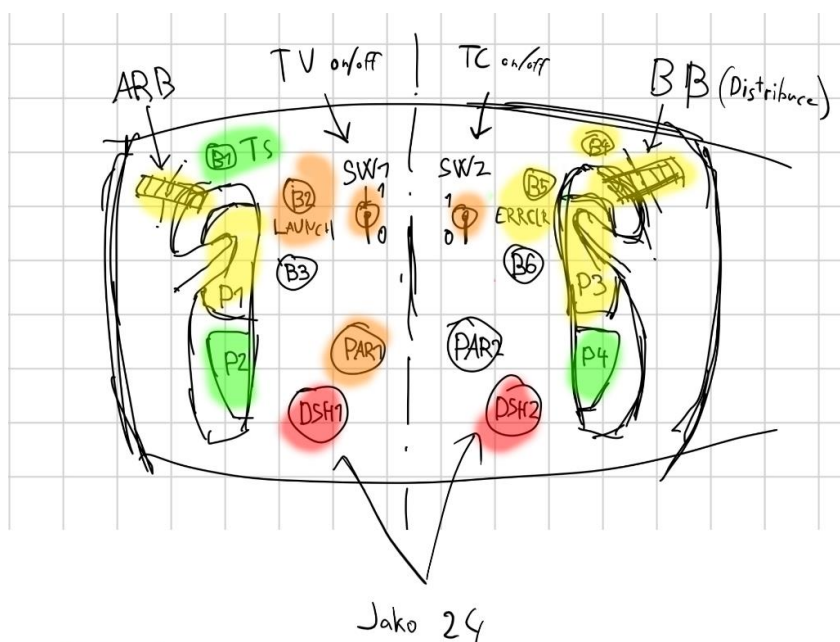
3.2 Prvotní skici

Ze zpětné vazby k předchozím volantům a požadavků na ovládací prvky jsem si vytvořil základní skicu, která mi pomohla v dalším směřování volantu.



Obr. 3-4 Základní skica volantu s předběžným rozmístěním tlačítek a dalších prvků

3.2.1 Výběr ovládacích prvků



Zelená - nejfrekventovaněji použité za jízdy
Žlutá - méně často
Oranžová - zřídka za jízdy
Červená - nikdy za jízdy

Obr. 3-5 Rozdělení funkcí podle četnosti použití za jízdy

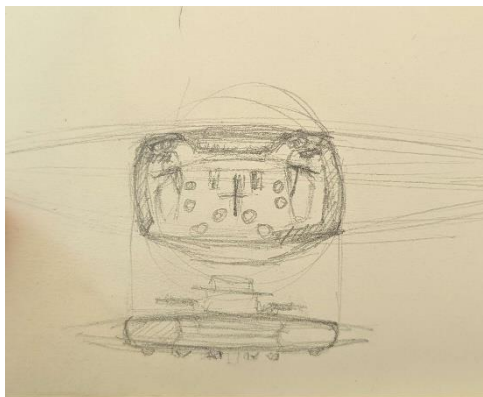
O zvolených prvcích se vedly dlouhé diskuse se zástupci všech skupin týmu. Se skupinou náprav jsme se utvrdili v potřebě ARB enkodéru. ARB si piloti upravují poměrně často, aby si přiblížili chování auta konkrétní situaci na trati. Mechanický Brake Bias už sice v autě není, ale pro rekuperaci, kterou používáme na všech 4 motorech naší formule, je toto nastavení stejně důležité. Tlačítko B1, označené zkratkou TS, po zmáčknutí vyšle speciální signál do data loggeru auta, který uchovává všechny akce a zprávy, které v autě během jízdy proběhnou. Tento signál dovoluje jednoduše v tisíci řádkových záznamech z jízdy snadno vyhledat místa a čas, kde pilot zjistil nějaký problém a usnadnit tak jeho identifikaci a odstranění. ErrClr taky přechází z předchozího vozu. Díky němu je možné autem jet, i když se na testování objeví nějaký menší problém, který by jinak jízdě zabránil. B2, B3, B4 a B6 jsou nenamapované předem a vždy se přizpůsobí monopostu, ve kterém se zrovna volant bude využívat. Jako jednu z funkcí, kterou tato tlačítka mohou dostat přiřazenou bych zmínil DRS, které popisují v sekci 2.2.8. Pádla jsou v podstatě jen dalšími tlačítky, jen je jejich poloha upravená pro lepší dosah zezadu volantu. Horní set pádel je dedikován úpravě intenzity rekuperace. O rekuperaci a nutnosti tohoto nastavení je více rozepsáno v části 2.2.6. Spodní dvojice pádel slouží pro interakci s týmem mimo trať pomocí TLM, opět více do detailu zmíněnou v analytické části. Enkodéry DSH1 a DSH2 slouží k ovládání a navigaci po dashboardu. Otáčením levého se pohybují nahoru a dolů různými menu nastavení auta. Pravým upravují samotné hodnoty zvolené v menu. Posledními součástmi jsou enkodéry PAR1 a PAR2. Ty slouží k úpravě předem definovaných parametrů. Veličiny, které tyto dva ovladače upravují se mohou lišit buď podle zvolené disciplíny, nebo podle preference pilota. Pilot by si měl být schopný na testování formule před závody vytvořit svůj ideální soubor nastavitelných hodnot, které mu dovolí se s autem co nejlépe sžít a využít jeho i svůj potenciál na plno.

Při navrhování jsem na volantu pracoval s těmito vstupy, ale software STW jednotky umožňuje vše měnit podle potřeby. Pokud by se tedy nějaká funkce ukázala jako redundantní, například nahrazením pomocí vylepšení VDCU, lze místo ní jakémukoliv tlačítku, enkodéru, či páčce přiřadit funkci novou.

PCB, ke kterému se připojují všechny ostatní elektrické součástky zvládne pojmout, podle domluvených potřeb, 3 absolutní enkodéry, 3 relativní enkodéry a 12 tlačítek, nebo páček.

3.2.2 Skici tvarosloví

Ještě před tvarováním jsem si načrtl pár představ, jak by volant mohl ve výsledku vypadat. Ačkoliv tento přístup není úplně nejlepší, pomáhá mi si ucelit vizi a vyjasnit si, co vlastně od daného projektu chci.



Obr. 3-6 Jedna z prvotních skic



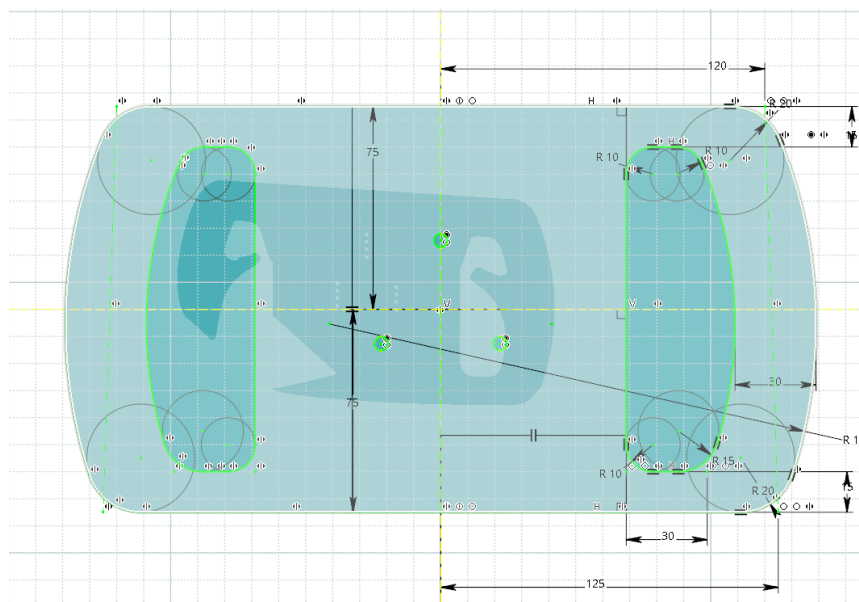
Obr. 3-7 Skica v perspektivě

Do návrhu jsem zakomponoval grafické prvky týmu jako logo E a červenou barvu na pravé straně a modrou na levé straně.

3.3 Hmotové návrhy

Jak jsem avizoval v úvodním odstavci této kapitoly, prvním krokem bylo hledání hmoty úchopu pro pilotovy ruce. V této sekci se budu věnovat všem iteracím, kterými tento návrh prošel.

3.3.1 Podklad pro hmotový model

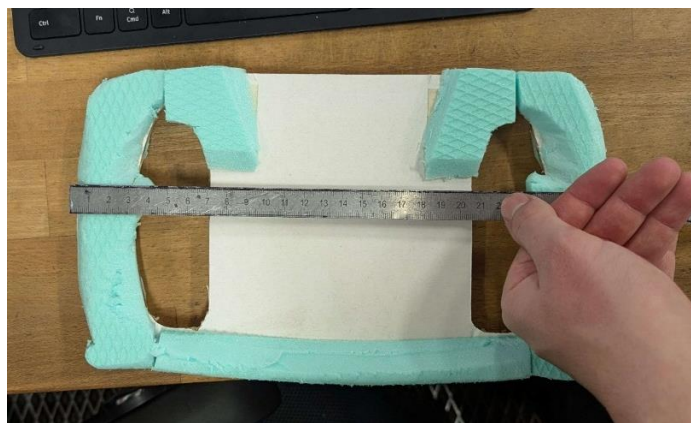


Obr. 3-8 Skica podkladové desky pro modelování

Základem je skica, rozměrově upravená podle zpětné vazby k předchozím návrhům a přáním pilotů. Velikost jsem vzal jako střed mezi volanty FS.15 a CTU.24. Tento rozměr byl podle zkušeností, blíže popsanych v analytické části přímo u každého z volantů, teoreticky nejvhodnější, vše se ale testovalo v následujících krocích.

3.3.2 Verze 1 hmotového návrhu

První hmotový model byl založen na skice zmíněné v předchozí podkapitole. Výsledkem zkoumání tohoto modelu byla představa o reálné velikosti volantu a základní představě o tvaru úchopů. Jako materiál jsem si zvolil extrudovaný polystyren, který mi dovolil velmi rychle získat hmotu a poté ji nožem upravovat do požadovaného tvaru.



Obr. 3-9 Fotografie prvního modelu

Velikost byla všemi dotázanými piloty přijata kladně. Na první vyzkoušení volant sedí do ruky lépe a přirozeněji. Styl úchopů byl také dobrý a vhodný pro preference všech dotázaných.

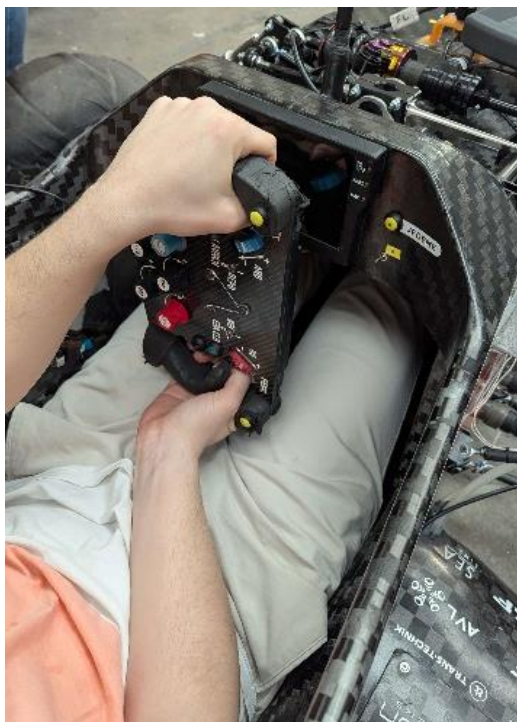
Na modelu lze vidět i první verzi grafického prvku, který jsem chtěl do návrhu zakomponovat. Lehce jsem se inspiroval u volantu vozu Lamborghini Essenza SCV12 a na spodek volantu jsem přidal tvarovaný nosník, který by u finálního produktu měl spojovat rukojeti jak graficky, tak strukturálně.

3.3.3 Verze 2 hmotového návrhu

V druhé verzi jsem si chtěl ověřit hlavně výšku středu otáčení. Proto jsem se pro tento prototyp rozhodl využít technologii 3D tisku. Vytisknutý plastový model snadněji dosáhne vyšší tuhosti a dá se s ním testovat i přímo v autě. Do auta jsem volant nainstaloval pomocí 3D tištěné repliky rychlospojky použité na volantu. Pro určení správné výšky jsem na desce volantu vytvořil 5 setů děr, díky kterým jsem pozici rukou mohl posouvat vůči středu otáčení. Nejnižší poloha je poloha volantu CTU.24 a nejvyšší je nejvyšší možná při dodržení pravidla o výšce volantu vůči Front Hoopu. Výzkum jsem prováděl se 3 různými piloty, kterým všem byla postupně upravována výška a následně bylo otáčeno koly pro simulaci zatáčení.



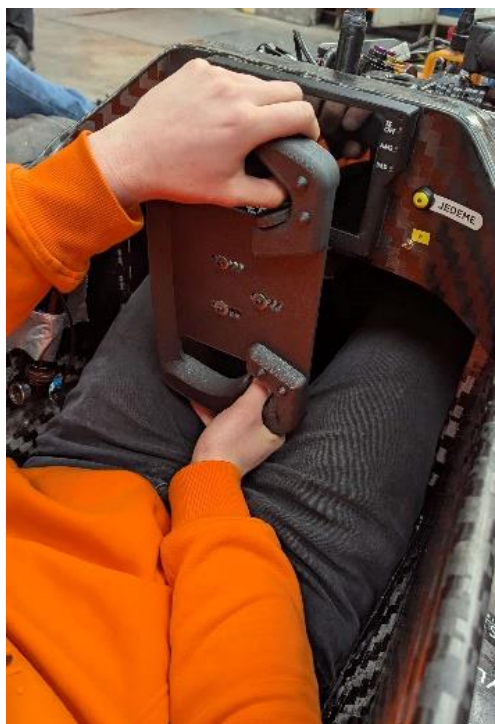
Obr. 3-10 Testování verze 2 v CTU.24, nastavení nejvyššího položení



Obr. 3-11 Kontrolní test s volantem CTU.24



Obr. 3-12 Test nejvyšší polohy pilot 1



Obr. 3-13 Test nejvyšší polohy pilot 2

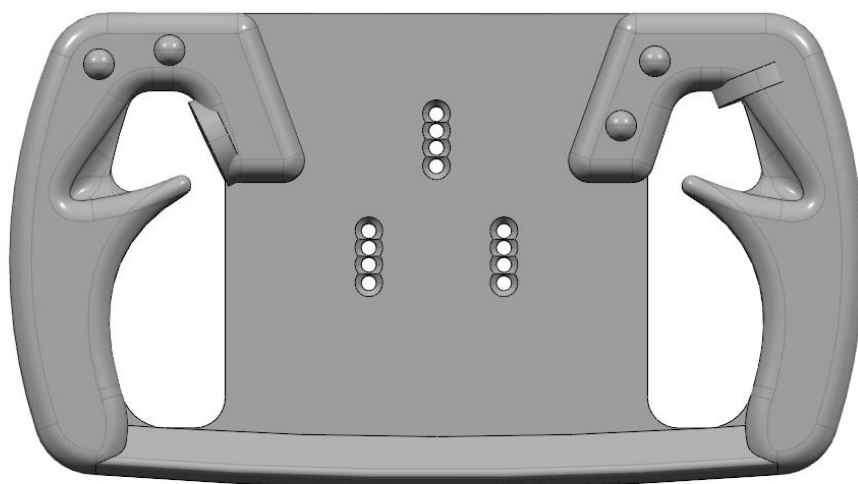


Obr. 3-14 Testování nejvyšší polohy pilot 3

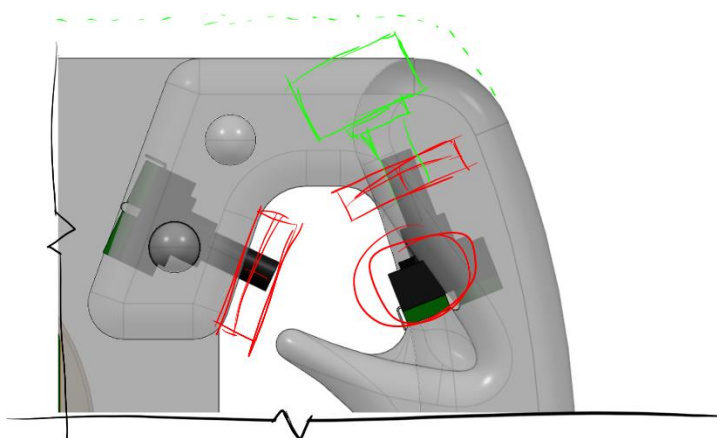
Z pěti možných poloh jsme se nakonec shodli na poloze 4 nejvyšší z 5 zkoušených. Oproti CTU.24 volantu se tedy jedná o posunutí osy otáčení o 17 mm níže. Kvůli posunutí volantu nahoru došlo ke snížení viditelnosti na DSH. Abych tento problém vyřešil a zároveň splňoval pravidlo T2.8.7, rozhodl jsem se pro zakomponování výřezu doplněného o plexisklo. Protože zmiňované pravidlo

řeší jen čelní pohled volantu, nevadí, když bude takto doplněný volant ze stran konkávní.

Dalším aspektem obsáhnutým v této verzi modelu je rozložení tlačítek. Porovnával jsem hlavně dvě koncepce. První koncepce zahrnuje umístění otočného enkodéru přímo do rukojeti volantu a tlačítka rozmístěná po obvodu palce. Umístění enkodéru blízko palci by mělo pomoci jeho dosažitelnosti a zrychlit tak možnost jeho použití v případě potřeby. Druhé rozmístění je více podobné například CTU.24 volantu. Enkodér je na něm v dobře dostupné pozici, proto jsem pro svůj návrh zvažoval i tuto možnost.



Obr. 3-15 Zobrazení modelu s jinými postaveními prvků nalevo a napravo



Obr. 3-16 Schematický popis vnitřní zástavby enkodérů

Ačkoliv možnost enkodéru v rukojeti se ergonomicky jeví jako lepší řešení, s dostupnými komponenty a měřítkem volantu vychází jako nerealizovatelný. Ve spodní poloze by mi tělo enkodéru extrémně ovlivňovalo možnost tvarovat nejkritičtější uzel úchopu. Zelená varianta by zase přidala výšku celé skořepiny volantu a tím ještě zhoršila viditelnost na DSH, která je už tak po zvednutí osy

otáčení lehce kompromitovaná. Posledním faktorem, vyřazujícím enkodér v rukojeti ze seznamu možností, je servisovatelnost. Těla enkodérů musí být v případě poruchy vyměnitelná. Zabudování ovladače do gripu by znamenalo i nutnost přístupu do něj, což by zapříčinilo náročnější výrobu a horší strukturální integritu. Všechny tyto výhrady mě vedly k rozhodnutí toto uspořádání zavrhnout a věnovat se dál jen možnostem, u kterých jsou součástky snadno dostupné ze střední části volantu.

3.3.4 Verze 3 hmotového návrhu

První zkouška tvarování rukojeti z modelovací hmoty Plastiline. Jako podklad jsem použil stejnou desku jako pro verzi 1. Základní tvar jsem modeloval rukou. Po nalezení odrazového můstku, ke kterému jsem se dostal mixem obtiskování ruky a roztahování materiálu přes vzniklé členité tvary, jsem přešel na úpravu plastelíny do úhlednějšího tvaru pomocí cidlin a špachtlí. Zkoušení tvaru probíhalo v pilotských rukavicích, aby byl pocit co nejrealističtější.



Obr. 3-17 Fotografie modelu verze 3

Myslím, že tvarování vyšlo už na první pokus vcelku ergonomicky správně a pohodlně pro držení. Odezva od pilotů byla taky pozitivní. Sklon ruky je oproti V u předchozích volantů pohodlnější a pro ruce přirozenější. Chválu dostala také opora dlaně, kterou jsem na tento úchop zakomponoval. Hrubě rozpolozená tlačítka byla v dobré dostupnosti.

Co na tomto modelu chybělo jsou výstupky pro oporu mezi palcem a ukazováčkem a pro oporu spodku dlaně. V místě, o které se opírá palec nebylo dostatečně materiálu a pro další verze bylo nutné jej přidat.

3.3.5 Verze 4 hmotového návrhu

Čtvrtou verzi modelu jsem přetvořil z verze 3 po diskusi s piloty po jedné z celotýmových schůzí. Proto je model trochu hrubší a nedodělaný.



Obr. 3-18 Verze 4 modelu, předěláno z verze 3

Tento model měl sloužit spíše jako zápisník pro předlohu příštího návrhu. Hlavní změnou oproti V3 je vytočení celého úchopu ven za účelem držení rovné ruky a lepšího přenosu síly. Síla by měla být přenášena lépe, jelikož je ruka a dlaň ve stejné ose a nemusí se zastavovat o zápěstní kloub.

Jako podklad pro verzi 5 tento rychlý návrh sloužil dobře. I tímto mezikrokem jsem si v rychlosti ověřil, kde je třeba materiál přidat a kde naopak ubrat.

3.3.6 Verze 5 hmotového návrhu

Verze 5 zakládá na V4 a opět vychází z poznatků získaných předchozím modelem. Odstranil jsem přebytečný materiál spodku volantu a celý spodek tak zakulatil a snížil. Začal jsem také formovat grafickou stránku volantu zvýrazněním hrany opory dlaně a tvarováním plošky nad palcem, která na sobě bude mít tlačítko.



Obr. 3-19 Fotografie V5 hmoty úchopu

Jeden z podnětů pro zlepšení od předchozího designu bylo přidání materiálu pod palec, tato změna ale začala limitovat pohyblivost palce. Zároveň bylo potřeba ubrat materiál u spodní části ruky. Opory prostoru mezi palcem

a ukazováčkem a spodní části dlaně byly málo vystouplé a nedodávaly potřebnou podporu. Výstupek podpírající palec zespodu byl v této verzi zbytečně dlouhý a překážel při ovládání prvků na desce volantu.

3.3.7 Finální verze hmotového modelu

Za pomoci všech inputů z přechozích verzí jsem vymodeloval finální tvar úchopu. Prostor pro palec prošel největší změnou. Materiál jsem trochu ubral ale zakulatil, aby palec pilota mohl volant co nejlépe obejmout. Výčnělek pod palcem byl zkrácen, aby pořád poskytoval ideální oporu, ale nepřekážel při ovládání prvků volantu. Opora vršku i spodku dlaně je výraznější, aby lépe držela pilotovo ruku. Kromě samotného tvaru jsem začal do většího detailu řešit rozmístění tlačítek a pozici enkodéru.

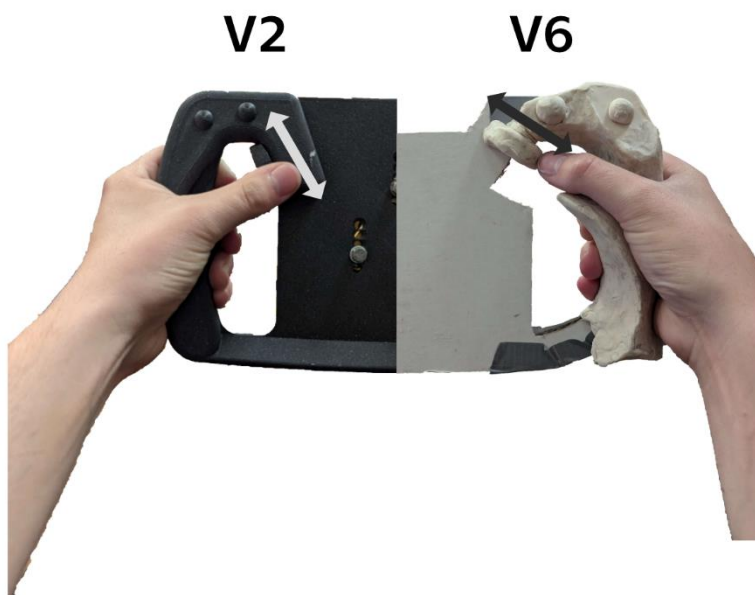


Obr. 3-20 Fotografie finálního tvarového konceptu

U tlačítek jsem se nějakým způsobem snažil je nějak rozlišit od sebe, aby nedošlo k omylnému zmáčknutí špatného tlačítka. Nejprve mě napadlo barevné rozlišení. Tuto možnost jsem musel zavrhnout, pilot totiž za jízdy na volant téměř nekouká a toto řešení by tak nebylo efektivní. Dalším nápadem bylo tvarové odlišení samotných čepiček spínačů. Řešení pomocí tvarovaných vršků jsem musel také přejít. Jednak jsem nechtěl zasahovat do stavby tlačítek, abych neporušil jejich vodotěsnost a také jsem z testování v rukavicích zjistil, že na tak drobném objektu nejde nic moc rozpoznat. Na základě těchto poznatků jsem se rozhodl pro vertikální členění dvou sousedních tlačítek. Místo toho, aby byla

tlačítka na jedné plynulé ploše, vytvořil jsem mezi nimi schod, který je graficky i hapticky odděluje. Uživatel volantu pak snadno pozná, jaké z tlačítek se chystá zmáčknout.

Poslední velkou změnu jsem provedl v pozici enkodéru. Na rozdíl od původního návrhu, kdy rotaci enkodéru prováděl pohyb palce ze strany na stranu, je nyní rotační pohyb iniciován pohybem palce pomocí kloubu posledního článku, a ne kloubem prvním. Takto změněný přístup k ovládání enkodéru mi dovoluje více propracovat podporu palce, jelikož už nevádí, když lehce omezuje pohyb.

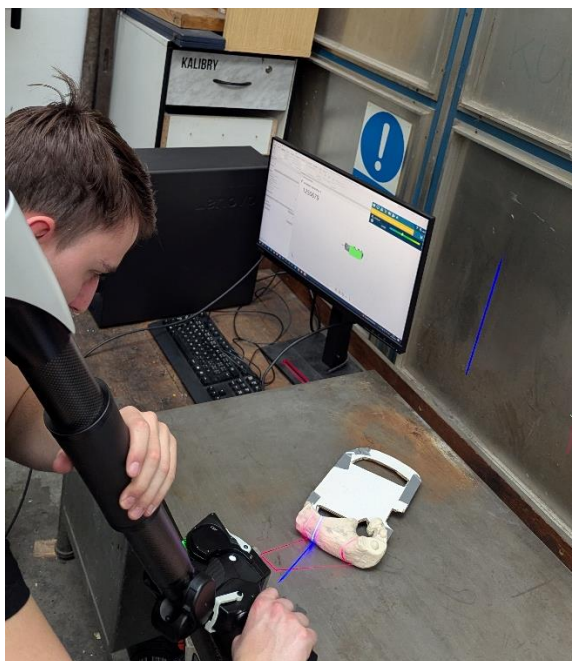


Obr. 3-21 Porovnání pozice a směru ovládání mezi V2 a finální verzí

3.4 Sken modelu

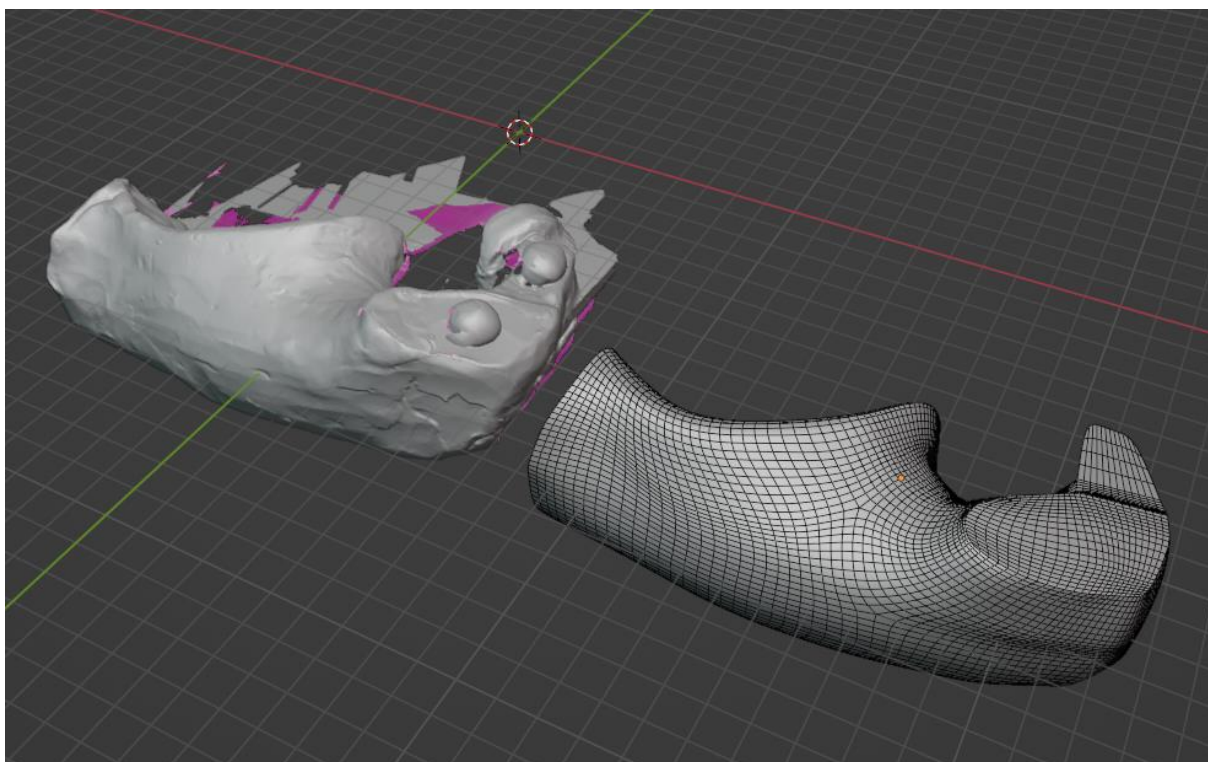
Po dosažení ideálního tvaru jsem potřeboval převést tento vymodelovaný tvar do digitální podoby, abych ho měl v digitální podobě a mohl testovat dále. Oproti měkké a poddajné hlíně plastový vytištěný model mnohem lépe reprezentuje pevnostní a haptickou odezvu finálního materiálu, tedy uhlíkového kompozitu.

Na naskenování modelu jsem měl šanci využít skvělé vybavení v podobě sedmiosého skenovacího ramene Absolute Arm se skenerem AS-1 od firmy Hexagon Manufacturing Intelligence. Pomocí tohoto nástroje, který má přesnost až 40 mikronů, jsem získal téměř dokonale přesnou digitální kopii.



Obr. 3-22 Fotografie mě skenujícího model ramenem

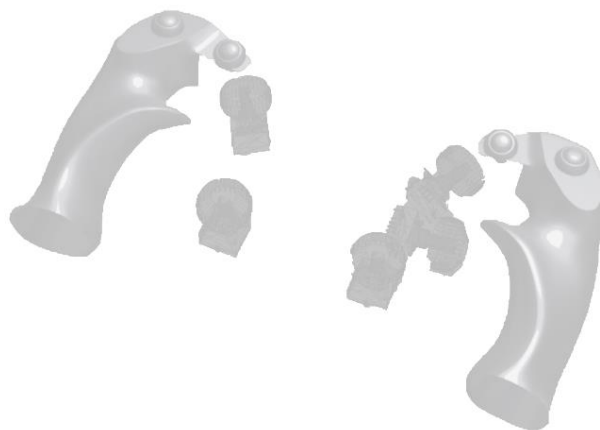
Výsledný model ve formátu .stl jsem v modelovacím programu Blender přemodeloval do polygonálního modelu. Pro organické tvary jako jsou právě ergonomické úchopy je dle mého názoru nejlepší využívat subdivision modelling.



Obr. 3-23 Vlevo sken fyzického modelu, vpravo verze přemodelovaná pomocí SubD

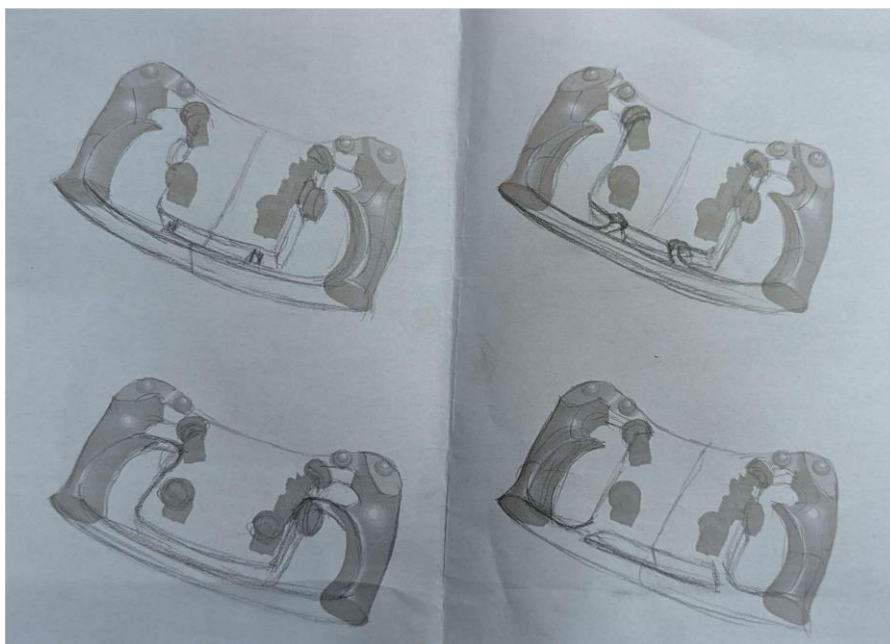
3.5 Skicování tvarosloví

Z vymodelovaného gripu jsem si připravil podklad pro skicování. Rovnou jsem do něj připravil přibližné pozice enkodérů, abych do skic zahrnul i správnou hmotu středu volantu.

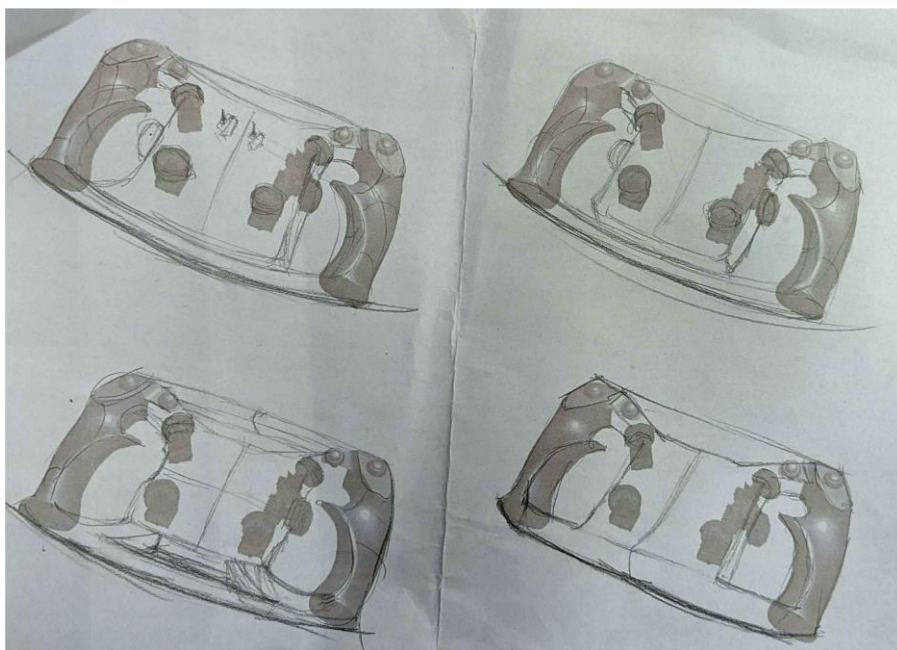


Obr. 3-24 Podklad pro skici

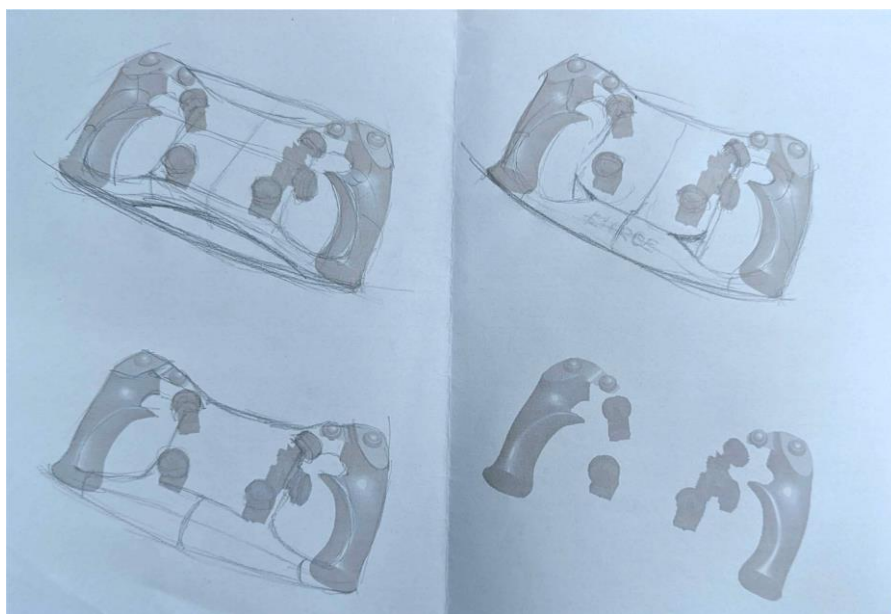
Při skicování jsem se držel tvaru gripů, který už měnit nechci a soustředil jsem se hlavně na zbytek, tedy věnec a středovou část. Tvarů jsem zkoušel hned několik, hlavně různé variace na spodní nosník spojující obě strany. Zkoušel jsem i různé kombinace hranatých a zakulacených prvků a odlišné přístupy ke spojení věnce se středem volantu. U tohoto ideování jsem byl bohužel omezen pravidly soutěže, jelikož jsem se musel vyvarovat konkávním tvarům.



Obr. 3-25 Skici volantu 1



Obr. 3-26 Skici volantu 2



Obr. 3-27 Skici volantu 3

Ze všech přístupů k formování konečného designu se mi nejvíce líbil pravý horní ze skic 2 a pravý horní ze skic 3. Návrh na druhém listu skic využívá nosník, který jsem zmiňoval již u verze 1. Místo pouhého ohraničení jsem mezi věncem a středem nechal mezeru. Díky nepřerušené plynulé křivce, která spojuje obě strany působí volant širší, než doopravdy je, což mu dává elegantní vzhled, který se k závodnímu autu hodí. Skica z třetí skupiny zakládá na podobném principu, ale spojující nosník jsem v tomto případě promáchl směrem ke středu a tím vytvořil propojení obou částí.

3.6 3D modelování

Několik vybraných skic jsem si převedl do 3D opět pomocí Blenderu. Nejvíce jsem se věnoval verzi s rozpojeným nosníkem, která mi přišla esteticky nejzajímavější.



Obr. 3-28 Několik verzí prvních 3D reprezentací odvozených ze skic, vlevo volant FS.15 pro srovnání

3.6.1 Verze 7

Verzi, se kterou jsem byl nejvíce spokojen, jsem si rovnou vytiskl pro potřeby dalšího výzkumu a testování. Pro zjednodušení orientace pokračuji v číslování od hmotových verzí.

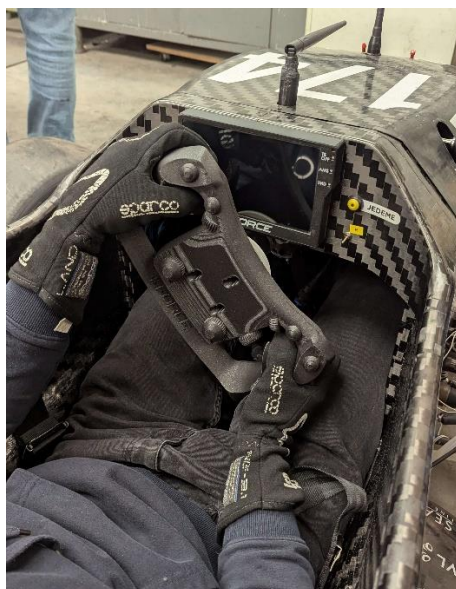


Obr. 3-29 Vytištěná verze 7 s gripy oblepenými lemovou páskou a osazená dalšími testovacími přípravky

Úchopy volantu byly i v tomto tuhém materiálu velice dobré. Objevilo se mi pár anomálií na úchopech při modelování, jako například nechtěné hrany, které jsem postupně odstraňoval v dalších iteracích modelu. Přidal jsem také další ovládací prvky, enkodéry ovládající DSH a jeden z PAR enkodérů.



Obr. 3-30 Já v CTU.24 testující V7



Obr. 3-31 Test natočení v nejčastější poloze s V7



Obr. 3-32 Testování ovladatelnosti některých z prvků

Úchop je až na drobné vady, zmiňované v předchozím odstavci v pořádku pro všechny polohy natočení. Kvůli změně úchopu, popisované u V3, je ruka v trochu horší pozici při úplném zatočení volantu, kdy je lehce ohnutá. Jak ale vychází z analýzy zatáček, přínos z lepšího úchopu u natočení volantu pod 50° převažuje méně pohodlnou pozici ruky při úplném zatočení.

Pozice pro PAR enkodér nebyla zvolena zcela vhodně, je špatně dosažitelný a ovladatelný kvůli hraně podpory dlaně.

Jedinou nevýhodou tohoto řešení je nízká tuhost způsobená absencí spojení nosníku se středem volantu. Volant se tak při tlaku ve směru osy otáčení prohýbá v horních ramenech, která jsou jediným spojovacím bodem.



Obr. 3-33 Znázornění ohybu V7

3.6.2 Verze 8

Pro další 3D model jsem dostal po testování, kdy piloti zkoušeli jezdit v CTU.24 jak s velkým volantem pro ni navrženým, tak s menším volantem FS.15, prosbu o další zúžení volantu. V této verzi jsem tedy ubral 5 mm z obou stran volantu za účelem otestování nového rozměru. Další změnou je úprava ostré hrany podpěry dlaně. V nové verzi jsem zvětšil poloměr zaoblení z půl milimetru na 10 mm. Tato změna by měla vést k lehkému uvolnění pohybu ruky a tím i k možnosti každého pilota si volant chytit více podle sebe. PAR enkodér jsem posunul blíže palci a naklonil jsem ho, aby byl palcem lépe dosažitelný. S 8. revizí jsem na zadní stranu volantu přidal ještě jednu sadu tlačítek podobnou tlačítkům na ovladačích herních konzol. Napozicování těchto tlačítek sem jsem se vyhnul možné kolizi, kdyby tlačítka byly vedle PAR otočného ovladače.



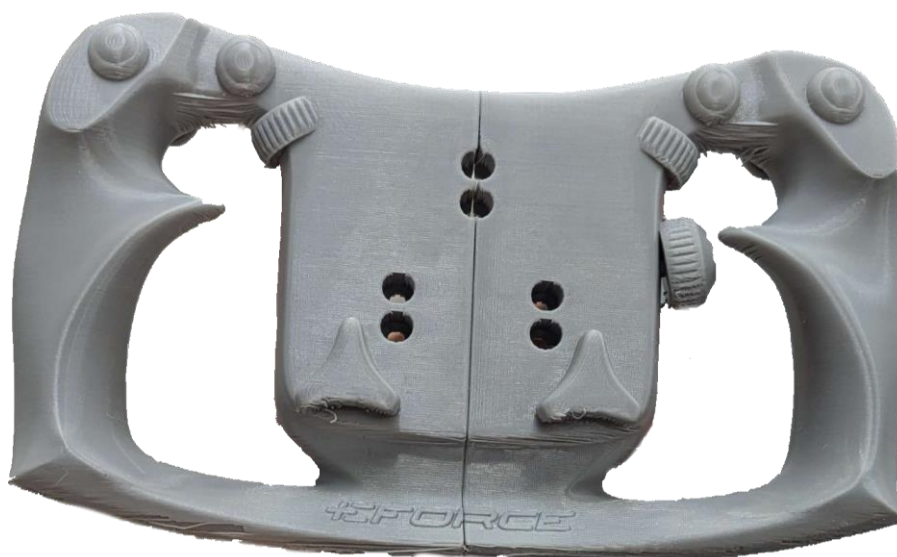
Obr. 3-34 3D tištěná V8

Pro V8 jsem rovnou kromě nutných úprav vyzkoušel i jiný vizuální přístup. Spodní nosník je místo plynulého pokračování promáčknut dovnitř ke středu volantu. Vzniká tak zajímavý grafický prvek, a hlavně dochází k nutnému vyztužení celého dílu. Bohužel toto pojetí přináší zvláštní špičaté rohy v místech, kde se věnec a střed potkávají. Další kritikou tohoto návrhu je z mé strany vertikálnost návrhu. Propojený střed dle mého názoru volant zvyšuje a ten tak přichází o svůj šarm.

Nová poloha PAR je mnohem lepší než poloha předchozí. Naklonění celého těla enkodéru se ukázalo jako dobré řešení.

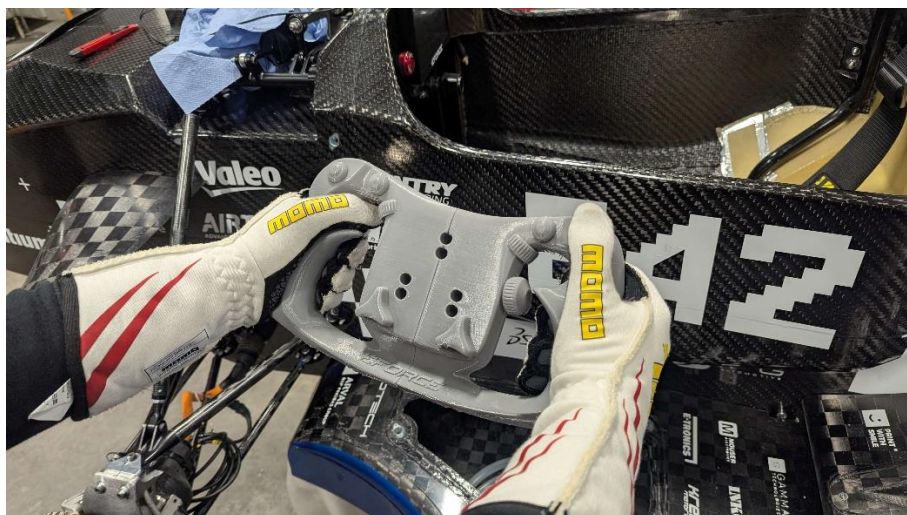
3.6.3 Verze 9

V 9. iteraci došlo k uhlazení celého modelu, odstranění některých přebytečných hran a soustředil jsem se i na upravení všech výčnolků tak, aby splňovaly pravidla. Upravovat jsem musel výstupky pro oporu spodní části dlaně, která nyní vystupuje pouze ve směru jízdy, a ne do stran, kde by to pravidla nesplňovalo.



Obr. 3-35 Model verze 9

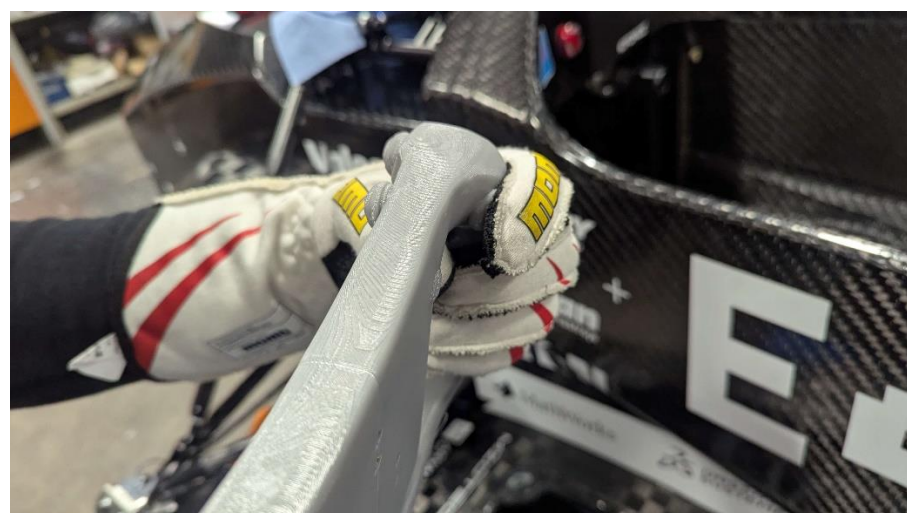
U V9 jsem vyzkoušel organické navázání středu volantu a nosníku. S návrhem jsem nebyl úplně spokojený, jelikož hmota v této oblasti působila poněkud roztekle a beztvárně. S jiným propojením jsem chtěl vyzkoušet i trojúhelníkové vršky enkodérů pro ovládání DSH. K tomu mě vedl fakt, že velké množství zařízení, kde se k pohybu v menu používá právě relativní enkodéry, jako například 3D tiskárny, tento tvar čepičky využívají. Použití těchto prvků na volantu ale po vyzkoušení příliš nedává smysl. Jakmile pilot najde úchop prsty, je dobrý a na navigaci po DSH vhodný. Nepřináší ale takovou výhodu, aby byl přínosnější než kulatý knoflík, který se dá chytit v jakékoliv poloze stejně. Verze 9 je také verzí s finálním rozmístěním tlačítek.



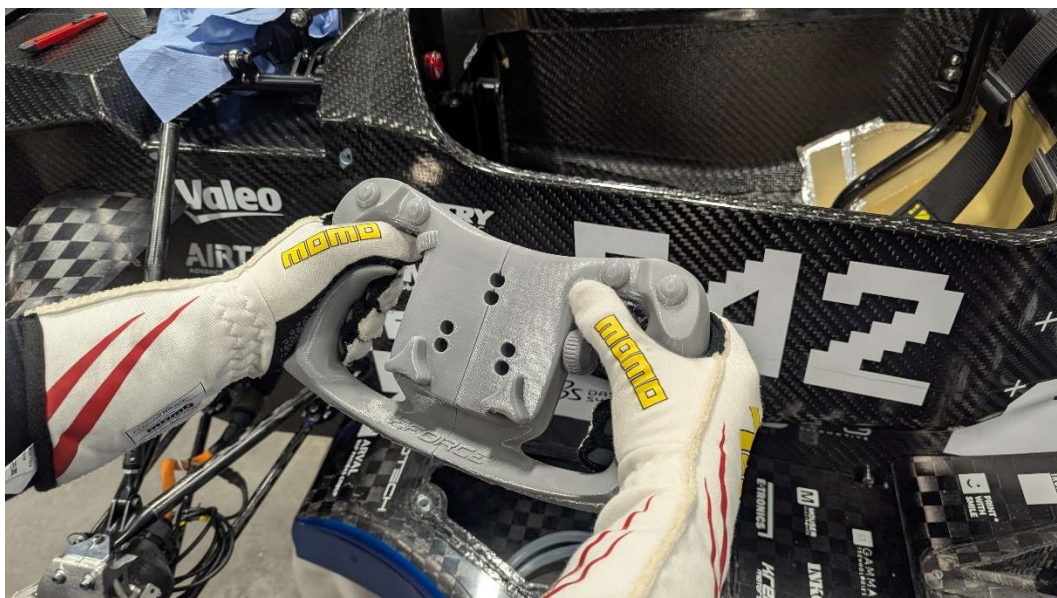
Obr. 3-36 Tlačítko 1



Obr. 3-37 Tlačítko 2



Obr. 3-38 Tlačítko 3



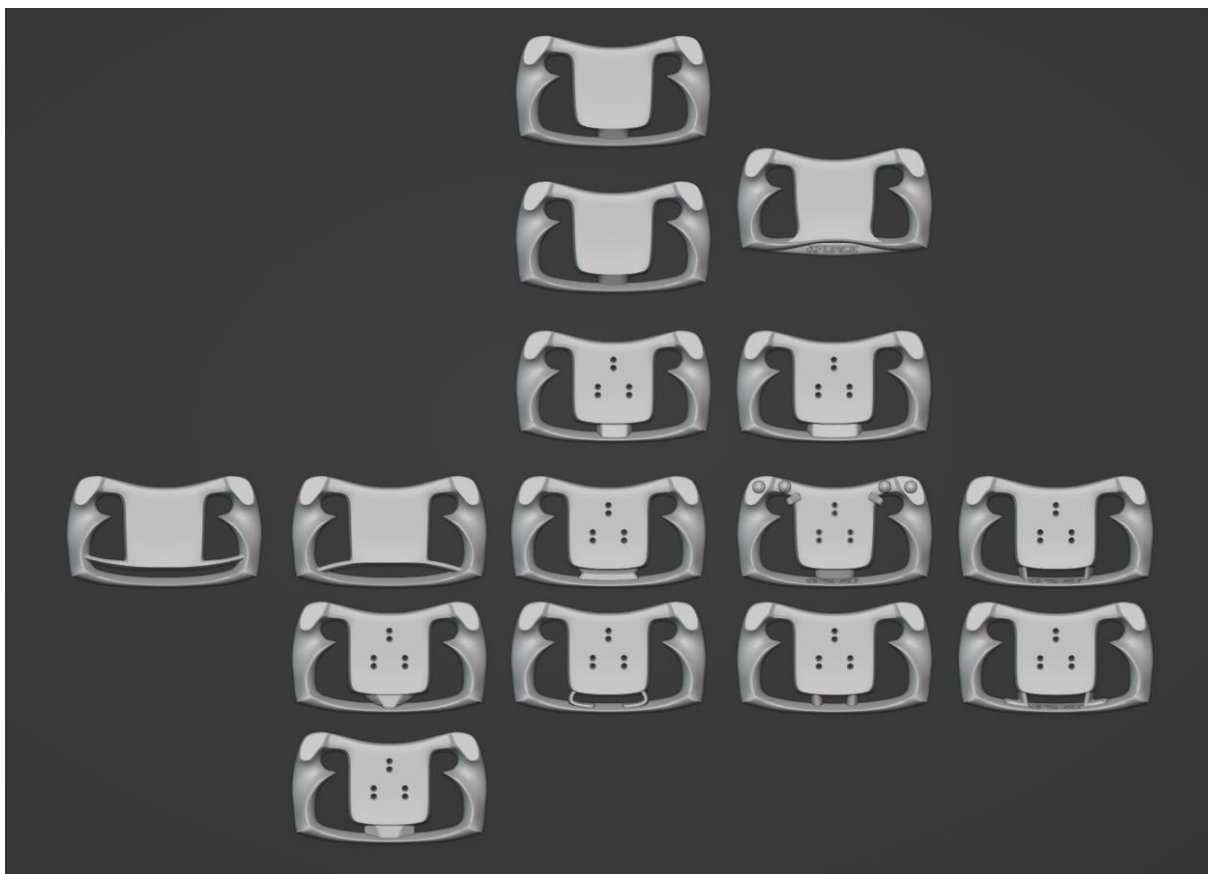
Obr. 3-39 Enkodér 1



Obr. 3-40 Enkodér 2

3.6.4 Výběr spojovacího prvku

S propojením částí volantu u V9 jsem nebyl zcela spokojen, proto jsem věnoval další čas do ideace cest, jak spojení dosáhnout elegantně a neintruzivně.

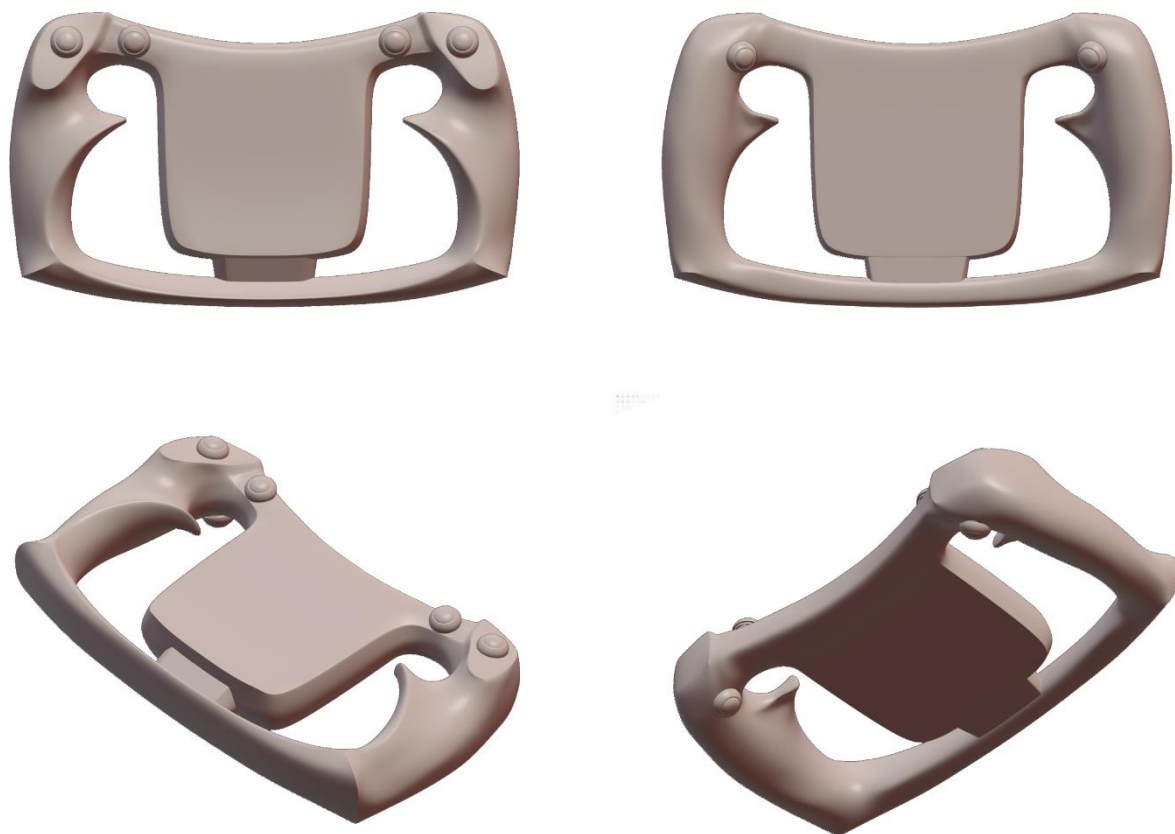


Obr. 3-41 Další ideace 3D tvarů, zaměření hlavně na spoj středu a věnce

Zkoušel jsem několik možností, plynulá napojení, různá ramena, nebo více menších spojů.

3.7 Finální tvar

Ze všech možných tvarů jsem nakonec zvolil model s jedním spojovacím pilířem uprostřed. Ačkoliv poměrně malá, tato výztuha řeší problémy s tuhostí sestavy, a přitom umožňuje ponechat vizuální oddělení středu. Možnosti s více spojovacími prvky jsem zavrhl kvůli složitosti výroby.



Obr. 3-42 Různé pohledy na finální tvar

3.8 Pozicování pádel

Jak bylo zmíněno v části 3.2.1, na volantu budou 4 nezávislá pádla, kterými se ovládají některé z funkcí. Vytvořil jsem si několik délek pádel a testoval je vůči sobě. Nakonec jsem vybral kombinaci, při které jsou obě pádla dobře dosažitelná, ale zároveň nepřekáží při úchopu volantu ani v rukavicích.

Horní set pádel je navržen tak, aby se dal ovládat ukazováčkem a prostředníčkem. Spodní set pak spadá do dosahu prsteníčku a malíčku. Protože horní dva prsty jsou u většiny populace schopnější než spodní, menší prsty (9), horní pádla kontrolují důležitější funkci. Spodní pádla pak slouží pro méně důležitou například telemetrii.



Obr. 3-43 Testování pozic pádel

3.9 Návrh otočných knoflíků enkodérů

Enkodéry mohou rozdělit do 3 skupin, enkodéry hlavní, tedy ARB a BB, PAR enkodéry a DSH navigační enkodéry. U každá z těchto skupin vyžadovala trochu jiný přístup, který rozepíšu v následujících odstavcích.

3.9.1 Hlavní enkodéry

Hlavní enkodéry používají tělo Bourns PAC18R, více popisované v analytické části. Enkodéry mají 16 kroků, stejný počet kroků mají podle nich i parametry, které řídí. 16 kroků má tedy rozložení rekuperačních výkonů, a i tuhost stabilizační tyče. 16 jsem tedy použil i jako číslo výstupků, za které může pilot enkodér otáčet. V každé prohlubni je číslo, které odpovídá zvolené hodnotě. Čísla jsou sice malá a za jízdy nečitelná, ale dovolí si pilotovi nastavit hodnoty před jízdou, nebo při výměně pilotů v Endurance disciplíně. Během jízdy se zvolená hodnota zobrazuje ve vyskakovacím okně na DSH. Dalším požadavkem na čepičku enkodéru je mechanická záračka. Ta zamezí možnosti protočit snímač přes poslední hodnotu zpět k první, nebo naopak.

Rozhodoval jsem se mezi zakulacenými vroubkami a vroubkami zkosenými. Nakonec jsem vybral vroubkami se zkosením, které hezky kontrastuje zbytku volantu, který je organický a plynulý.

3.9.2 PAR enkodéry

U PAR enkodéru nastává situace, kdy pravý je absolutní a levý relativní. Díky této rozdílnosti se dají PAR enkodéry přizpůsobit širšímu množství parametrů. I u relativního enkodéru jsem nechal 16 výstupků, aby byl volant symetrický. Pravý má ale daná čísla a záračku, zatímco levý slouží pro přidávání či ubírání hodnoty a nemá žádné dané pozice.

Vzhled vroubků jsem přenesl z hlavních enkodérů. Tyto kryty jsou o něco širší, než kryty enkodérů ARB a BB. Šířka přináší více versatility pro různé délky palců lidí používajících tento volant.

3.9.3 DSH enkodéry

Poslední skupinou jsou enkodéry sloužící k navigaci menu na DSH. Na rozdíl od ARB, BB a pravého PAR otočného switchu, nemají dané hodnoty. Počet vroubků jsem tedy mohl zvolit jakýkoliv. Symbolicky jsem tedy vybral číslo 25, podle označení vozu CTU.25. Odlišností je i límeček, který tyto knoflíky mají. Slouží pro zapření prstu při využití mačkákové funkce těchto relativních enkodérů, která slouží jako signál pro potvrzení volby v menu.

4. Grafické prvky

V tomto oddíle chci zobrazit všechny nehmotové vizuální prvky. Tyto prvky jsem rozdělil na estetické, kam patří identita týmu a na infografické, které zajišťují porozumění a čitelnost funkcí ovládacích prvků volantu.

4.1 Týmová identita

4.1.1 Loga eForce

Tým eForce Prague Formula se prezentuje logy vyobrazenými níže. Jedná se o jednoduché typografické logo na základě bezpatkového písma s jednotnou šířkou znaků. Hlavním identifikačním aspektem loga je písmeno E, které je složeno ze znaménka plus a dvou znamének mínus. + a - odkazují na kladný a záporný náboj, které jsou základem funkce veškeré elektroniky.



Obr. 4-1 Logo eForce E, autor současné verze: Martin Boukal



Obr. 4-2 Logo eForce plné, autor současné verze: Martin Boukal

4.1.2 Barvy eForce

Barvy, které tým a jeho vozy nosí vychází z historických barev týmu CarTech, který se po hádkách o červené a modré barvě usnesl na kompromisu v podobě červené barvy na pravé straně a modré levé strany. Při spojení obou týmů pak z eForce zůstal název a z CarTechu právě koncepce livery.



Obr. 4-3 Fotografie vozu CTU.25 z jeho rolloutu na Vltavě, autor: tým eForce

4.2 Použití týmových znaků v návrhu

4.2.1 Vsazení loga

Obě varianty loga jsem zkoušel pohybovat různě po volantu, jak lze vidět na přiloženém obrázku.



Obr. 4-4 Variace loga na volantu

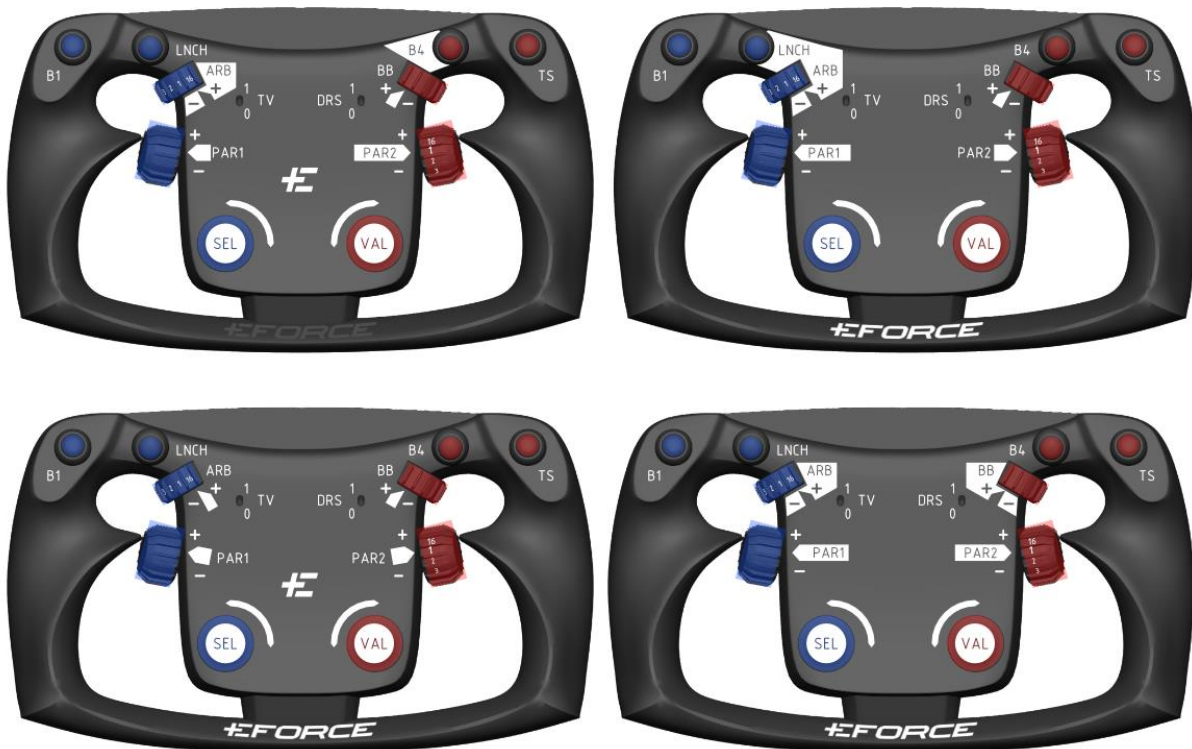
Ze všech verzí jsem se rozhodl pro verzi uprostřed pole na obrázku. Logo na střední části mi nepřijde jako nejlepší řešení, protože je potřeba tam přidat velké množství popisků k ovládacím prvkům. Verze vpravo nahoře počítá s gravírováním do plexiskla, což by ale mohlo zhoršit viditelnost. Logo bude zakomponováno přímo do laminované části v podobě přibližně 0,5 mm výstupku.

4.2.2 Zpracování barev týmu

Barvy rozdělují podle strany auta, tedy červená po pilotovo pravici a modrá po levici, jak bylo zmíněno v odstavci o týmových barvách. Barva se mi promítá do enkodérů a čepiček tlačítek, která jsou na díle použita. Případně by se barva dala vložit ještě do stehů pošíť, pokud by bylo aplikováno.

4.3 Označení ovládacích prvků

Jak jsem avizoval ve více předchozích částech textu, všechny tlačítka, páčky a přepínače jsou programovatelné pomocí STW jednotky a nemají striktně danou funkci. Pro výstup z práce budu uvažovat funkce rozepsané v kapitole „prvotní skici.“ Popisky jsem směřoval hlavně na čitelnost, během jízdy se předpokládá, že pilot popisky číst nebude a už z předešlých testování bude vědět, jaké tlačítko dělá co.



Obr. 4-5 Variace grafického popisu ovládacích prvků



Obr. 4-6 Finální návrh grafiky

Zkoušel jsem několik možností pro značení. U těchto návrhů jsem se potýkal s problémem zahuštění. Problém vyplývá z nahromadění ovládacích prvků okolo palce, což je jediný prst, který z přední strany volantu může interagovat s jakýmikoliv elementy.

Finální návrh je spíše jednodušší, aby nerozptyloval pilota při jízdě. Zachoval jsem asymetrii u značení PAR enkodérů, abych symbolizoval jejich odlišnost, kdy jeden je relativní a druhý absolutní.

5. Rendery



Obr. 5-1 Finální render



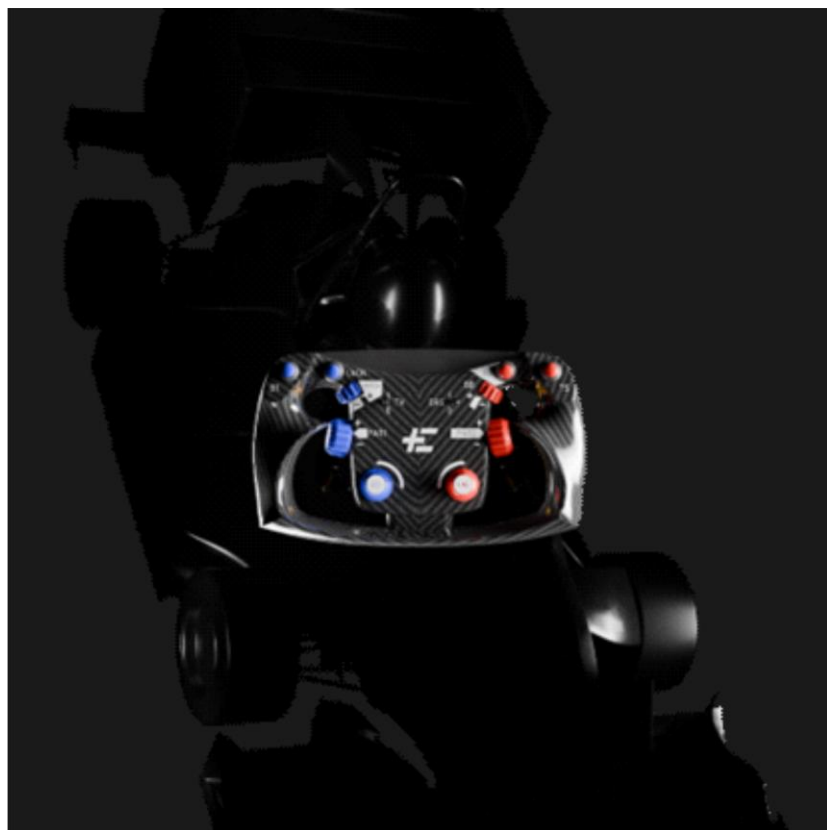
Obr. 5-2 Render 1



Obr. 5-3 Render 2 zadní pohled



Obr. 5-4 Render 3

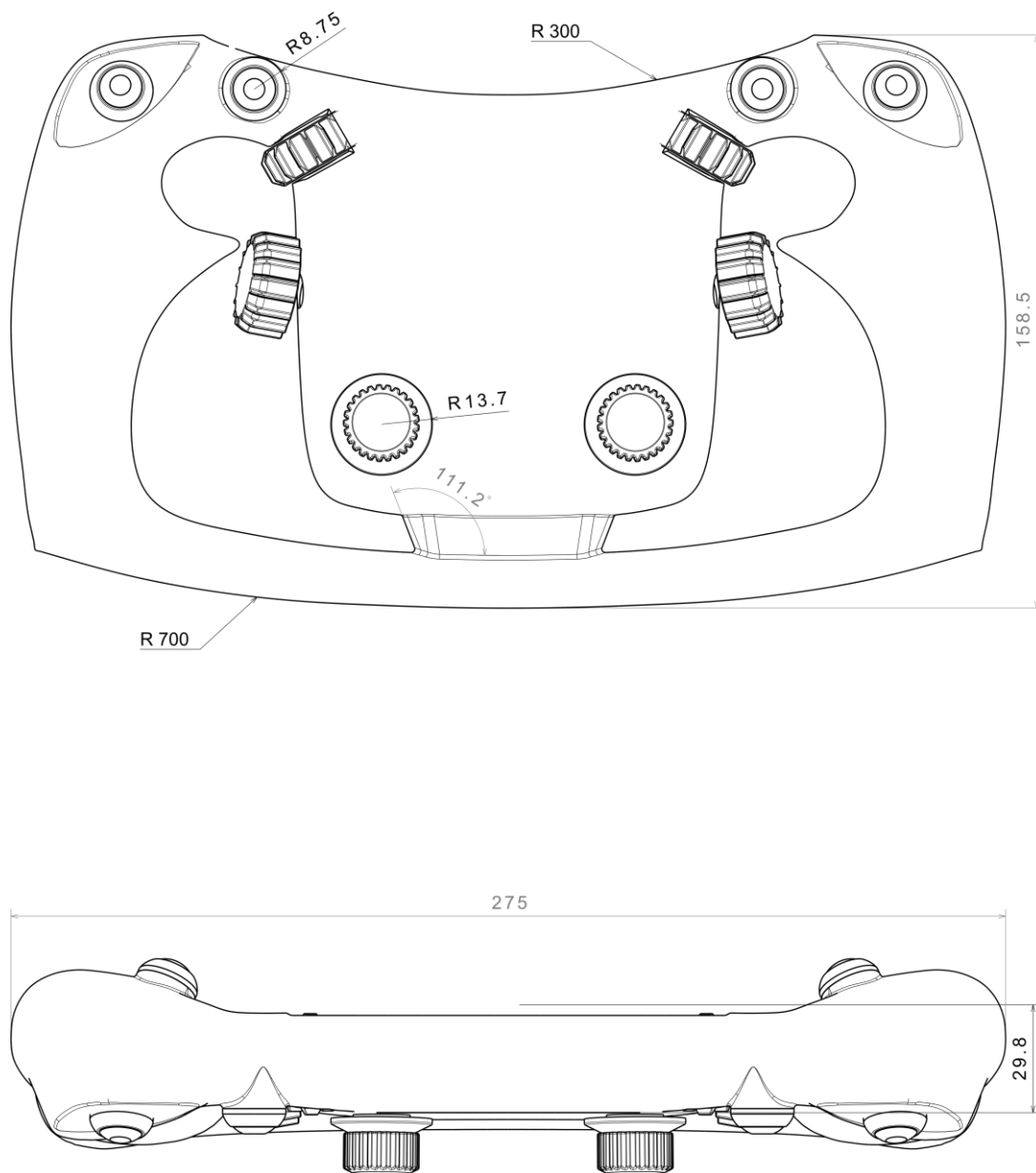


Obr. 5-5 Render 4 v popředí modelu auta CTU.25

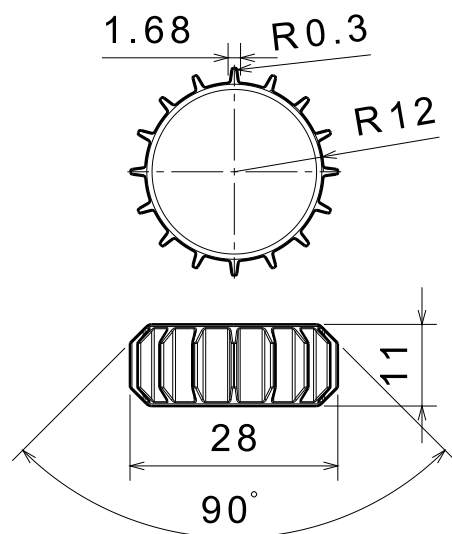
6. Technická dokumentace

6.1 Výkres

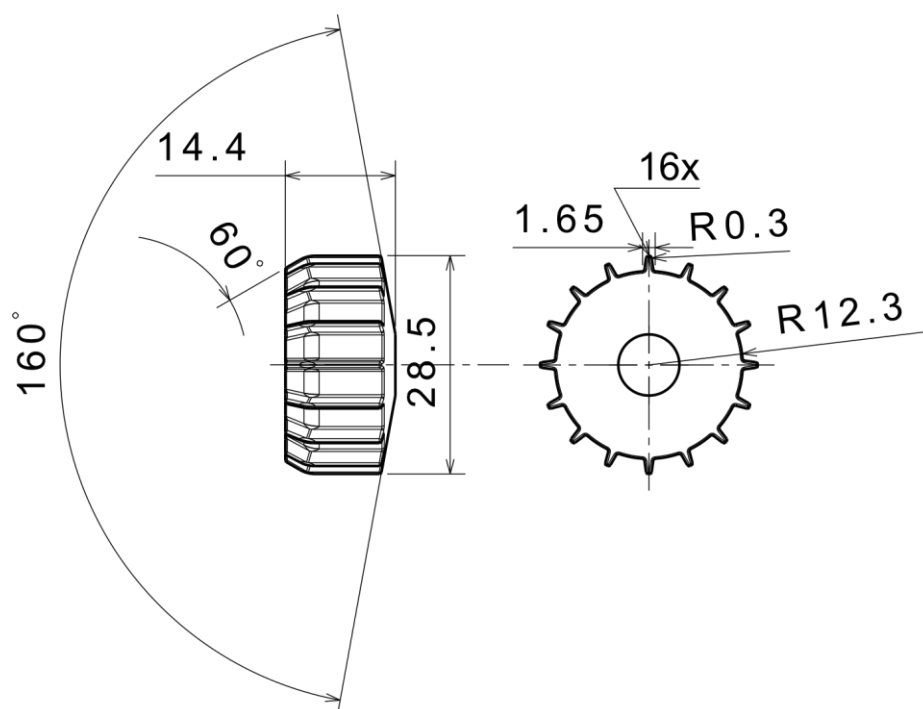
Základní rozměrový výkres volantu



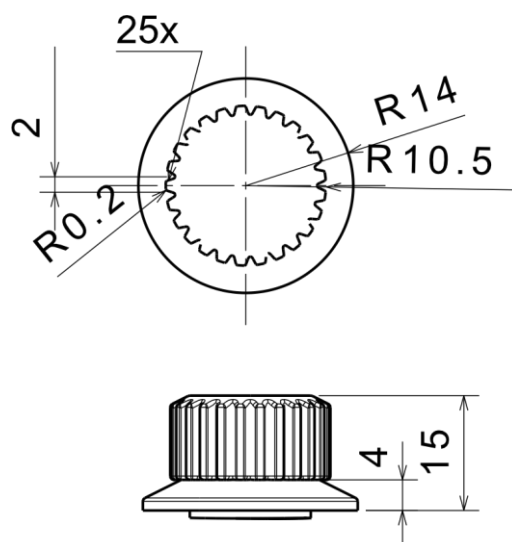
Obr. 6-1 Rozměrový výkres volantu v měřítku 1:2



Obr. 6-2 Výkres ARB knoflíku 1:1



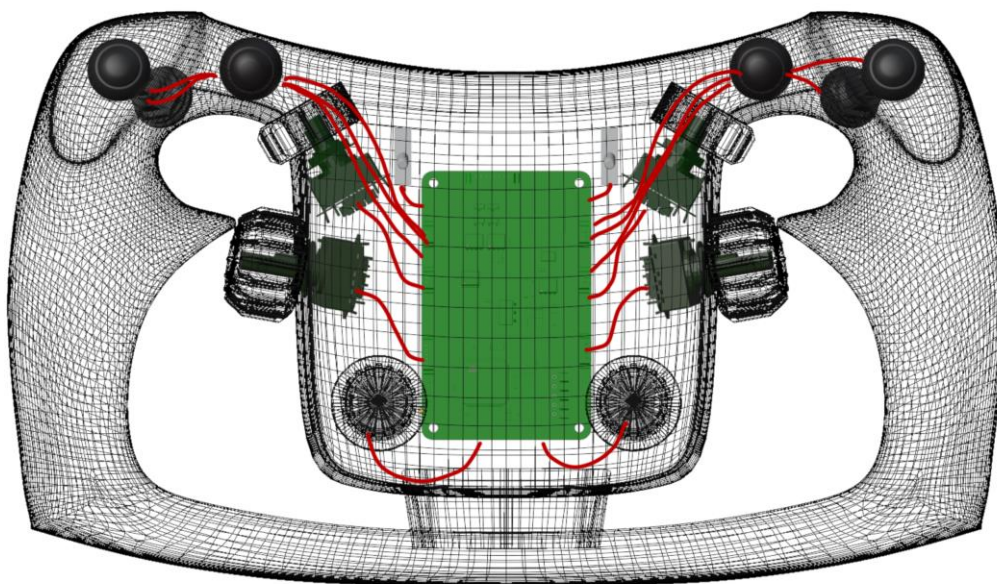
Obr. 6-3 Výkres PAR knoflíku 1:1



Obr. 6-4 Výkres DSH knoflíku 1:1

6.2 Vnitřní zástavba

Vnitřní prostor volantu je využit pro uschování veškerých komponent. K dostání do prostoru slouží odnímatelné víčko, na kterém je přidělaná deska. S víčkem se vyndávají i dva spodní enkodéry. K tlačítkům není přímý přístup, ale dají se odšroubovat zvenku a jen se dírou vytáhne ven konektor. 4 enkodéry starající se o parametry jsou přidělané pomocí matice a dají se vyndat právě skrz víko vnitřního prostoru. Rychlospojka je upevněna na protější straně pomocí 3 M5 šroubů.



Obr. 6-5 Obrázek vnitřní zástavby s ručně dokreslenou kabeláží

7. Výroba

7.1 Materiály

7.1.1 Materiál těla

Samotné tělo volantu je vyrobeno z uhlíkových vláken. Na aplikaci, jako je tato, tedy tenkostěnný díl, který musí být hodně tuhý, jsou kompozity tím nejlepším řešením. Uhlíkové kompozity jsou mnohonásobně tužší než třeba ocel při násobně nižší hustotě. Kompozity bychom jistě viděli úplně všude, pokud by nebylo také množství nevýhod. První nevýhodou je cena, která je násobně vyšší než třeba hliníku. Dále musím zmínit, že jejich vlastnosti platí pouze ve směru vláken, jedná se tedy o anizotropní materiál. Velkým mínusem je také enviromentální dopad výroby a likvidace uhlíkových komponentů. (10) Přes všechny své nevýhody se uhlíkové kompozity hojně využívají v aerospace průmyslu, motorsportu a dalších náročných oblastech.

Protože i v mém případě je velký tlak na hmotnost čehokoliv, co na auto přijde, rozhodl jsem se v tomto případě pro uhlíková vlákna. Pokud by šlo o volant například pro závodní simulátory, zvolil bych spíše vstřikování plastu, které v případě větší série není tak škodlivé.

Uhlíkových tkanin je několik druhů, pro výrobu volantu budu využívat takzvanou keprovou vazbu, která se skvěle tvaruje a je tak vhodným kandidátem pro takto složitý tvar.

7.1.2 Materiál enkodérů

Knoflíky ovládacích spínačů jsem se rozhodl vytisknout na 3D tiskárně. Hlavním důvodem je dostupnost a možnosti tvarů. Další možností by bylo frézování z hliníku a následný elox, ale z ekonomického hlediska nedává takový smysl.

Materiál pro 3D tisk jsem zvolil PETG. PETG je chemicky i teplotně odolné, zároveň je houževnaté a dobře odolává nárazům a otěrům. (11) Díky jeho rozšířenosti je také dostupné ve velké plejádě odstínů barev, a tak mi dovoluje přenést červeno modrou identitu týmu i na volant.

7.1.3 Materiál pádel

Pádla jsem se rozhodl vyrobit opět z uhlíkových vláken. Místo tradiční vázané tkaniny jsem zvolil takzvané sekané vlákno. Lépe se s ním pracuje na malých dílech a svou odlišnou strukturou graficky odlišuje pádla od zbytku volantu. Ve směru ohybu do pádel je v pádlech ještě jednosměrný uhlík, který pomůže proti ohybu.

7.1.4 Materiál úchopů

Dost možná nejdůležitější volba, co se materiálu týče. Správný materiál je naprosto potřebný, pokud má pilot předvést ten nejlepší výkon. V době psaní BP bohužel ještě nemám zcela jasno, ale projednávám možnost pošíť alcantarou, která by měla nabízet nejlepší sílu úchopu. Alcantara je skvělá v kombinaci s našimi závodními rukavicemi se silikonovými polštářky. (12)

7.2 Metoda výroby a formy

7.2.1 Způsob laminace

Aby všechny kontury a hrany volantu vynikly, rozhodl jsem se použít laminační metodu zvanou prepreg. Spočívá v tom, že na rozdíl od např. mokré laminace jsou vlákna prosycena pryskyřicí předem. Díky tomu je tkanina méně náchylná na rozplétání a výsledný výrobek z pravidla vypadá lépe, než kdyby byl vyráběn mokrou laminací. Prepregy jsou také běžně vkládány do autoklávu, kde pomocí přetlaku, který asistuje vakuu v pytli, dojde k perfektnímu dotlačení všech elementů výrobku. (13)

Z vlastní zkušenosti s ostatními druhy laminace, s mokrým skládáním a infuzí, mohu potvrdit, že ani jedna metoda nezaručí takové výsledky jako právě prepreg.

7.2.2 Formy

Na vytvrzení prepregové pryskyřice je potřeba teploty okolo 120 °C. Formy ze dřeva, nebo PLA, které používáme při ostatních druzích laminace, tak nejsou vhodné. Řešením je výroba uhlíkové formy pomocí 3D tištěného kopyta. Protikus se musí povrchově upravit, aby odpovídal požadavkům na kvalitu finálního dílu, jelikož forma na sebe přenesla stejnou kvalitu povrchu. Uhlíkové formy mají skvělou tepelnou stabilitu, a navíc se uhlík ve formě roztahuje a smršťuje stejně jako uhlík laminovaného dílu.

V našem týmu se již několik let vyrábí uhlíkové formy na monokok našeho vozu, takže zkušenosti se předávají mezi členy.



Obr. 7-1 Fotografie uhlíkových forem pro jiný díl formule, které jsem vyráběl

Forma musí být třídílná, spodní část, vrchní část a poté odsazená mezičást na lepení dohromady. Čtvrtá forma je potřebná na víčko vnitřního prostoru.

8. Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo navrhnout a vyrobit nový volant pro studentské formule týmu eForce Prague Formula. Na tento projekt jsem využil velké množství znalostí, které jsem průběžně během studia sbíral, ať už na přednáškách, cvičeních, či právě na dílně, kde jsem strávil nesčetné hodiny návrhem a výrobou aerodynamického balíčku.

Nechtěl jsem, aby z mé bakalářské práce byl jediným výstupem statický model, proto jsem se rozhodl pro tento projekt, který mi dovolil svůj návrh rovnou realizovat. Za realizaci bych ještě jednou chtěl poděkovat týmu eForce, díky kterému mám veškeré zázemí pro uskutečnění takto náročného úkolu. Tím, že jsem věděl, že musím předmět své práce i vyrobit, jsem si dával větší pozor na detaily a měl jsem celou věc založenou na pevném základu. Už při návrhu jsem myslel na výrobní technologie a jejich limitace.

Ačkoliv mé prvotní představy byly trochu jiné, myslím si, že finální návrh je velice povedený a esteticky i ergonomicky dobře zpracovaný. Doufám, že můj návrh bude pilotům vyhovovat a pomůžu tak týmu o kus blíže na stupně vítězů.



Obr. 8-1 Fyzické prototypy pohromadě

9. Zdroje

1. Formula Student. *Institution of Mechanical Engineers*. [Online] 2025. [Citace: 8. Květen 2025.] <https://www.imeche.org/events/formula-student/about-formula-student/ross-brawn-patron>.
2. Laban, Brian. *Cars: The Early Years*. Cologne : Konemann, 2000.
3. Mansell, Scott. YouTube. *The Incredible Evolution of F1 Steering Wheels*. [Online] Driver61, 3. Prosinec 2022. [Citace: 6. Duben 2025.] <https://www.youtube.com/watch?v=mBlaUR-eUys>.
4. Formula Student Germany. *Rules and Documents*. [Online] 8. Říjen 2024. [Citace: 17. Leden 2025.] <https://www.formulastudent.de/fsg/rules>.
5. Sharpe, Alexander. Mouser Electronics. *TE Connectivity / Alcoswitch PB6B2FM6M2CAL00*. [Online] 22. Únor 2018. [Citace: 10. Květen 2025.] https://cz.mouser.com/datasheet/2/418/6/ENG_CD_2329383_2-1316957.pdf.
6. Wuerth Elektronik. *WS-ENTV Mechanical Incremental*. [Online] 5. Květen 2021. [Citace: 10. Květen 2025.] <https://www.w-online.com/components/products/datasheet/482009514001.pdf>.
7. Mouser Electronics. *Bourns PAC18R1-43D19F*. [Online] [Citace: 10. Květen 2025.] <https://eu.mouser.com/datasheet/2/54/pac18r-2511013.pdf>.
8. De Novellis, Leonardo, a další. Torque Vectoring for Electric Vehicles with Individually Controlled Motors: State-of-the-Art and Future Developments. *EVS 2012 26th Electric Vehicle Symposium*. místo neznámé : EVS, 2012. 10.3390/wevj5020617.
9. Ingram, J. N., a další. The statistics of natural hand movements. *Experimental brain research*. 2008, Sv. 188.
10. Masuelli, Martin. Introduction of Fibre-Reinforced Polymers – Polymers and Composites: Concepts, Properties and Processes. *Fiber Reinforced Polymers - The Technology Applied for Concrete Repair*. místo neznámé : InTech, 2013.
11. Wickstrom, Sara. UltiMaker. *PETG vs PLA vs ABS: 3D Printing Strength Comparison*. [Online] UltiMaker, 21. Březen 2025. [Citace: 20. květen 2025.] <https://ultimaker.com/learn/petg-vs-pla-vs-abs-3d-printing-strength-comparison/>.
12. Driftworks, Team. Which steering wheel grip material should I buy? *Drift Works*. [Online] Drift Works, 9. Srpen 2024. [Citace: 21. Květen 2025.]

<https://www.driftworks.com/eu/articles/guides-featured-products/which-steering-wheel-grip-material-should-i-buy.html?srltid=AfmBOooaaHGr52MP30cvdly9QECL0uhTT4h3l6d3YC0VM37gEmj5Q860>.

13. Mulat Alubel Abtew, François Boussu, Pascal Bruniaux, Carmen Loghin, Irina Cristian,. Composite fabrication and joining. *Ballistic impact mechanisms – A review on textiles and fibre-reinforced composites impact responses*. 2019. 223. 0263-8223.

10. Seznam obrázků

Obr. 1-1 Volanty vozů Mercedes, 70 let od sebe https://www.formula1-dictionary.net/Images/steering__wheel.jpg	16
Obr. 2-1 Obrázek tlačítka použitého na volantu, https://mm.digikey.com/Volume0/opasdata/d220001/medias/images/321/PB6B2FM7M1CAL00.jpg	18
Obr. 2-2 Relativní enkodér použitý na volantu, https://www.wonline.com/components/media/o127908v209%20Family__WS-ENTV__482020714001.jpg	18
Obr. 2-3 Absolutní enkodér PAC18R, https://eu.mouser.com/images/bourns/sm/PAC18R__SPL.jpg	19
Obr. 2-4 Rychlospojka KRONTEC QR-03, https://evilspeed.eu/cdn/shop/files/Krontec-QR-03-7.jpg?v=1722584967&width=1000	20
Obr. 2-5 Fotografie DSH v autě CTU.24	21
Obr. 2-6 Fotografie volantu CTU.24	23
Obr. 2-7 Poloha rukou při plném zatočení s volantem CTU.24	24
Obr. 2-8 Zhodnocení dosažitelnosti na ovládací prvky	24
Obr. 2-9 Volant FS.15 na snímku obrazovky	25
Obr. 2-10 Odstrojený FSE.12 volant, nyní používaný pro týmový simulátor	26
Obr. 2-11 Nabídka FS volantů firmy Racetech, https://race.parts/catalogue/image.aspx?img__id=57c66a36-ef2d-4a1d-b63d-a61801093865	27
Obr. 2-12 Volant F1 týmu Mercedes-AMG Petronas, https://www.thedrive.com/wp-content/uploads/content-b/message-editor/1623170106242-m264765.jpg?strip=all&quality=85	28
Obr. 2-13 Volant Formule E, https://www.racecar-engineering.com/wp-content/uploads/2013/09/upsprak2.jpg	29
Obr. 2-14 Histogram četnosti zatáček v soutěži FS, zdroj: data týmu	29
Obr. 2-15 Graf četnosti natočení volantu ve stupních, zdroj: data týmu	30

Obr. 3-1 Volant auta Aston Martin Valkyrie, https://www.topgear.com/sites/default/files/2023/03/3-Aston-Martin-Valkyrie.jpg?w=1784&h=1004	31
Obr. 3-2 Volant traťové hračky Bugatti Bolide, https://pbs.twimg.com/media/F__i-NXGX0AE1Ev-?format=jpg&name=4096x4096	32
Obr. 3-3 Volant Lamborghini Essenza SCV12 na simulátory MOZA, https://mozaracing.com/wp-content/uploads/2024/10/Automobili-Lamborghini-Squadra-Corse-Essenza-SCV12-Sim-Racing-Steering-Wheel-3.avif	32
Obr. 3-4 Základní skica volantu s předběžným rozmístěním tlačítek a dalších prvků	33
Obr. 3-5 Rozdělení funkcí podle četnosti použití za jízdy	33
Obr. 3-6 Jedna z prvotních skic	35
Obr. 3-7 Skica v perspektivě	35
Obr. 3-8 Skica podkladové desky pro modelování	36
Obr. 3-9 Fotografie prvního modelu	37
Obr. 3-10 Testování verze 2 v CTU.24, nastavení nejvyššího položení	37
Obr. 3-11 Kontrolní test s volantem CTU.24	38
Obr. 3-12 Test nejvyšší polohy pilot 1	38
Obr. 3-13 Test nejvyšší polohy pilot 2	39
Obr. 3-14 Testování nejvyšší polohy pilot 3	39
Obr. 3-15 Zobrazení modelu s jinými postaveními prvků nalevo a napravo	40
Obr. 3-16 Schematický popis vnitřní zástavby enkodérů	40
Obr. 3-17 Fotografie modelu verze 3	41
Obr. 3-18 Verze 4 modelu, předěláno z verze 3	42
Obr. 3-19 Fotografie V5 hmoty úchopu	42
Obr. 3-20 Fotografie finálního tvarového konceptu	43
Obr. 3-21 Porovnání pozice a směru ovládní mezi V2 a finální verzí	44
Obr. 3-22 Fotografie mě skenujícího model ramenem	45
Obr. 3-23 Vlevo sken fyzického modelu, vpravo verze přemodelovaná pomocí SubD	45
Obr. 3-24 Podklad pro skici	46
Obr. 3-25 Skici volantu 1	46
Obr. 3-26 Skici volantu 2	47
Obr. 3-27 Skici volantu 3	47
Obr. 3-28 Několik verzí prvních 3D reprezentací odvozených ze skic, vlevo volant FS.15 pro srovnání	48
Obr. 3-29 Vytištěná verze 7 s gripy oblepenými lemovou páskou a osazená dalšími testovacími přípravky	49
Obr. 3-30 Já v CTU.24 testující V7	49
Obr. 3-31 Test natočení v nejčastější poloze s V7	50

Obr. 3-32 Testování ovladatelnosti některých z prvků	50
Obr. 3-33 Znázornění ohybu V7	51
Obr. 3-34 3D tištěná V8	51
Obr. 3-35 Model verze 9	52
Obr. 3-36 Tlačítko 1	53
Obr. 3-37 Tlačítko 2	53
Obr. 3-38 Tlačítko 3	53
Obr. 3-39 Enkodér 1	54
Obr. 3-40 Enkodér 2	54
Obr. 3-41 Další ideace 3D tvarů, zaměření hlavně na spoj středu a věnce	55
Obr. 3-42 Různé pohledy na finální tvar	56
Obr. 3-43 Testování pozic pádel	57
Obr. 4-1 Logo eForce E, autor současné verze: Martin Boukal	58
Obr. 4-2 Logo eForce plné, autor současné verze: Martin Boukal	58
Obr. 4-3 Fotografie vozu CTU.25 z jeho rolloutu na Vltavě, autor: tým eForce	59
Obr. 4-4 Variace loga na volantu	59
Obr. 4-5 Variace grafického popisu ovládacích prvků	60
Obr. 4-6 Finální návrh grafiky	61
Obr. 5-1 Finální render	62
Obr. 5-2 Render 1	63
Obr. 5-3 Render 2 zadní pohled	63
Obr. 5-4 Render 3	64
Obr. 5-5 Render 4 v popředí modelu auta CTU.25	64
Obr. 6-1 Rozměrový výkres volantu v měřítku 1:2	65
Obr. 6-2 Výkres ARB knoflíku 1:1	66
Obr. 6-3 Výkres PAR knoflíku 1:1	66
Obr. 6-4 Výkres DSH knoflíku 1:1	67
Obr. 6-5 Obrázek vnitřní zástavby s ručně dokreslenou kabeláží	67
Obr. 7-1 Fotografie uhlíkových forem pro jiný díl formule, které jsem vyráběl	70
Obr. 8-1 Fyzické prototypy pohromadě	71

Všechny obrázky bez zdroje či autora pochází z vlastní tvorby.