



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

FORMULA STUDENT VERSENYAUTÓ KORMÁNYKERÉK TERVEZÉSE

Készítette: Hajdu Bence György

G8SEAV

BSc Gépészmérnök

járműtechnika szakirány

Konzulens: Dr. Molnár Ildikó

egyetemi docens



ÓBUDA UNIVERSITY RACING TEAM

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	2
2. A Formula Student versenysorozat bemutatása	4
2.1. A kormánykerékre vonatkozó szabályok	5
3. A kormánykerék feladatai és igénybevételei	8
4. A kormánykerék ergonómiája.....	10
5. Az első kormánykerék megtervezése (2023 OUR 001 „FSV 1”)	11
5.1 OUR 001 kormánykerék koncepciója	11
5.2 OUR 001 kormánykerék felépítése	12
5.3 OUR 001 kormánykerék gyártása	14
5.3.1 Felhasznált anyagok.....	15
5.3.2 Gyártási folyamat	16
5.4 OUR 001 kormánykerék összeállítása	21
6. A második kormánykerék megtervezése (2024 OUR 002 „TUCAN”).....	22
6.1 OUR 002 kormánykerék koncepciója	22
6.2 OUR 002 kormánykerék felépítése	23
6.3 OUR 002 kormánykerék gyártása	36
6.3.1 Felhasznált anyagok.....	36
6.3.2 Gyártási folyamat	37
6.4 OUR 002 kormánykerék összeállítása	37
7. Összefoglalás	39
8. Irodalomjegyzék	40

1. Bevezetés

Szinte mindenkinél előfordult már az, hogy valamilyen készüléknek a távirányítója a kezében maradt és elkezdte keresni merre van miközben egész végig a kezében tartotta azt. Ez miért történhet meg? Mert annyira természetes a fogása az eszköznek, hogy pillanatok alatt bele lehet feledkezni, hogy egyáltalán tart -e az ember valamit a kezében. A kormánykerekek megtervezésénél ennek a hatásnak az elérésére törekedtem, hogy majd az, aki vezeti az autót pillanatok alatt természetesnek érezze a fogását és a lehetőségekhez mérten maximális kényelmet nyújtson számára a vezetés közben.

Egy versenyautóban a pilótának elsősorban a pályára, a környezeti hatásokra, az autó viselkedésére, a csapattól és a versenybíróktól érkező információkra, illetve a többi versenyzőre kell figyelnie. Ezek azok a kiemelt tényezők, amikre egy pilóta koncentrálni a vezetés közben. Ha ezek a precíz figyelmet igénylő dolgok közé bekerül egy számára kényelmetlen alkatrésznek a használata, akkor pilótától függően, kis vagy akár nagy mértékben, csökken a koncentráció. Továbbá csökkenteni fogja a saját, illetve az autóból kihozható maximális teljesítményt.

A motorsport és az autók világa kiskorom óta részei az életemnek. Már gyerekkoromban is, amikor ceruza volt a kezemben szinte minden alkalommal autókat rajzoltam és építettem a kis építőkockákból, ami hatalmas örömet okozott számomra. Ezeknek a tevékenységeknek köszönhetően már fiatal koromban lehetőségem volt a kreatív ötleteimnek a megvalósítása. A mérnöki innovációk a különböző versenysorozatokban (Formula 1, WEC, WRC) mindig is lenyűgöztek, ezért is szeretnék majd ebben a világban tovább fejlődni és dolgozni.

Az első félévben a Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Karon, 2021 szeptemberében, éltem is a lehetőséggel és csatlakoztam az Óbudai Egyetem Formula Student versenycsapatához, az Óbuda University Racing Team-hez (OUR Team). A csapatban a mérnöki tanulmányaim ellenére eleinte a marketinges és menedzsmentes feladatokat láttam el, mert mindig is ki szerettem volna próbálni hogyan kell a különböző cégekkel és nagyvállalatokkal kommunikálni üzleti szinten. Továbbá még jobban szerettem volna elmélyíteni a grafikus tudásomat az arculat fejlesztésével és a nyomtatványok tervezésével.

A csapat fejlődésével együtt én is nagyon sokat tanultam és fejlődtem, aminek köszönhetően a Marketing részleg (korábban Arculat részleg) majd az Operatív osztály vezetője lettem. Az Operatív osztály felel a csapatban a statikus versenyszámokért, a marketingért és a menedzsmentért.

Mindezen érdekes feladatok ellenére fontosnak tartottam, hogy mérnökhallgatóként én is kivegyem a részem a műszaki fejlesztésekből. Így a kormánykeréknek a megtervezését választottam és vállaltam el a Járműdinamika osztálynak a Kompozit részlegén belül.

A 3D modellezést és a műszaki rajzolást a SolidWorks CAD szoftverben valósítottam meg. A prototípusok, a gyártási segédformák és a második kormány belső szerkezete 3D nyomatóval kerültek legyártásra. Mindkét általam tervezett kormánynak a külső szénszálas kompozit burkolata az Óbudai Egyetem Bánki Karának a kompozit műhelyében készült el.

2. A Formula Student versenysorozat bemutatása

A Formula Student versenysorozatban különböző felsőoktatási intézmények hallgatói mérik össze a tudásukat egy együléses, (angolul: single seater) nyitott karosszériájú (angolul: open-wheel) Formula stílusú versenyautó megépítésével és versenyeztetésével. (1. ábra)



1. ábra: OUR 001 „FSV 1”

A versenyt világszerte több országban is megrendezik. Régióként a szabályok kisebb mértékben eltérhetnek egymástól. Közép-Európában jellemzően a Formula Student Germany által megírt szabályzatot alkalmazzák. A verseny bemutatására példának a magyar Formula Student East-et veszem alapul [1].

A versenyre több kategóriába lehet autót építeni:

- CV – belsőégésű motorral meghajtott jármű
 - Hybrid – elektromos hajtással kiegészített belsőégésű motorral meghajtott jármű
- EV – elektromos motorral meghajtott jármű
- DV – önvezető jármű (CV+EV)

A verseny két részből áll. Egy statikus és egy dinamikus részből. A statikus versenyszámokban a hallgatók a gazdasági, marketinges és menedzsmentes tudásukról adhatnak számot, míg a dinamikus versenyszámoknál a műszaki tudásukról.

Statikus versenyszámok:

- Business Plan Presentation Event (CV+EV+DV)
- Cost and Manufacturing Event (CV+EV+DV)
- Engineering Design (CV+EV+DV)

Dinamikus versenyszámok:

- Skidpad (CV+EV+DV)
- Acceleration (CV+EV+DV)
- Autocross (CV+EV+DV)
- Endurance (CV+EV)
- Efficiency (CV+EV)
- Trackdrive (DV)

A 2023 Formula Student East versenyre a csapat első generációs autójával kijutottunk. A statikus versenyszámok közül a Business Plan Presentation Event CV kategóriájában a 12. helyezést értük el a 22-ből.

2.1. A kormánykerékre vonatkozó szabályok

A Formula Student Germany 2024-es szabályzata több pontban is kitér a kormánykerékre (angolul: steering wheel) és a kormányműre (angolul: steering system). Az alábbi kiemelt pontokat figyelembe véve kell megtervezni az alkatrészt: [2]

„**T 2.8.2** The steering wheel must directly mechanically actuate the front wheels.” [3]

- *Magyarul:* A kormánykeréknek közvetlenül mechanikusan kell működtetnie az első kerekeket.

„**T 2.8.4** Allowable steering system free play is limited to a total of 7° measured at the steering wheel.” [3]

- *Magyarul:* A kormánykeréknél mért legnagyobb megengedhető kormányzási holtjáték 7° lehet.

„T 2.8.5 The steering wheel must be attached to the column with a quick disconnect. The driver must be able to operate the quick disconnect while in the normal driving position with gloves on.” [3]

- *Magyarul:* A kormánykeréknek gyorscsatlakozós kialakítással kell csatlakoznia a kormányoszlophoz. A pilótának az autóban ülve kesztyűt viselve képesnek kell lenni a gyorscsatlakozót szétkapcsolni rövid idő alatt.

„T 2.8.6 The steering wheel must be no more than 250 mm rearward of the front hoop. This distance is measured horizontally, on the vehicle centerline, from the rear surface of the front hoop to the forward most surface of the steering wheel with the steering in any position.” [3]

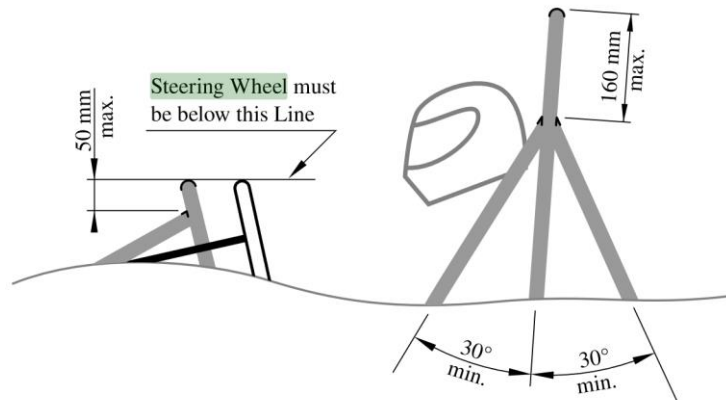
- *Magyarul:* A kormánykerék nem lóghat ki 250 mm -nél távolabb a váz front hoop elemétől. Ezt a távolságot horizontálisan mérik a jármű középvonalán a váz front hoop elemének a hátsó felületétől a kormánykerék legelülső felületéig. Bármilyen kormányzási pozícióban elvégezhető a mérés.

„T 2.8.7 The steering wheel must have a continuous perimeter that is near circular or near oval. The outer perimeter profile may have some straight sections, but no concave sections.” [3]

- *Magyarul:* A kormánykerék alakjának egy folytonosan körhöz vagy oválshoz kell hasonlítani. A külső profil „sziluett” tartalmazhat egyenes szakaszokat, de nem lehetnek benne konkáv részek.

„T 2.8.8 In any angular position, the top of the steering wheel must be no higher than the top-most surface of the front hoop.” [3]

- *Magyarul:* A kormánykerék beszerelt állapotban vizsgált legmagasabb pontja minden kormányzási szögben a váz front hoop elemének legfelső pontja alatt kell, hogy elhelyezkedjen.



2. ábra: A vázra és kormánykerékre vonatkozó méretezési szabályok (T3.11.4) [3]

„**T 2.8.10** Joints between all components attaching the steering wheel to the steering rack must be mechanical and visible at technical inspection. Bonded joints are allowed in accordance with T 3.2.8.” [3]

- *Magyarul:* A kormánykereket a kormányművel összekötő csatlakozási pontoknak mechanikusnak és egy műszaki vizsgálaton jól átláthatónak kell lenniük. A ragasztott kötések megengedettek a T 3.2.8 -as pontnak megfelelően.

„**T 4.11.1** All drivers must be able to exit to the side of the vehicle in less than 5 s with the driver in the fully seated position, hands in the driving position on the connected steering wheel (in all possible steering positions) and wearing the required driver equipment as in T 13.3. The egress time will stop when the driver has both feet on the ground.” [3]

- *Magyarul:* Minden pilótának a járműben ülve teljes biztonsági felszereléssel (T 13.3), kézzel a beszerelt kormánykeréken (minden kormányzási pozícióban) képesnek kell a járműből oldalra kiszállni 5 másodperc alatt. A kiszállási idő akkor ér véget, amikor a pilóta mindkét lába földet ért.

3. A kormánykerék feladatai és igénybevételei

A kormánykerék a kormányzásnak azon része, amit a jármű vezetője oldalirányba tud forgatni a kezével annak érdekében, hogy a jármű kormányzott kerekeit a helyzeti irányból egy eltérő irányba megváltoztassa vagy a már meglévő helyzeti irányt megtartsa.

A feladata elsősorban a jármű függőleges tengely körüli mozgásának a biztosítása. Másik fontos feladata, hogy visszajelzést adjon a pilótának a jármű és az út közötti kapcsolatról, illetve a jármű mozgás állapotáról (alul -és túlkormányzottság). Kialakítástól és igényektől függően elláthat további funkciókat is. Ezekre jellemzően gombokat, kapcsolókat, karokat, világítótesteket, kijelzőket és érzékelőket használnak, amiket beépítenek a kormánykerékbe. Alkalmazástól függően ezek a funkciók lehetnek:

- biztonsági (például: légzsák)
- jelzési (például: irányjelző, műszerfal, kürt és sziréna)
- beavatkozási (például: menetdinamikai tulajdonságok és beállítások megváltoztatása)
- kényelmi (például: adaptív sebességtartás, kormányfűtés, hangvezérlés).

Helyileg a kormánykerék a pilótafülkében található. Általában a személygépjárművekben bal vagy jobb oldalon, ritkább esetben (például a motorsportban) pedig középen helyezkedik el. Általában az első kerekeket kormányozzuk. A technológia fejlődésének köszönhetően az évek során a kormánykerekek formája is megváltozott (3. ábra) és egyre elterjedtebbé vált a személygépjárművekben a hátsókerék kormányzás.



3. ábra: McLaren Formula 1 kormánykerekek evolúciója [4]

Igénybevétel szempontjából elsősorban a kormányzási nyomatékot vizsgáljuk, ami megmutatja, hogy mekkora erőt kell kifejteni a kormánykerék elfordításához. Ezt az értéket az erre kialakított speciális nyomatékszenzorral lehet megmérni. A nagysága több mindentől függ, például a kormánykerék átmérőjétől és pozíciójától, a jármű tömegétől, a kerékabroncsok nyomásától, a futómű beállításától és a kar pozíciójától. Másfelől azt is vizsgáljuk, hogy mennyire mozdítható el a felszerelt kormánykerék a kormányoszlop tengelyére merőlegesen. Ezzel a rögzítések állapotát ellenőrizzük. [5]

Steven Fox a 2010-es cikkében megállapította, hogy az átlagnál jobban megépített alacsony tömeggel rendelkező Formula Student versenyautó kormánykerékének az elfordításához állóhelyzetben 4-11 Nm kormányzási nyomaték szükséges. Ezek olyan értékek, amiket a pilóta legalább egy óra folyamatos vezetésen keresztül képes fenntartani. Egy jól megtervezett Formula Student versenyautónak minimum 100-135 Nm kormányzási nyomatékot ki kell bírni bármilyen meghibásodás nélkül. Összehasonlítva Steve Lyman mérésével egy szintén állóhelyzetben vizsgált Dodge Viper SRT-10 utcai sportautónak a kormányzási nyomatéka 4,5 Nm. [5]

4. A kormánykerék ergonómiája

„Az ergonómia az a tudománycsoport, amely az emberi adottságoknak megfelelő munkaeszközök, tárgyak, munkakörnyezet kialakításával kapcsolatos ismereteket tárja föl azért, hogy az ember teljesítőképességét a legmagasabb fokon kifejthesse, továbbá az ember kényelmét, biztonságát, egészségének megőrzését biztosítja” [6]

Elmondható, hogy az ergonómia a felhasználó és az eszköz, valamint a környezet közötti kapcsolatot és kölcsönhatásokat vizsgálja. Ezért egy felhasználó-eszköz-környezet rendszerről beszélünk. Három fő tényezőnek a kapcsolatából áll össze az ergonómikus kialakítás, amik kölcsönösen hatnak egymásra. Ez a három tényező a hatékonyság, a felhasználói igények (biztonság, komfort és kényelem) és a humán fejlesztési funkciók (mentális, szociális és fizikai). Elsősorban egy alkatrésznél a hatékonyság növelése a cél olyan módon, hogy az ne menjen a felhasználói igények rovására. [7]

A felhasználók, esetemben a pilóták eltérő testi tulajdonságokkal és méretekkel rendelkeznek. Az antropometria ezt vizsgálja.

„Az antropometria, azaz emberméréstan, az embertan segédtudománya, amely az emberi test méreteinek és a testrészek mozgástománnyainak megállapításával foglalkozik” [8]

A versenyek és a tesztelések során több kijelölt pilóta vezeti a versenyautót. A dinamikus versenyszámok során a járművet általában 4-5 regisztrált pilóta vezeti egymást váltva, akik érvényes B kategóriás jogosítvánnyal és több éves személygépjármű vezetői tapasztalattal rendelkeznek. A pilóták jellemzően sportos testalkatú, 1,6-1,9 m magas, 60-80 kg testsúlyú, aktív életformát folytató 18-25 éves egyetemisták. Egy Formula Student versenycsapat összetétele jellemzően fiatal felnőtt korosztályos alapképzéses (BSc) és mesterképzéses (MSc) hallgatókból áll. Az ismertetett adatok alapján elmondható, hogy a felhasználói keresztmetszet viszonylag szűk. A felsorolt antropometriai tényezők alapján elmondható, hogy az általam tervezett alkatrészek egyedi gyártmányok. Mivel az ismertetett Formula Student pilóta tulajdonságok jellemzőek rám, ezért a fejlesztés során a saját kezemet használtam a méretezésre. Továbbá törekedtem a kormánykerekek tervezésénél az olyan kialakításra, ami a különböző kéz méretekkel rendelkező pilótáknak is kényelmes.

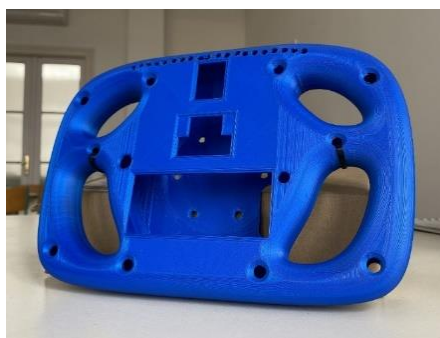
Egy Formula Student versenyautóban használt egyszerű kormánykereket körbe lehet írni a funkciója, a formája, a mérete, a szerkezete, az anyaghasználata és az ergonómiája alapján.

- **Funkció:** Célja a jármű kanyarodásának és egyenesen haladásának a biztosítása a pilóta kézmozdulataitól.
- **Forma:** Az alakja ne tartalmazzon konkáv kialakítást és legyen körhöz vagy oválshoz hasonló.
- **Méret:** A kényelmes fogáshoz, a gyorscsatlakozós kormányaggy csatlakozásához és a pilótafülke méreteihez igazodik.
- **Anyaghasználat:** Polimer, vas és kompozit.
- **Ergonómia:** A kényelmes fogás, valamint a gyors és könnyű leszerelhetőség biztosítása.

5. Az első kormánykerék megtervezése (2023 OUR 001 „FSV 1”)

5.1 OUR 001 kormánykerék koncepciója

Az első modell megtervezésénél az OUR Team Formula Student csapat első kormánykerék prototípusát és a Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Pneumobil csapata által készített kormánykereket tanulmányoztam (4. ábra) és vettem kiindulási alapul. Az első autónak a már legyártott kormánykereket azért volt szükséges újra tervezni, mert a szűk pilótafülkében túl nagy volt a mérete. Emiatt a pilóta a szükségesnél korlátozottabb mozgástérrel rendelkezett a váltáshoz, illetve kanyarodásnál a karjai beleütköztek a vázba.



a) Formula Student



b) Pneumobil

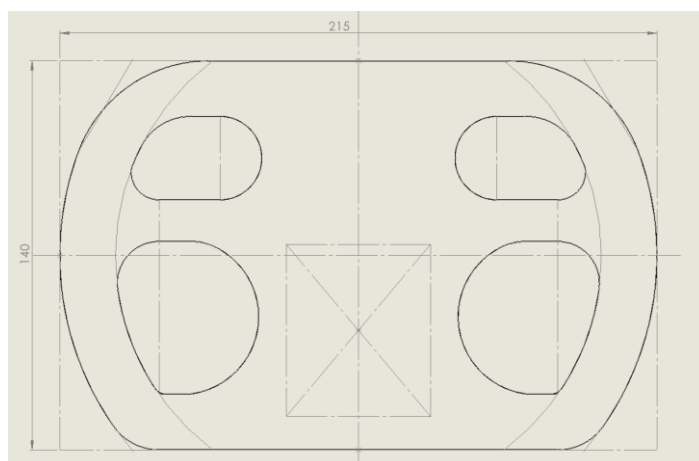
4. ábra: a) Formula Student kormánykerék prototípus; b) Pneumobil kormánykerék

A vizsgálataim során különös figyelmet fordítottam a geometriára, a kialakításra, a gyárthatóságra és az ergonómiára. A két modell összehasonlítása során megállapítottam, hogy a Formula Student prototípusa jobb kialakítással és nagyobb geometriával rendelkezik, míg a

Pneumobil csapat kormányja kényelmesebb felső markolati kialakítással és kompaktabb geometriával rendelkezik. Az alsó markolat kialakítása mindkét modellnél kényelmetlen volt a szélessége miatt. A Pneumobil csapat kormányja esetén a szélesség mellett, a megfelelő nagyságú lekerekítés sem volt megfelelő. Gyárthatóság szempontjából mindkét modell elfogadható, a fő szerkezeti elemeik 3D nyomtatással készültek el.

A két kormánykerék összehasonlítása alapján úgy gondolom, hogy az általam tervezendő kormánykerék esetén törekszem a forma szempontjából az egyszerűsége, kialakítás szempontjából a kompaktságra és az ergonómia szempontjából a kényelmesebb markolati kialakításra. A kialakításnál fontosnak tartom az üreges belső szerkezeti kialakítást egy későbbi elektronikának az elhelyezése miatt.

Mindezen ismeretek alapján megrajoltam az elképzeléseimnek megfelelően az alaprajzot (5. ábra). A kidolgozott modell befoglaló mérete 215 mm x 140 mm.



5. ábra: Alaprajz a befoglaló méretekkel

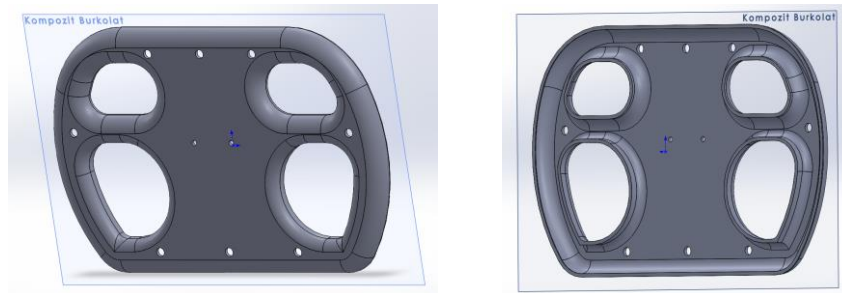
5.2 OUR 001 kormánykerék felépítése

A kormánykerék több részből épül fel. Ide tartozik a felső panel, az alsó panel, a gyorscsatlakozós kormányagy és a kötőelemek (csavarok és anyák). Ebben az esetben a felső és alsó panel alaprajza megegyezik egymással, viszont a 3D kialakításuk eltérő.

Felső Panel

A felső panel 3D modell megtervezését az alaprajz kihúzásával kezdtem. A kihúzott testnek ezután a belső és a külső éleit lekerekítettem. A belső résznek az alsó élei folytonosan R6 mm, a felső élei folytonosan R8,5 mm és a külső rész élei folytonosan R9,4 mm lekerekítéssel

rendelkeznek. A lekerekítéseket követően 3 mm-es falvastagság megadásával kiüregeltem a kihúzott testet. Utolsó lépésként a szükséges furatokat berajzoltam a testen majd kivágtam. A külső furatok az alsó panelhez való rögzítés miatt, míg a középső két furat az opcionális elektronika belső rögzítése miatt volt szükséges. Mindezt a SolidWorks CAD tervező programban végeztem el. (6. ábra és a 7. ábra)



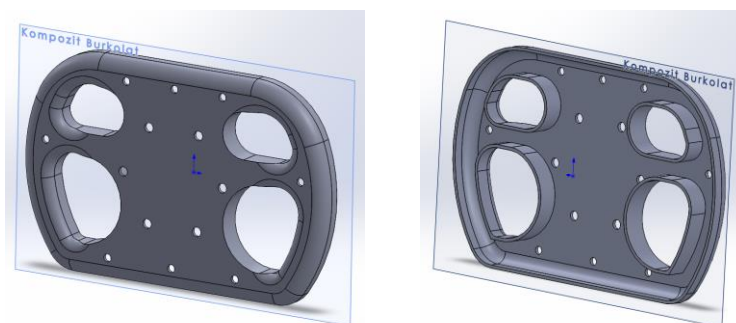
Külső felület

Belső üreges kialakítás

6. ábra: OUR 001 kormánykerék felső panel

Alsó Panel

Az alsó panel 3D modelljét a felsőhöz hasonló módon, kisebb módosításokkal terveztem meg. A külső rész élei folytonosan R9 mm, míg a belső rész alsó és felső élei egyaránt R6 mm lekerekítéssel rendelkeznek, amik viszont csak a külső élrészeket érintik és nem futnak végig folytonosan a teljes íven. Ez a megoldás azért volt szükséges, mert a középén elhelyezett 6x70 mm-es osztókörnekek a két szélső furatát zavarta volna ott lévő lekerekítés (7. ábra).



Külső felület

Belső üreges kialakítás

7. ábra: OUR 001 kormánykerék alsó panel

Gyorscsatlakozós kormányagy

A csatlakozásnak gyorsan oldhatónak kell lennie a kormánykerék és a kormányoszlop között annak érdekében, hogy a pilóta életére veszélyt jelentő meghibásodások vagy balesetek bekövetkeztében rövid időn belül el lehessen hagyni a járművet. A versenyszabályzatban leírtak alapján 5 másodperc alatt kell a kiszállást végrehajtani, ami meglehetősen rövid idő a pilótának. A sikeres teljesítése ennek a feladatnak sok gyakorlást igényel.

Az előbb ismertetett biztonsági szempontokat figyelembe véve a BPracing Kft. által forgalmazott arany színű bordástengelyes csatlakozási kialakítással rendelkező gyorscsatlakozós kormányagyat választottam (8. ábra). Az osztóköre a szabványos 6x70 mm és a magassága 53 mm összeszerelt állapotban.

A gyorscsatlakozó működtetése két kézzel végezhető el. A kormánykerék oldali hüvelynek a behúzásával lehet szétkapcsolni és a végleges helyére illeszteni a kormányagyat. Felrakásnál figyelni kell a kettős bordázatra, míg a levételnél ez már nem akadályozó tényező.



8. ábra: A bordás gyorscsatlakozó kinézete (bal) és működése (jobb) [9]

5.3 OUR 001 kormánykerék gyártása

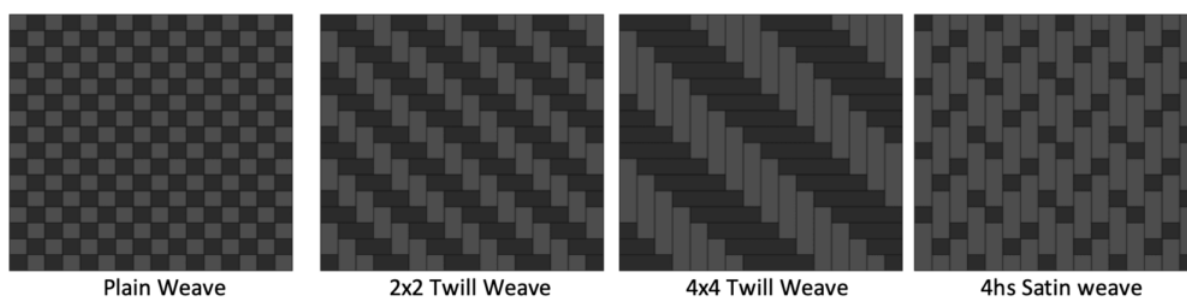
Miután elkészült a felső panelnek és az alsó panelnek a végleges modellje, elkezdődhetett a gyártási folyamatnak a megtervezése. Jellemzően a Formula Studentben a kormánykereket vaslemezről vagy kompozit anyagokból készítik el. A vaslemezt lézer -és vízvágással munkálják meg a kívánt formára. A kompozit anyagoknál a kívánt formát gyártási segédformák (szerszámok) használatával érjük el és a végleges állapotot fúrással és élforgácsolással érjük el. A kormánykerék kompozit anyagok felhasználásával készült.

5.3.1 Felhasznált anyagok

Az alkatrész szénszálas kompozit és epoxy gyanta felhasználásával készült el. Mindkét esetben (alsó és felső panel) szénszálas (angolul: carbon fiber) sávoly kötésű szövetet alkalmaztunk.

Kompozit anyagoknak nevezzük kettő vagy több eltérő kémiai összetételű anyagnak az együttesét, amelyek eredendően nem rendelkeznek a kívánt tulajdonságokkal viszont együttesen egy teljesen új a már számunkra kedvező tulajdonságokkal rendelkező anyagot hoznak létre. A szerkezeti felépítése egy mátrix alapanyagból és egy vagy több hozzáadott erősítő anyagból áll. A mátrix anyag adja a bázist, ami nagy mértékben meghatározza az előállított kompozit tulajdonságait. Az erősítő anyag szerkezete lehet szálas, szemcsés, lemezes vagy réteges [10].

A sávoly szövés (angolul: twill weave) azt jelenti, hogy a szálak több keresztirányú szálon áthaladnak, mielőtt átbuknak a másik oldalra. Esetünkben a 2x2-es elrendezés azt jelenti, hogy a szálak 2-2 szálon haladnak át oldalanként. A szálirányok merőlegesen helyezkednek el egymásra. A sávoly szövet további előnye még az is, hogy kevésbé vannak előfeszítve a szálak, aminek köszönhetően könnyen kezelhető és alakítható így a komplexebb geometriákra is viszonylag jól illeszthető.



9. ábra: Szénszál szövet típusok [11]

A szénszálas kompozitok a kiemelkedő szakítószilárdságuk, merevségük és rugalmasságuk mellett alacsony súllyal is rendelkeznek. Ezek a kedvező tulajdonságok miatt gyakran használják az autóiparban, hajóiparban, légiiparban, űriparban, építőiparban és az egészségügyben is.

Az epoxy gyanta elsősorban kötőanyagként szolgál a mátrix anyag és az erősítő anyag között, továbbá még védőréteget is képez a környezeti hatásokkal szemben. A térkitöltés miatt a különböző terheléseknek és erőknek az átvitelében is segít, amivel tovább növeli a kompozit anyagnak a merevségét és a szilárdságát.

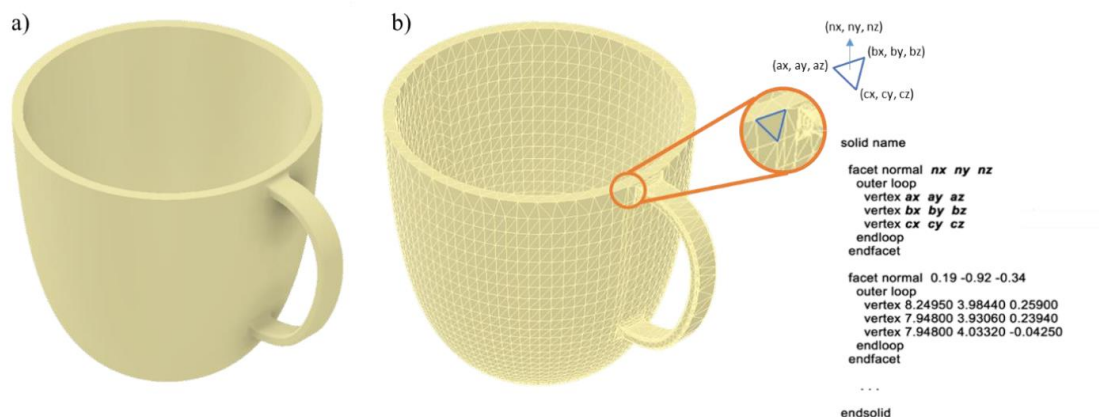
5.3.2 Gyártási folyamat

Ahhoz, hogy a szénszálas kompozit elemeket legyártsuk, CAD tervező programban meg kellett tervezni, majd le kellett gyártani mindkét panelnek a segédformáját. Ezek a gyártási segédformák a végleges modelleknek a negatívjai és 3D nyomtatással készültek (9. ábra).

A 3D nyomtatás egy olyan additív gyártástechnológia (angolul: additive manufacturing, AM), amely a CAD programban megtervezett virtuális 3D modelleket kézzel fogható terméké vagy prototípussá alakítja. Két fő céllal használunk additív gyártástechnológiát. A gyors prototípusgyártásra (angolul: rapid prototyping technology, RPT) és a kisszériás termékgyártásra. [12]

Ahhoz, hogy egy 3D modell nyomtatható legyen, megfelelő fájlformátumot kell használni. Ez a szabványos formátum az STL fájl (.STL) (angolul: Standard Tessellation Language & Standard Triangle Language), ami háromszög-tesszalációt használ a modellek felületének a leképezéséhez. A kis háromszögek több adatot is hordoznak magukban, mint például a csúcsponti koordinátákat (X, Y, Z irányokban) és a normálvektorokat, amiknek az iránya megadja, hogy melyik részét nyomtatjuk ki a modell felületének. A háromszögek mennyisége határozza meg a leképezés pontosságát és a fájl méretét. Az STL-re átalakító szoftverek a síkfelületekkel és egyenes éllel rendelkező formákat pontosan letudják képezni, míg a lekerekített felületekkel és ívekkel rendelkező formákat csak közelítő jelleggel tudják leképezni. [12]

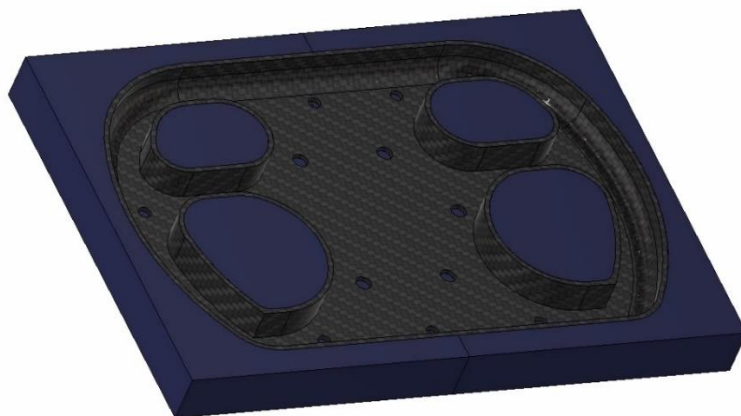
Ahhoz, hogy az STL fájlt értelmezni tudja a nyomtató, a modellt tovább kell alakítani egy nyomtatási műveleti sorrendé. Erre a célra a szabványos fájlformátum a G-kód (.gcode) (angolul: Geometry-code), ami meghatározza a nyomtatás során a nyomtatófej haladási irányát, sebességét, a modell elhelyezkedését a nyomtatási felületen és a gép egyéb beállításait.



10. ábra: a) 3D modell; b) STL fájlformátum [12]

Az esetben a segédforma kinyomtatására az ömledék rétegezési technológiát (angolul: fused deposition modeling, FDM) választottam az alacsony anyagköltségek és a gyorsaság miatt.

Az FDM technológia manapság az egyik legelterjedtebb megoldás a 3D nyomtatás világában. Az egyszerű üzemeltetés, a könnyű szerelhetőség és a viszonylag alacsony működtetési költségek (alkatrészek, filamentek) miatt használják az iparban vagy akár otthon is. Nyomtatható anyagai általában a PLA, PETG és az ABS. A nyomtatás pontossága a géptől és a beállítási paraméterektől függ. A működése a filament szálnak a nyomtatófejbe való befűzésével kezdődik, amit később felfűtenek és adott hőmérsékleten tartanak, hogy könnyen alakítható legyen és maradjon a teljes folyamat során. A kívánt hőmérséklet és állag elérése után a nyomtató felviszi a fűtött nyomtatási felületre az első réteget. Ez a rétegfelvitel megismétlődik egészen az utolsóig. Előfordulnak formák, amik alátámasztást igényelnek. Ezeket a tartó elemeket a 3D nyomtatás előkészítésére szolgáló szoftverekben lehet elhelyezni a modellen, ami aztán egy G-kódot generál az alátámasztásokkal együtt. A legyártott nyomtatvány egyes felületeken, éleken és sarkokon csiszoló utómunkálatokat igényelhet.



11. ábra: Az alsó panel és a negatív segédformájának a 3D összeállítása

A segédforma két részből áll, mert a 3D nyomtató munkafelületére nem fért ki a teljes modell. A két rész összeillesztve kiadja a teljes formát. A 3D nyomtatást követően az elsődleges előkészületi lépés a felületek megcsiszolása volt azért, hogy eltűnjenek a nyomtatásból adódó rétegek közötti kis lépcsőzetes magasság különbségek. Ezt követően össze lett ragasztva a két forma és be lett vonva a lecsiszolt felület leválasztó (wax) anyaggal. Ez megakadályozza, hogy a kitérhálósodó epoxy gyanta véglegesen hozzáragadjon a formához.



12. ábra: Az alsó panel 3D nyomtatott gyártási segédformája

A segédformák elkészítését és előkészítését követően a kompozit rétegek felvitele következett a belső felületekre. Az első réteg felhelyezését követően a szövetet a kontúrokra formáltuk és a kikevert epoxy gyantát ecset segítségével felvittük a szövetre úgy, hogy a szénszálat teljesen átítassa. Minden réteget az előző réteghez képest 45°-al elforgattuk, így több irányból futnak a szálak. Ezzel a rétegrendezéssel elhanyagolható mértékű a szálerősített és erősítetlen irányok közötti merevségeknek az eltérése.

A rétegrendek:

- Alsó panel: sávoly 0° - sávoly 45° - sávoly 90° - sávoly 135° - sávoly 180°
- Felső panel: sávoly 0° - sávoly 45° - sávoly 90° - sávoly 135° - sávoly 180°

Az utolsó réteg és a gyantavezető háló (angolul: infusion mesh) közé egy letépőszövetet (angolul: peel ply) helyeztünk fel, aminek az a feladata, hogy az utolsó felület ne ragadjon rá a vákuum zacskóra. Következő lépésként egy lezárható vákuum zacskóba helyeztük a formát. A zacskóból egy vákuumcsöves kivezetés csatlakozott be egy vákuum kompresszorba, ami elé egy gyanta csapdát helyeztünk el (ez azért szükséges, hogy ne kerüljön gyanta a kompresszorba). A kompresszorral 1 óráig szívtuk a vákuum zacskót majd a kimenő vákuum csövet elzárt állapotban lekötöttük a kompresszorról, így a rendszerben megmaradt a nyomás. Egy nappal később pedig elkezdtük a forma leválasztását, mert ekkorra már megkötött a gyanta.

A vákuumos technológia:

- biztosítja a megfelelő szövet-mátrix anyag arányát
- megszünteti a gázzárvány hibákat (buborékmentesítés)
- megfelelő erővel szorítja össze a szöveteket és a szöveteket a formához – ez segít elkerülni a forma és a szövet közötti illesztési hibákat, illetve csökkenti a kockázatát a rétegek közti delaminálódásnak (rétegek szétválásának)



13. ábra: A kompozit alsó panel legyártása vákuumos technológiával

A leválasztást követően megkaptuk az utómunkálatokat igénylő gyártmányokat. Az utómunkálatok során eltávolítottuk az anyagfelesleget csiszolóval és kifúrtuk a rögzítési furatokat.



Belső felület



Külső felület

14. ábra: Az elkészült alsó panel

5.4 OUR 001 kormánykerék összeállítása

A 3D modelltől eltérően a nyolc helyett három helyen lett csavarkötéssel rögzítve az alsó és felső panel. Továbbá mindkét oldalon kormánybetekerő bandázst alkalmaztam. A kormányagy egy átalakított fogasléccel rendelkező Trabant kormányműhöz kapcsolódik.

A tesztvezetések során megállapítottam, hogy a kész kormánykerék egy jó minőségben legyártott strapabíró kompakt alkatrész lett, ami megfelel az elvárásoknak és a korábbi célkitűzéseknek. A pilóták véleménye alapján nem volt panasz a kormány merevségére. A megtervezett kormánykerék esetében elsősorban az ergonómiához kapcsolódó elvárások további fejlesztést igényelnek. Például a nem megfelelő hüvelykujj rész kialakítása, mivel a bandázs és a kesztyű összeadódó vastagsága a fogásnál pont annyi helyet vesz el a hüvelykujjtól, hogy az már kényelmetlenné válik.



15. ábra: Az első versenyautó kész kormánykereke

6. A második kormánykerék megtervezése (2024 OUR 002 „TUCAN”)

6.1 OUR 002 kormánykerék koncepciója

A második kormánykerék megtervezése a korábbi tapasztalatoknak köszönhetően már sokkal gördülékenyebben ment. A bevált megoldások mellett tudtam kísérletezni újabbakkal is.

Kialakítás szempontjából az ergonómiát és az elektronikát előtérbe helyezve több dolog is egyértelmű volt. A hüvelykujj megtámasztásának egy teljesen új formát kellett tervezni, megnövelt méretekkel. Az alsó markolat kialakítását is nagyobbra kellett venni. Egy vékonyabb bandázst kellett választani. A felső és az alsó panel egymáshoz való illeszkedésén és rögzítésén módosítani kellett. Valamint a belső üreges térben egy kapcsolókkal ellátott nyáklapot kellett elhelyezni a műszerfal és a váltószerkezet miatt.

A forma szempontjából a hagyományostól eltérőket tanulmányoztam, amiket a különböző sportautó gyártók, mint például a Lamborghini [13] és néhány Formula Student [14] csapat is kipróbált már. A meghatározó formai elem a hüvelykujj megtámasztásának a kialakítása volt, ahol az ujjtámasz nincsen összekötve a kormány középső részével, ami így egy kis félszigetet képez a markolaton. Ez a számomra újfajta kialakítás volt az eddig ismertek közül a legkényelmesebbnek tűnő és forma szempontjából a legkülönlegesebb.



16. ábra: Lamborghini Essenza SCV12 kormánykerék [13]

Az előző fejezetekben ismertetett tapasztalatok és megfigyelések alapján elkészítettem az első verzióját a második autó kormánykerék modelljének, amit aztán később tovább módosítottam. A befoglaló méreteket az előző modellhez képest nagyobbra vettem a kifejthető kormányzási nyomaték növelése, az ergonómia javítása és az elektronika megfelelő elhelyezése érdekében.

A hosszúságot 45 mm-el és a magasságot 50 mm-el növeltem meg. Így a befoglaló mérete az 260 mm x 190 mm (17. ábra).

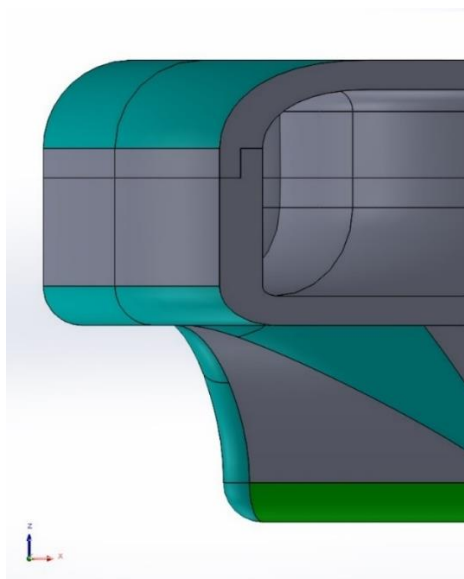


17. ábra: A második kormánykerék koncepciós modellje

6.2 OUR 002 kormánykerék felépítése

Ebben a fejezetben bemutatom az új kormánykeréknek a felépítését és a fejlesztésének a különböző fázisait. Az előző modellhez hasonlóan a két panel alaprajza megegyezik egymással, a falvastagság ugyanúgy 3 mm, viszont a 3D kialakításuk eltérő. A tervezés során többször lett módosítva mindkét panel és az elektronika is, ami miatt rövidítéseket (felső panel: FP, alsó panel: AP, elektronika: PCB) és verziószámok jelöléseket (V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7) használtam a komponensek és a fejlesztések megkülönböztetésére.

Az új felső panelnek a tervezési folyamata szinte teljes mértékben megegyezik a korábbival. Elsősorban a nyomtatott áramkört lapnak (angolul: printed circuit board, PCB), a nyomógomboknak és a forgókapcsolónak a jelenléte miatt volt szükséges kiegészíteni további elemekkel a modellt. Viszont az új alsó panelnek a tervezési folyamata szinte teljes mértékben eltér a korábbitól az új elemeknek a jelenléte miatt, mint például a távtartó anyák, az elektronika, illetve a kormánykerékre szerelt sebességváltó. Az alsó és felső panel egymásra néző peremei 1,5-1,5 mm-es átfedésben vannak, ami biztosítja a megfelelő illesztést az összeszerelésnél és bizonyos mértékig szigeteli is a belső üreges szerkezetet a kívülről érkező szennyeződésektől.



18. ábra: Átfedés a felső és az alsó panel pereme között, metszetben

A továbbiakban a főbb lekerekítéseket színkódokkal jelölöm.

Színkódok		
Felső panel külső lekerekítései	kék	
Felső panel belső lekerekítései	sárga	
Alsó panel külső lekerekítései	piros	
Alsó panel belső lekerekítései	lila	
Alsó panel hátsó lekerekítései	zöld	

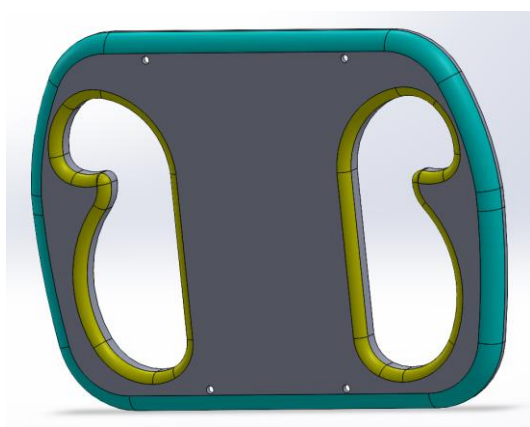
1. Verzió (Konceptió)

A tervezési folyamat elkezdésekor a kiindulási alapom a koncepciók modell volt, amit most részletesebben fogok bemutatni. Az első modell célja a fejlesztési iránynak meghatározása volt, amit aztán a további változatokban finomítottam.

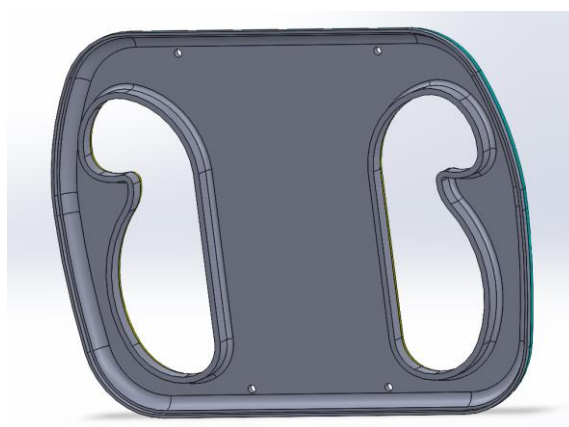
A felső panel ebben a változatban nem rendelkezik semmilyen új kiegészítő elemmel a korábbi (OUR 001) kormánykerék felső paneléhez képest. Az alsó panel belső kialakítása a négy darab hatlapfejű M4x20mm-es távtartó anyáknak az elhelyezése miatt négy hexagonális foglalattal, az elektronika elhelyezése miatt a felső részen négy támasztékkal, a gyorscsatlakozós kormányagy miatt egy 6x70 mm-es osztókörű furatozással és az elektronika kábeleinek a kivezetése miatt egy téglalap alakú kivágással rendelkezik. A külső kialakítása kapott egy alátét jellegű kiemélést a gyorscsatlakozós kormányagy osztókörénél.

A koncepció fázisban az elektronika és a sebességváltó szerkezet nem rendelkezett még modellel. Ebben a tervezési fázisban a nyomógombokat a kormányfogásból kinyújtott hüvelykujjnak az elmozdulási sugara köré terveztem elhelyezni. Emiatt kerültek ki egészen a felső rész sarkaihoz a fenti támasztékok.

A főbb lekerekítések értékeit igyekeztem az első modellen alkalmazottakhoz hasonlóan megadni. A felső panel külső (kék) részének az élei folytonosan R9 mm és a belső (sárga) részének az élei folytonosan R5,21 mm lekerekítéssel rendelkeznek. Az alsó panel külső (piros) részének az élei folytonosan R4 mm, a belső (lila) részének az élei folytonosan R12 mm és a hátsó (zöld) részének az élei folytonosan R4 mm lekerekítéssel rendelkeznek.

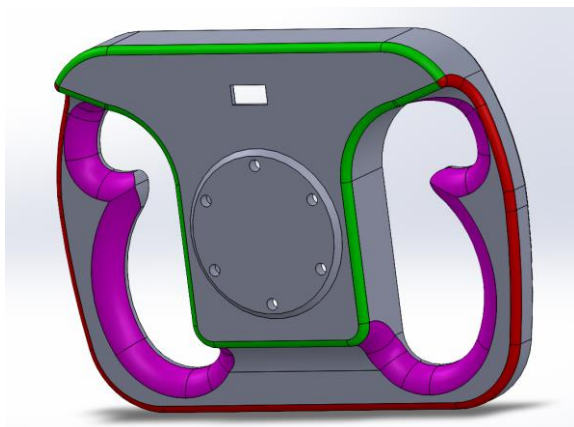


FP-V1 külső felülete

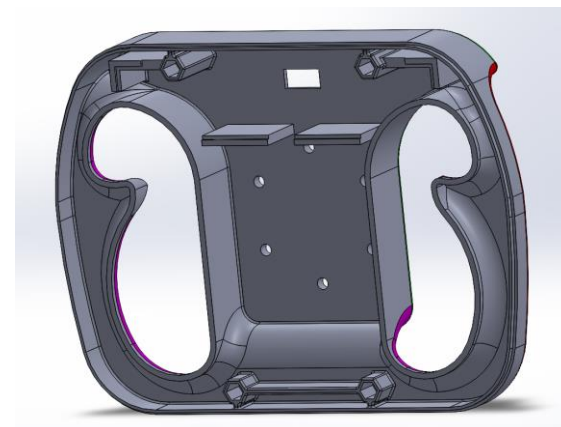


FP-V1 belső kialakítása

19. ábra: OUR 002 kormánykerék felső panel első változata (FP-V1)



AP-V1 külső felülete



AP-V1 belső kialakítása

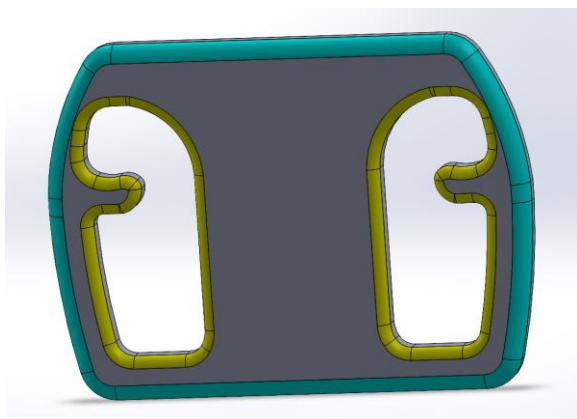
20. ábra: OUR 002 kormánykerék alsó panel első változata (AP-V1)

2. Verzió

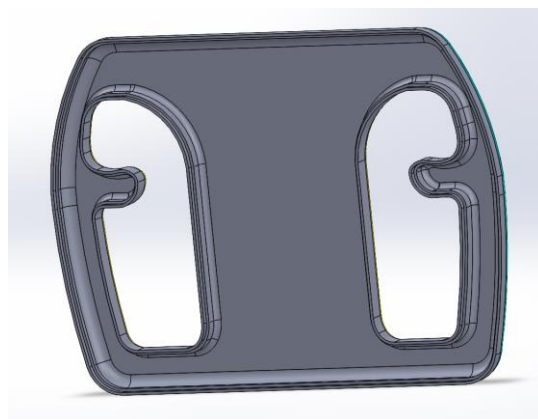
Az alaprajzot újra rajzoltam több szempont miatt is. Elsősorban amiatt, mert az alsó markolat íves kialakításánál a mutatóujj nem tudott belekapaszkodni a felette lévő hüvelykujj támaszba. Ezért egy szögletesebb kialakítást kapott a markolat ujjtámasz részének az alja, így a hüvelykujjat felül és a mutatóujjat alul támasztja meg egyszerre az ujjtámasz. Továbbá a felső markolati kialakításnál a hüvelykujj megtámasztásának a benyúlása megnőtt, hogy egy nagyobb kézzel rendelkező pilótának is kényelmes legyen.

A felső panel az alaprajzi módosítást leszámítva továbbra sem rendelkezik semmilyen új változtatással és kiegészítő elemmel az FP-V1-hez képest. Ettől eltérően viszont az alsó panel több módosításon is átesett. A csavarkötések pozíciója megváltozott, mert a „safety wiring” alkalmazásakor útban lenne a nyomógomboknak. A safety wire (magyarul: biztonsági sodrony huzal) meggátolja a rögzítőelemeknek a vibráció okozta kilazulását. A kormánykeréken is szokták alkalmazni, ezért a biztonság kedvéért a felső kettő távtartó anyának a pozícióját lejjebb került az elektronika alá, így amikor alkalmazni kellene akkor nem fogja akadályozni a gombok működtetését. Továbbá a hátsó résznél a gyorscsatlakozós kormányagy rögzítési furatai alatti falrész is módosult szögletesről körívesre, amivel az esztétikán tudtam javítani.

A lekerekítési rádiuszokon is módosítottam. Ennél a változatnál a felső panel külső (kék) részének az élei folytonosan R9 mm és a belső (sárga) részének az élei folytonosan R6 mm lekerekítéssel rendelkeznek. Az alsó panel külső (piros) részének az élei ujjtámasztól lefelé folytonosan R10 mm, a belső (lila) részének az élei folytonosan R9 mm és a hátsó (zöld) résznek az élei folytonosan R3 mm lekerekítéssel rendelkeznek.

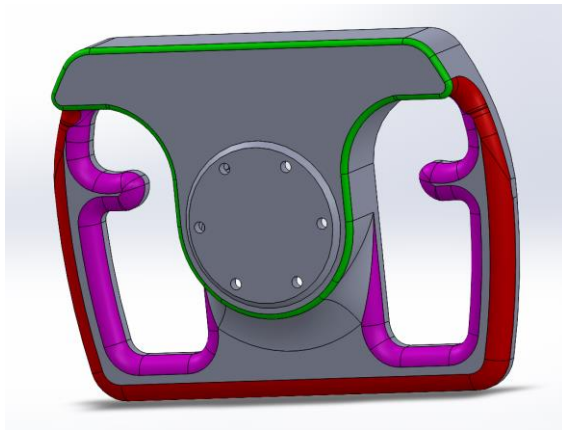


FP-V2 külső felülete

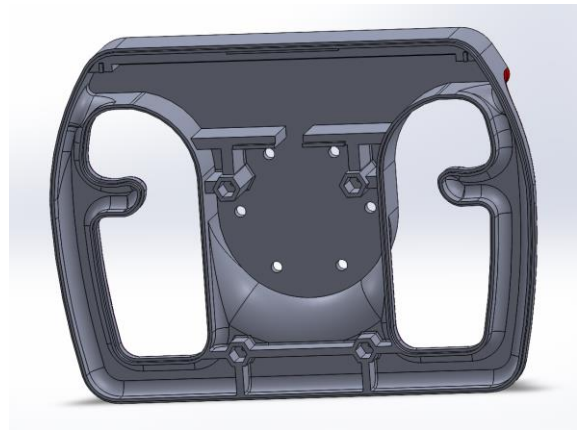


FP-V2 belső kialakítása

21. ábra: OUR 002 kormánykerék felső panel második változata (FP-V2)



AP-V2 külső felülete



AP-V2 belső kialakítása

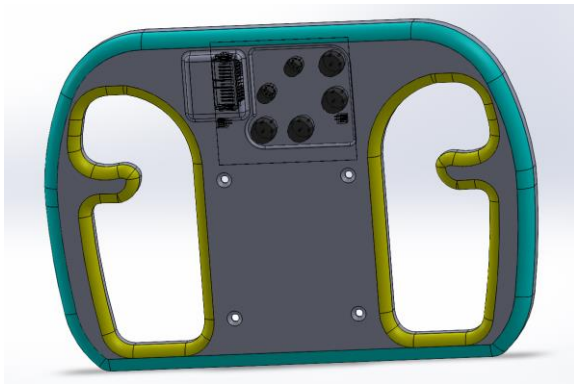
22. ábra: OUR 002 kormánykerék alsó panel második változata (AP-V2)

3. Verzió

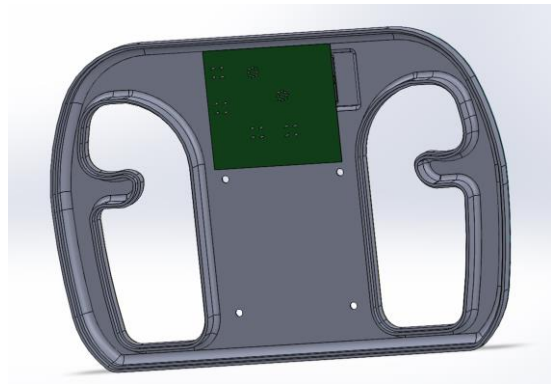
A harmadik változata a kormánykeréknek már a nyomtatott áramköri lapnak a végleges befoglaló méretei (73,41 mm x 65,53 mm) ismeretében készült el, ami már modellel (PCB-V6) is rendelkezett. Ennek a haladásnak köszönhetően az elektronikát bele tudtam próbálni a modellbe. Mivel egyik kapcsolót sem szükséges a pilótának kanyarodás közben működtetnie, ezért az eredetileg a szélső részre tervezett nyomógombok bekerültek középre. Így a felső résznek a lekerekítése a koncepcióhoz hasonlóan nagyobbak lett. Emiatt az alaprajzot megint újra rajzoltam.

A felső panel további hat furattal egészült ki a nyomógombok és a forgókapcsolók miatt. Továbbá a főcsatlakozó fenti elhelyezése miatt meg kellett emelni a fölötte lévő felületet, hogy rendesen elférjen. Az alsó panelnél a négy hexagonális foglalat és a nyomtatott áramköri lapnak a kitámasztásai a végleges helyükre kerültek. Ezek az elemek egyben keresztmerevítésként is szolgálnak.

A lekerekítések értékein szintén módosítottam több helyen. Ennél a változatnál a felső panel külső (kék) részének az élei folytonosan R7,8 mm és a belső (sárga) részének az élei folytonosan R6 mm lekerekítéssel rendelkeznek. Az alsó panel külső (piros) részének az élei ujjtámasztól lefelé folytonosan R4 mm, a belső (lila) részének az élei R9 mm és a hátsó (zöld) résznek az élei folytonosan R3 mm lekerekítéssel rendelkeznek.

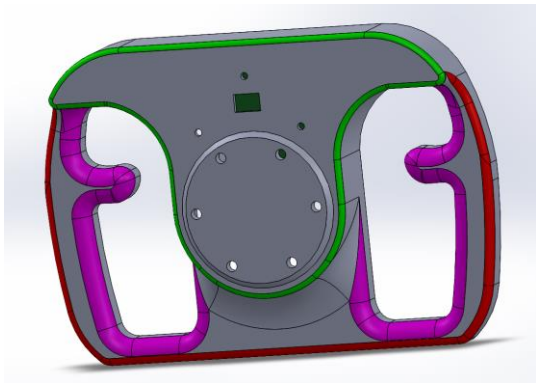


FP-V3 külső felülete elektronikával

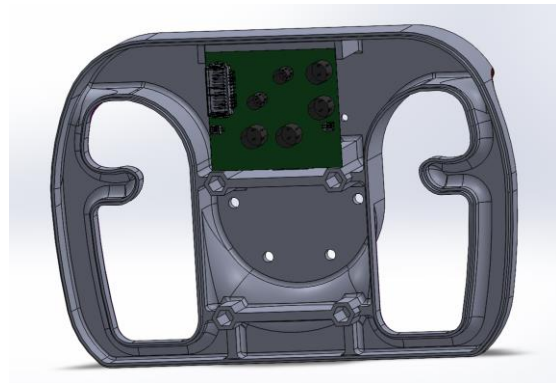


FP-V3 belső kialakítása elektronikával

23. ábra: OUR 002 kormánykerék felső panel harmadik változata (FP-V3)



AP-V3 külső kialakítása elektronikával



AP-V3 belső kialakítása elektronikával

24. ábra: OUR 002 kormánykerék alsó panel harmadik változata (FP-V3)

3. Verzió prototípus



25. ábra: OUR 002 kormánykerék 3. Verziójának a prototípusa

A 3. Verzióból egy 3D nyomtatott prototípus is készült PLA filamentből. Ennek köszönhetően megbizonyosodtam arról, hogy megfelelő a peremeknél az átfedés és a távtartó anyáknak az illeszkedése a hexagonális foglalatokba. A hátsó panel markolatának a lekerekítési rádiuszai kényelmesek voltak, viszont a felső panel hüvelykujj markolati kialakításával nem voltam teljesen megelégedve. Ezt fekete vonalakkal jelöltem a prototípuson. Ebből levontam azt a következtetést, hogy a hüvelykujjnál még nagyobb lekerekítési rádiuszt kell alkalmazni.



A markolat fogásának a kipróbálása



A váltókar lehetséges elhelyezése



A hüvelykujj és hüvelykujj izompárna helye



A távtartó anya illeszkedése a foglalatba

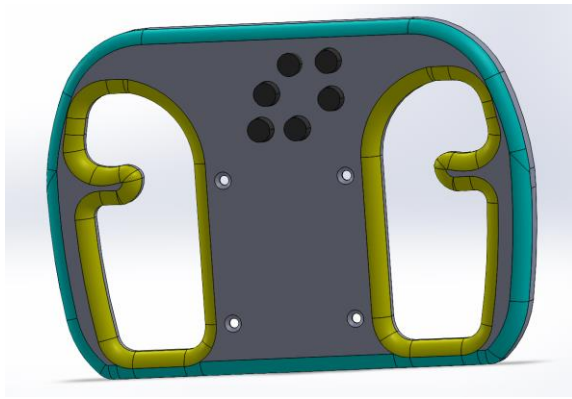
26. ábra: A 3. Verzió prototípusának a részletei

4. Verzió

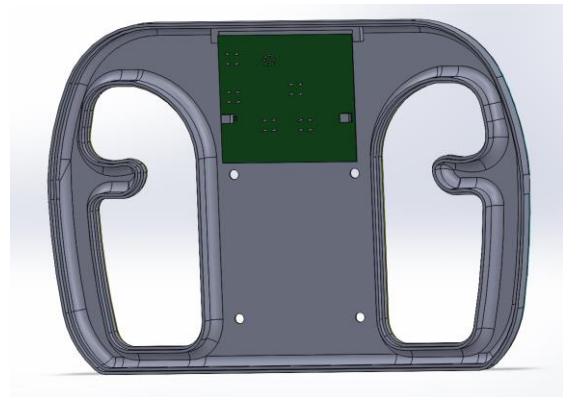
A negyedik verzióban már az elektronika (PCB-V7) és a sebességváltó szerkezet pozíciója és kialakítása is elérte a gyártásra kész végleges állapotot, ami által a felső és az alsó panelen véglegesíteni tudtam a rögzítéseket és a kivezetéseket.

Az elektronikát a lentebb elhelyezkedő támasztékoknál csavarokkal rögzítjük két helyen az alsó panelhez. A csavarok a támasztékokba ágyazott menetes betétekkel valósítják meg a kötést. Ezek a menetes betétek úgy kerülnek a helyükre, hogy a betét hevítésének a hatására megolvad az alatta lévő felület, így, ha fentről elkezdjük lefelé nyomni, akkor megfelelő magasságba tudjuk pozicionálni. A kívánt pozíció elérése után hagyjuk kihűlni a betétet és megdermedni az anyagot. A fenti részen egy rezgéscsillapítással ellátott ellendarabot hoztam létre, ami lenyomja és a helyén tartja az elektronika felső részét. A rezgéscsillapítás az ellendarabra ragasztott vékony gumiszalaggal valósul meg. A kábelek a nyomtatott áramköri lap alatt rendeződnek össze és a keresztmerezítő kiskapuján keresztül a gyorscsatlakozós kormányagy alatti 10 mm-es furaton át érkeznek meg az utastérbe. A 10 mm-es furat befelé egy peremes kialakítással rendelkezik, hogy egy szigetelő hüvellyel el lehessen látni a vezeték köteget és a furatot. A sebességváltó szerkezet az alsó panel hátoldalán négy ponton lesz csavarkötéssel rögzítve a hátoldalhoz. A sebességváltó szerkezet kapcsolóinak a kivezetése még nem rendelkezik végleges hellyel.

A felső panel belső (sárga) markolatainak a lekerekítéseit is újra gondoltam. Az értékeket megnöveltem R8 mm-re és a variálható rádiuszú lekerekítés funkcióval még tovább tudtam növelni a hüvelykujj kialakításnál 1 mm-el ezt az értékeket. A külső (kék) részének az élei a hüvelykujj kialakításnál R7 mm lekerekítéssel rendelkeznek. Az alsó panel külső (piros) részének az élei ujjtámasztól lefelé folytonosan R4,5 mm, a belső (lila) részének az élei folytonosan R9 mm és a hátsó (zöld) résznek az élei folytonosan R3 mm lekerekítéssel rendelkeznek. Ezekkel az értékekkel sikerült elérnem a számomra legkényelmesebb markolati kialakítást.

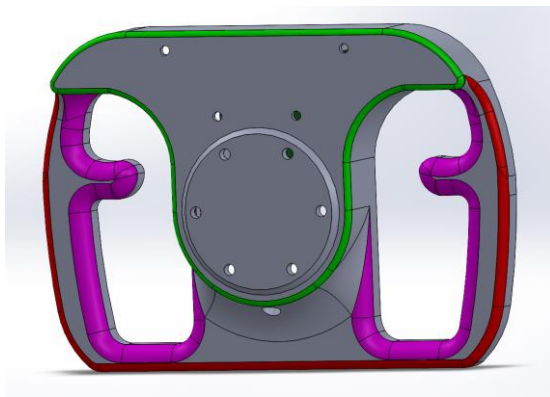


FP-V4 külső felülete elektronikával

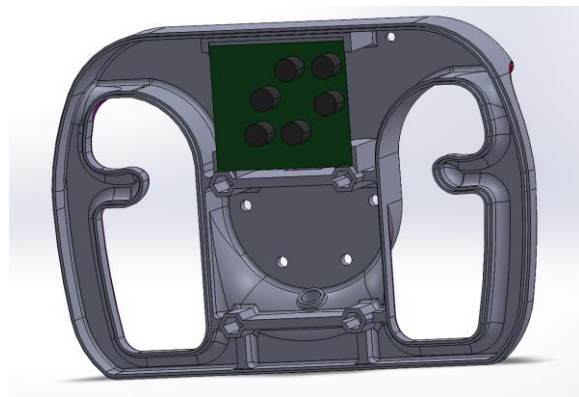


FP-V4 belső kialakítása elektronikával

27. ábra: OUR 002 kormánykerék felső panel negyedik változata (FP-V4)



AP-V4 külső kialakítása elektronikával



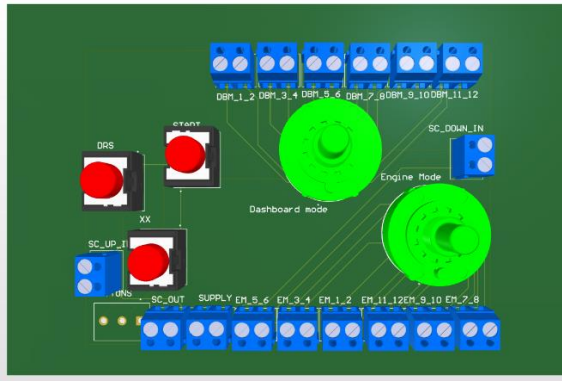
AP-V4 belső kialakítása elektronikával

28. ábra: OUR 002 kormánykerék alsó panel negyedik változata (FP-V4)

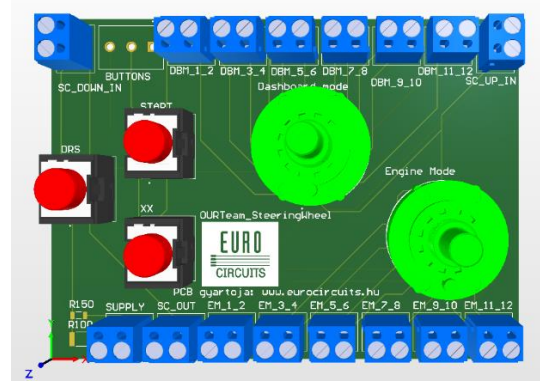
Elektronika

A kapcsolókkal ellátott elektronika a második kormánykeréknek a központi eleme, aminek köszönhetően képes a pilóta közvetlenül a kormányról sebességet váltani és megváltoztatni az autónak a menetdinamikai tulajdonságait és a beállításait. A teljes elektronika az autóiipari felhasználást figyelembe véve lett megtervezve.

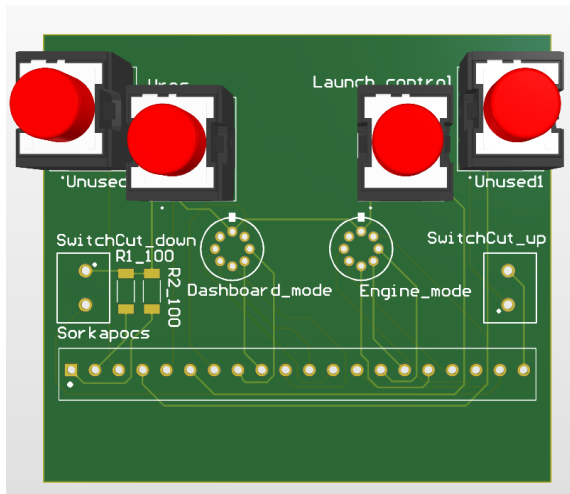
Az autó 12 V-os rendszeréről üzemeltetjük, amit egy feszültségosztóval 5 V-ra lecsökkentünk. Ez a feszültség kapcsolja a nyomógombokat és a tekerőkapcsolót, amit érzékel a központi motorvezérlő és a műszerfal egység. A nyák a vízállóság érdekében ki lesz öntve gyantával. Lehetőséget biztosít a pilótának a különböző beállítások változtatására akár menet közben is.



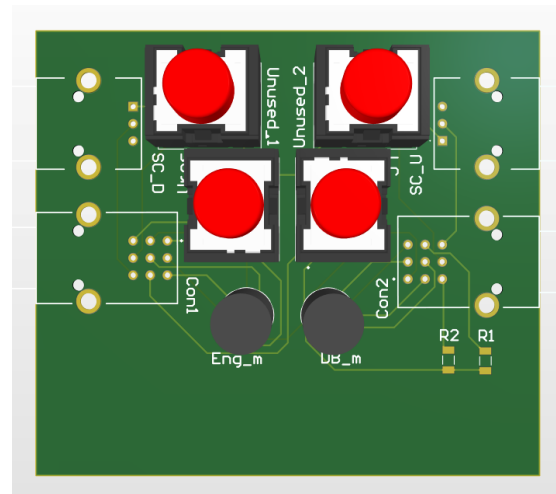
PCB-V1



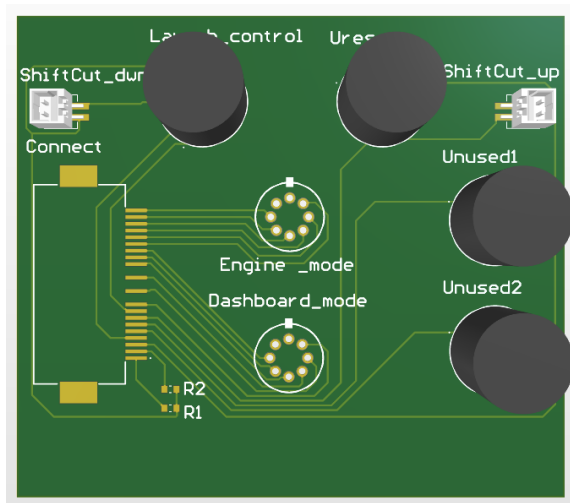
PCB-V2



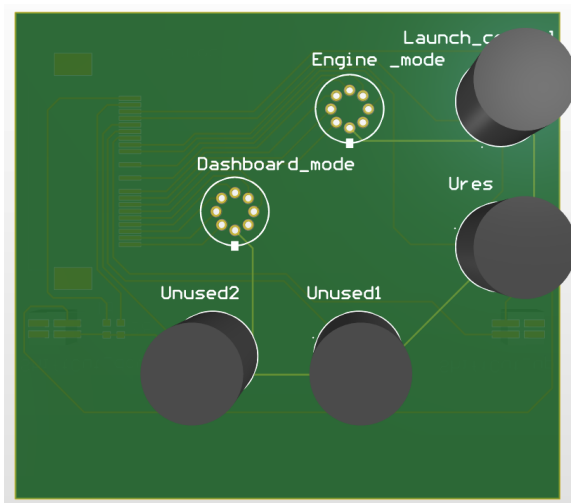
PCB-V3



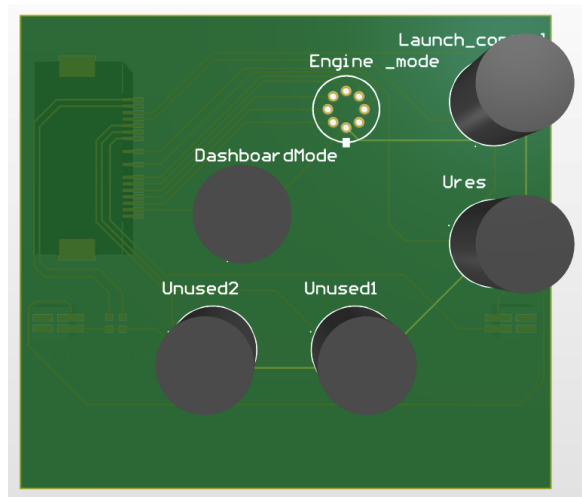
PCB-V4



PCB-V5



PCB-V6



PCB-V7

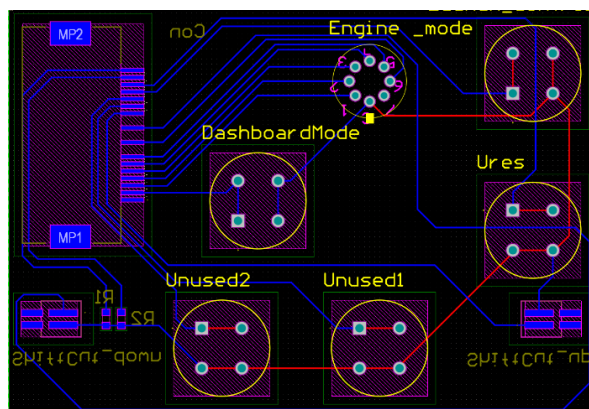
29. ábra: PCB 3D modellek

Fejlesztése:

1. **PCB-V1:** kétoldalú PCB sorkapoccsal ellátott nyák 3 nyomógommbal és 2 forgó kapcsolóval
2. **PCB-V2:** csak a méretben, illetve ebből adódóan az elrendezésben volt módosítás
3. **PCB-V3:** 1 nyomógommbal kiegészült és kevesebb állású forgókapcsolók, illetve a méret és az elrendezés változott
4. **PCB-V4:** az elrendezés változott és a sorkapocs helyett autóiipari csatlakozók (nagyobbak a csatlakozók, emiatt az elrendezés is változott)
5. **PCB-V5:** SMD csatlakozók az előző helyett (kisebb méret, illetve több pin kihozható a forgókapcsolókból) elrendezés
6. **PCB-V6:** csatlakozók hátoldalra kerültek, elrendezés
7. **PCB-V7:** műszerfal forgókapcsoló helyett gomb

Végleges funkciói a kapcsolóknak:

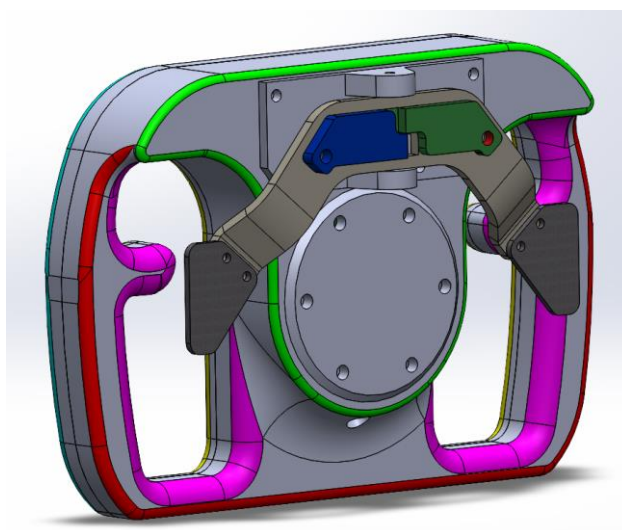
- **Engine mode** (forgókapcsoló): a motorvezérlő különböző üzemmódjait és a gyújtástérképet lehet változtatni
- **Üres** (nyomógomb): üres sebességfokozatba kapcsolja a váltót, szétkapcsolja a hajtást
- **Dashboard Mode** (nyomógomb): műszerfal üzemmód váltó
- **Launch control** (nyomógomb): rajt program
- **Unused 1** (nyomógomb): rádiós kommunikáció
- **Unused 2** (nyomógomb): Fuel override



30. ábra: PCB-V7 áramkör rajza

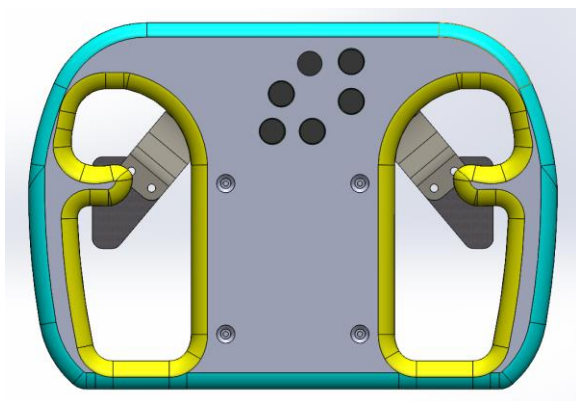
Sebességváltó szerkezet

Az általam választott kormánykerékre szerelt sebességváltó szerkezeti kialakítását gyakran illetik a „pillangó váltó” és a „paddle shifter” nevekkel, mivel a váltókar formája hasonlít a pillangó szárnyra, illetve a turbína lapátra.

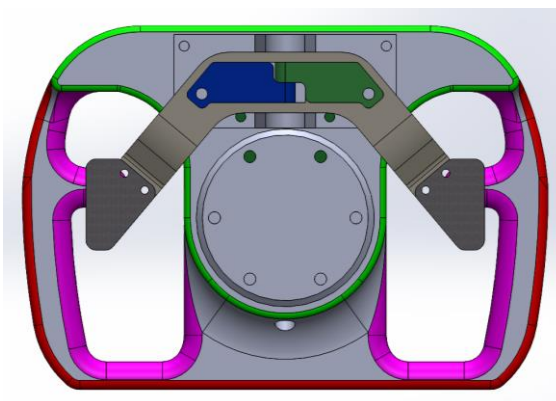


31. ábra: Sebességváltó szerkezet felszerelt állapotban

A szerkezet felépítése egy tartókonzoliból, egy váltókarból, kettő váltófülből, kettő mágnesstartóból, kettő állítócsavarból és egy csapból áll. Oldalanként lapmágneseket használva három különböző erősségű kapcsolást lehet beállítani. A lapmágnesek oldalanként 2-2 foglalatral rendelkeznek. Amiatt döntöttem az 1 váltókaros megoldás mellett, mert az üres sebességi fokozat egy külön nyomógombot kapott, így a megszokott két kapcsolókar jelenléte és azoknak az egyszerre behúzása nem volt szükséges.



Szemből nézet



Hátul nézet

32. ábra: OUR 002 kormánykerék 4. Verziója sebességváltóval

A működése a kapcsolónak a két oldalon lévő nyomógombok benyomásával történik meg. A kialakításából adódóan egyetlen kézzel is képes a pilóta fel és leváltani a kar fel és lehúzásával. Ez a két fül egyszeri behúzását is megakadályozza, ami azért előnyös, mert elektronika oldalról a vezérlésen is egyszerűsít. Továbbá a mágnesek segítenek a megbízható visszajelzés adásában a pilótának egy sebességváltás során. A kettő állítócsavarral a váltókar szintezését lehet beállítani, hogy mindkét oldal ugyanakkora utat járjon be. A váltófülek leszerelhetőek, ezért minden pilótának az igényei szerint lehet egyedi váltófül párt tervezni, ami tovább javítja az ergonómiát.

A nyomógombok pozíciójának az állíthatósága is tervben volt állítható magasságú mikrokapcsolók segítségével, azonban nem találtunk megfelelő mérettel és rögzítéssel rendelkezőt.

Gyorscsatlakozós kormányagy

Ez a kormányagy a bordástengelyes megoldáshoz képest egy egyszerűbb alakzáró (poligon) kötéssel kapcsolja össze a kormányoszlopot a kormánykerékkel. A két rögzítőcsap a kormánykerék oldali csatlakozó axiális irányú elmozdulását akadályozza meg. A nyomatékot alakzárással viszi át a kormányoszlopra ez a megoldás. Az előnye a bordázott megoldással szemben az, hogy kevésbé hajlamos a kopásból eredő plusz holtjátékra. Előnye még, hogy van benne beépített elektronikai csatlakozó.



33. ábra: Kormányagy összeszerelve és szét szerelve [9]

6.3 OUR 002 kormánykerék gyártása

A korábbihoz hasonlóan a második kormánykerék gyártásánál is szénszálakompozit lesz használva az alsó és a felső panelnél azzal a különbséggel, hogy most a 3D nyomtatott belső szerkezet formájáról nem lesz leválasztva. Emiatt majd a kiterhálósodott epoxy gyanta véglegesen hozzáragasztja a szénszálakompozit rétegeket a formához.

6.3.1 Felhasznált anyagok

Az anyagfelhasználás a korábbi modellel megegyezően kívülről szénszálakompozitból lesz elkészítve több kompozit réteg felhasználásával. A belső szerkezet 3D nyomtatással fog elkészülni és ehhez a Fillamentum által gyártott Nylon CF15 Carbon filamentet fogom majd felhasználni a számomra kedvező tulajdonságai miatt. Ez a filament egy nagy szilárdsággal, merevséggel, hőállósággal és kémiai ellenállósággal rendelkező anyag, ami kiváló a folyamatos és nagy igénybevételeknek kitett alkatrészekhez. A Nylon CF15 Carbon főbb technikai tulajdonságai: [15]

- | | |
|--|------------------------|
| - anyagsűrűség (20 °C-on) (ISO 1183): | 1,08 g/cm ³ |
| - szakítószilárdság (50 mm/min) (ISO 527): | 54,5 MPa |
| - szakadási nyúlás (50 mm/min) (ISO 527): | 103 % |
| - rugalmassági modulusz (50 mm/min) (ISO 527): | 500 MPa |
| - keménység (ISO 7619): | 75 Shore D |
| - Charpy fajlagos ütőmunka (ISO 179) (25 °C-on): | 86,2 kJ/m ² |

- olvadási hőmérséklet:

160 °C

6.3.2 Gyártási folyamat

A belső szerkezet a már ismertetett FDM technológiával fog elkészülni. A külső borítások a „skinning” módszer alapján lesznek majd legyártva. Ez a módszer a szép külső megjelenésen kívül tovább növeli a panelek szilárdságát és a merevségét. A folyamat több lépésből áll: [16]

1. A felületek megtisztítása, (120-as szemcseméretű) felcsiszolása és a hibák kijavítása.
2. Az alapozóréteg kikeverése majd felvitele a felületre.
3. A szénszálas szövet felhelyezése akkor amikor az alapozóréteg elérte a megfelelő tapadóképességét.
4. Az első réteg gyanta kikeverése majd felvitele a felületre.
5. Az első réteg gyanta megkötése után a felület újbóli (120-as szemcseméretű) felcsiszolása.
6. Három további réteg gyanta kikeverése majd felvitele a felületre miután az alapozórétegek elérték a megfelelő tapadóképességét. A negyedik réteg gyantát hagyjuk teljesen megkötni.
7. A negyedik réteg gyanta megkötése után a felület újbóli (120-240-es szemcseméretű) felcsiszolása majd megtisztítása.
8. Az utolsó réteg gyanta felvitele a felületre.
9. Az utolsó réteg (400-1200-as szemcseméretű) felcsiszolása majd polírozása.

6.4 OUR 002 kormánykerék összeállítása

Az összeállítása a második kormánykeréknek a korábbihoz képest egy összetettebb feladat. Az alsó panel hátoldali részéhez az osztó kör furataihoz csavarozzuk a gyorscsatlakozós kormányagyat. A hexagonális foglalatokba be kell illeszteni a távtartó anyákat és pillanatragasztóval a végleges helyükre rögzíteni. A sebességváltó szerkezetet négy csavarral a kijelölt helyeken rögzíteni kell az alsó panel hátsó felületéhez. Az elektronikát a helyére kell illeszteni, majd hozzacsavarozni a támasztékokba ágyazott menetes betétekhez. A kábeleket rendezni kell és ki kell vezetni a gyorscsatlakozó alatti furaton. Miután az alsó panelen elvégeztünk minden lépést a felső panelt ráillesztjük az alsó panelre és a kijelölt négy furatnál hozzacsavarozzuk az alsó panelben elhelyezett távtartó anyákhoz.

A két panel összeszerelése után a markolatokat betekerjük egy vékony bandázzsal. Utolsó lépésként a kormánykereket felhelyezzük a kormányoszlopra alakhelyesen.



34. ábra: OUR 002 kormánykerék összeállítása

7. Összefoglalás

A Formula Student versenysorozat számos kihívást állít a hallgatók elé, amiknek a megoldásával különböző módon lehet fejlődni szakmailag és emberileg is. A feladatok és a projektek véghez vitele alatt számos új ismerettel gazdagodhatnak a csapattagok. Például korszerű csúcstechnológiákat ismerhetnek meg a tervezés, a szimuláció, a gyártás és a tesztelés során, valamint a tagság ideje alatt számos új szakmai és baráti kapcsolatot építhetnek ki.

Az egyik legfontosabb feladat egy Formula Student versenyautó fejlesztése során a pilóta által közvetlenül működtetett és használt alkatrészeknek az ergonomikus kialakítása. A TDK dolgozatom során az egyik legfontosabb versenyautó elemnek, a kormánykeréknek a megtervezését tűztem ki célul. A kormánykerékkel a pilóta irányítja a járművet, ezért fontos, mint ergonómia és mint biztonság szempontjából a megbízható geometria megalkotása. Az alkatrész fejlesztése során számos új műszaki folyamatot és megoldást ismertem meg, mint például a modellezést, az ergonómiát, a prototípus készítést és a gyártástechnológiát. A tervezést SolidWorks CAD programban végeztem. Több forma elkészítése után jutottam el a végső megoldáshoz, amely esetében már a nyomtatott áramkör elhelyezését is figyelembe vettem.

8. Irodalomjegyzék

- [1] <https://fseast.eu/rules-important-documents-2024/> (2024.02.)
- [2] <https://www.formulastudent.de/fsg/rules/> (2024.02.)
- [3] Formula Student Rules 2024 Version: 1.1, 2024
- [4] <https://www.mclaren.com/racing/team/through-the-ages-formula-one-steering-wheels/> (2024.04)
- [5] Steven Fox: Cockpit Control Forces or How Robust Do Driver Controls Really Need To Be, 2010.07.10. <https://www.formulastudent.de/pr/news/details/article/steves-box-of-tricks/>
- [6] Szigeti, G., Vári, G., & Volczer, Á. (1970). Filozófiai kislexikon. Budapest: Kossuth Könyvkiadó.
- [7] Dr. Horváth Péter György: Ergonómia és Antropometria, InnoWood [ATHU059], Sopron, 2018.07.08.
- [8] Dulin, J. (1987). Ergonómiai kislexikon. Budapest: Népszava.
- [9] <https://bpracing.hu/> (2024.03.)
- [10] Dr. Bagyinszki Gyula, Borossay Béla, Dr. Kári-Horváth Attila, Kovács-Coskun Tünde, Mucsi András, Dr. Németh Árpád, Dr. Pálincás István, Dr. Szakál Zoltán, Dr. Zsidai László, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Szent István Egyetem, Óbudai Egyetem (2012) Kompozit Anyagok. ANYAGTECHNOLÓGIÁK. Typotex kiadó. pp. 26. ISBN 978-963-279-531-7
- [11] <https://cacomposites.com/carbon-fiber-reinforcements/carbon-fiber-fabric/> (2024.04.)
- [12] 3D nyomtatás-Polimer termékek kisszériás gyártása, BME, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, 2021.02.04.
[http://www.pt.bme.hu/futotargyak/94_BMEGEMTBEA1_2023oszi/E4_M4_T9_3D_nyomtat as_2023.pdf](http://www.pt.bme.hu/futotargyak/94_BMEGEMTBEA1_2023oszi/E4_M4_T9_3D_nyomtat%20as_2023.pdf)
- [13] <https://www.lamborghini.com/en-en/motorsport/motorsport-models/essenza-scv12> (2024.02.)
- [14] <https://www.behance.net/gallery/30905459/Steering-Wheel-formula-student> (2024.03.)

- [15]https://3d.nice-cdn.com/upload/file/Technical_Data_Sheet_Nylon_CF15_Carbon_03012019.pdf(2024.04)
- [16]<https://www.easycomposites.co.uk/learning/cover-parts-in-carbon-fibre-by-skinning>
(2024.04.)