



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

**PROJEKTEERIMISPROTSESSIDE  
SÜSTEMATISEERIMINE FS TEAM TALLINN  
NÄITEL**

**SYSTEMIZING OF DESIGN PROCESSES OF FS TEAM  
TALLINN**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Georg Kõivumägi

Üliõpilaskood 204370MATM

Juhendaja: Martin Eerme, professor

Tallinn 2023

(Tiitellehe pöördel)

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"22" mai 2023

Autor: Georg Kõivumägi

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"22" mai 2023

Juhendaja: Martin Eerme

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina, Georg Kõivumägi

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Projekteerimisprotsesside süstematiseerimine FS Team Tallinn näitel,

mille juhendaja on Martin Eerme,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

/digitaalselt allkirjastatud/

22. mai 2023

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loominguulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Georg Kõivumägi 204370MATM  
**Õppekava, peeriala:** MATM, Tootearendus ja tootmistehnika  
**Juhendaja(d):** Martin Eerme, professor, 6203270

### Lõputöö teema:

„Projekteerimisprotsesside süstematiseerimine FS Team Tallinn näitel“

“Systemizing of design processes of FS Team Tallinn”

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Analüüsida FS Team Tallinna vormelauto projekteerimise protsessi
2. Pakkuda välja lahendusi projekteerimise süstematiseerimiseks
3. Projekteerida näidiseks juhi ja vormelauto elektroonika vaheline liides

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Tudengivormeli 2021/2022 hooaja lõpetamine	12.09.2022
2.	Projektijuhtimisalase kirjandusega tutvumine	01.04.2023
3.	Möödunud hooaja analüüs ja paranduste pakkumine	01.05.2023
4.	Magistritöö koostamine	22.05.2023

**Töö keel:** eesti keel

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** “22” mai 2023. a

**Üliõpilane:** Georg Kõivumägi ..... “22” mai 2023.a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Martin Eerme ..... “22” mai 2023.a  
/allkiri/

**Programmijuht:** Martin Eerme ..... “22” mai 2023.a  
/allkiri/

# SISUKORD

Eessõna .....	6
1. Sissejuhatus .....	7
2. 2021/2022 hooaja analüüs .....	8
2.1. Meeskonna struktuur .....	10
2.2. Projekti tasuvuse faas .....	12
2.3. Projekti määratlemise faas .....	13
2.4. Projekti elluviimise faas .....	14
2.5. Projekti käitamise faas .....	14
3. Ettepanekud projekteerimisprotsesside parandamiseks .....	15
3.1. Projekti tasuvuse faas .....	15
3.2. Projekti määratlemise faas .....	15
3.2.1 Kontseptsiooni arendamine .....	15
3.2.2 Lahenduste projekteerimine .....	17
3.3. Projekti elluviimise faas .....	19
3.4. Projekti käitamise faas .....	20
Kokkuvõte .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Summary .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Kasutatud kirjandus .....	21
Lisad .....	22

## **EESSÕNA**

Antud magistritöö valmis Formula Student Team Tallinna algatusest. Soovin avaldada tänu juhendajale Martin Eermele ning kõigile Formula Student Team Tallinn 2021/2022 hooaja liikmetele. Lisaks soovin tänada inimesi, kes aitasid kaasa lõputöö valmimisele.

# 1. SISSEJUHATUS

Formula Student võistlussari on tootearendusvõistlus bakalaureuse- ja magistritudengitele. Iga-aastase arendus- ja tootmisprotsessi käigus luuakse uus üheistmeline vormelauto prototüüp, millega konkureeritakse rahvusvahelistel võistlustel teiste tehnikaülikoolide meeskondade vastu. Sarja eesmärk on anda tulevastele inseneridele praktiline väljund koolis õpitud teadmiste, et valmistada tude paremini ette tööturaks. Võistlusalad jagunevad staatilisteks ja dünaamilisteks. Staatilistel aladel on vaja põhjendada projekteerimisel tehtud valikuid autotööstuse tippinseneridele ja näidata oskuslikku eelarveplaneerimist. Dünaamilistel aladel sõidetakse kiirendust, kaheksasõitu, kvalifikatsiooni ja kestvussõitu, et panna proovile auto kurvisuutlikkus, kiirendus ning vastupidavus. Enne stardijoonetele lubamist tuleb autoga läbida tehniline kontroll, kus veendutakse auto turvalisuses ja reeglitele vastavuses. [1]

Formula Student Team Tallinn loodi 2006. aastal Tallinna Tehnikaülikooli ja Tallinna Tehnikakõrgkooli tudengite koostööl. Meeskonnal on valminud viis sise põlemismootoriga ja 11 elektrimootoriga vormelautot, lisaks on arendatud viis aastat isejuhtivaid vormelautosid. Autod kannavad nime FEST, nimetatud lühendina Formula Estonia auks. 2022. aastal võisteldi viiel võistlusel ja võideti kokku 35 poodiumikohta. [2] [3]

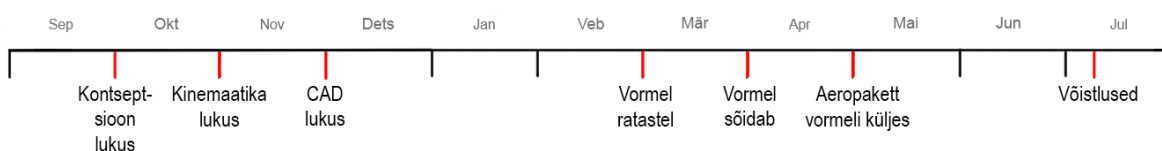
Magistritöö eesmärgiks on süstematiseerida tudengivormeli meeskonna FS Team Tallinn projekteerimisprotsesse. Lõputöö käigus analüüsitakse 2021/2022 hooaega, et leida praeguse disainiprotseduuri kitsaskohad. Saadud tulemuste põhjal leitakse kirjandusest lahendusi protsesside parandamiseks, et tagada aastast-aastasse ühtlaselt kõrge inseneeria kvaliteet. Lisaks otsitakse viise, et kiiremaks muuta uute liikmete kaasamine ja neile teadmiste edasikandumine. Projekteerimisprotsessid peavad võimalikult hästi põhjendama projekteerimise käigus tehtud otsuseid; olema lihtsasti hoomatavad ja [rakendatavad implementeeritavad](#).

Töö lõpuks projekteeritakse loodud protsessidega juhi ja vormelauto elektroonikasüsteemide vaheline liides, et katsetada loodud disainiprotseduuri. Näide aitab edaspidi rakendada süstematiseeritud projekteerimisprotsesse kõikidele meeskonna projektidele. Lõputöö käigus kogutud teoreetilised teadmised projekteerimisprotsessi juhtimisest aitavad edaspidi võistluste disainikaitsmise alal.

## 2. 2021/2022 HOOAJA ANALÜÜS

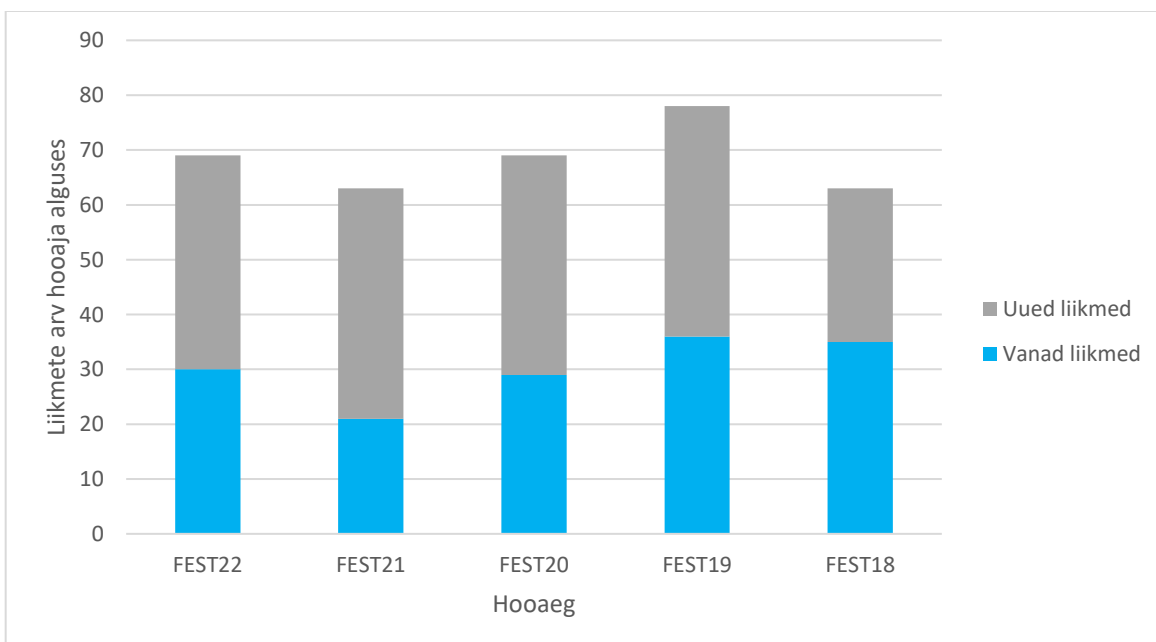
FS Team Tallinna eesmärgiks on propageerida inseneriharidust, olla Eesti inseneria eestvedajad ja pakkuda tudengitele koolis õpitud teadmistele praktilist rakendust. Organisatsiooni põhitegevuseks on vormelauto arendamine, ehitamine ja sellega võistlemine. [4]

Formula Student sarja projekti iseloomustab tihe ajagraafik, suur liikmete volavus ja kõrge konkurents. Formula Student Germany reeglid nõuavad, et iga aasta peab võistlusteks valmima uus vormelauto [5]. See paneb paika projekti lõpptähtaja. FS Team Tallinnas on välja kujunenud vahetähtjad, mis on välja toodud järgneval joonisel.



Joonis 2.1 Aastane ajajoon

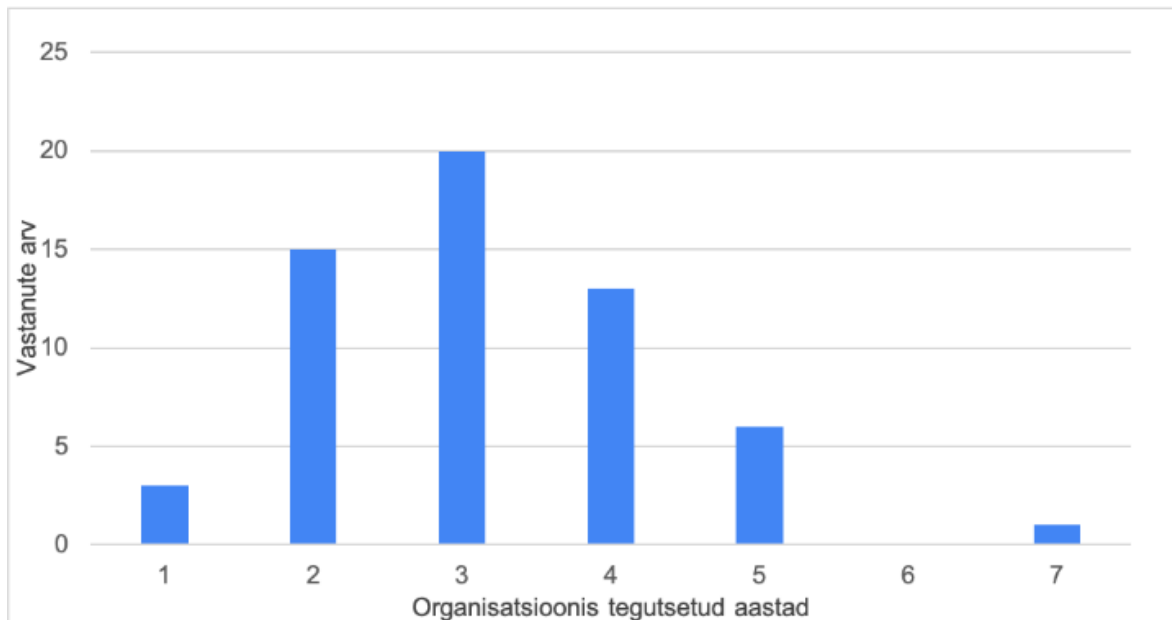
Sügiseti liitub meeskonnaga umbes 30 uut liiget, sama palju liikmeid lõpetab hooaja jooksul tee tudengivormelis.



Joonis 2.2 Erinevate hooegade alguses meeskonnaliikmete koosseis



Sarja reeglid lubavad projektis osaleda ainult tudengitel, seega on üks täisväärtuslik liige harilikult meeskonnas kuni viis aastat (vt Joonis 2.3). Regulaarne liikmete vahetumine eeldab väga head teadmiste edasikandumise viisi ja töökeskkonda, kuhu on lihtne sisse sulanduda.



Joonis 2.3 Endiste meeskonnaliikmete seas tehtud uuring organisatsioonis tegutsetud aastate kohta [6]

Konkurents on tihe meeskondade rohkuse ja kõrge taseme tõttu, näiteks elektrivormeli klassis osaleb 279 meeskonda üle maailma. Võistlustel saab koguda maksimaalselt 1000 punkti. 2022. aasta Austria võistlusel lahutas kolmandat ja neljandat kohta kolm punkti, Saksamaa võistlusel üks punkt. [7]

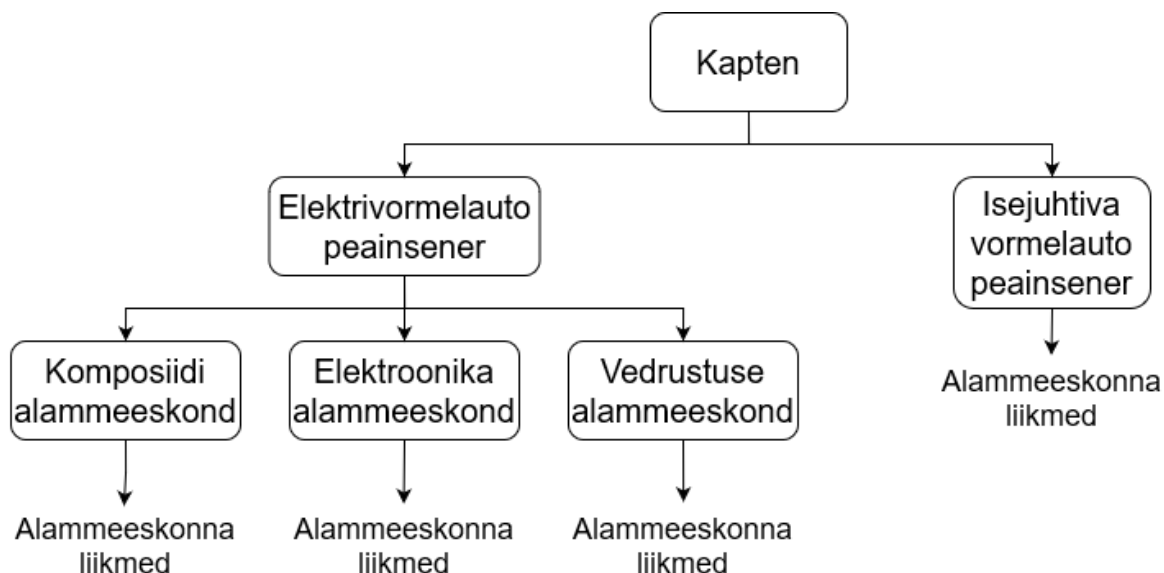
Kirjanduse põhjal on projekti elutsükli neli faasi [8]:

- Projekti tasuvuse faas
- Projekti määratlemise faas
- Projekti elluviimise faas
- Projekti käitamise faas

Järgmistes alapeatükkides analüüsitakse eelnevalt välja toodud faaside järgi 2021/2022 hooaega. Eraldi analüüsitakse meeskonna struktuuri ja finantside haldamist. Analüüsid käsitletakse ainult vormelauto ehitusega seotud protsesse, võistluste staatiliste alade kohta analüüsi ei tehta.

## 2.1. Meeskonna struktuur

Meeskonna struktuur on välja toodud joonisel 2.4. Kirjanduses välja toodud liigituste põhjal on tegu funktsionaalse organisatsioonistruktuuriga [9].



Joonis 2.4 Meeskonna struktuur

Meeskonda juhib kapten, kelle ülesandeks on tööks vajalike ressursside tagamine ja meeskonnaväline kommunikatsioon. Kapten peab kindlustama, et vormeli tootmiseks vajalikud komponendid, finantsid, ruumid, tööriistad, materjalid ja koostööpartnerid oleks olemas. Kommunikatsioon tähendab, et kapten peab suhtlema võistluste korraldajatega, koostööpartneritega ja meediaga. Võistlustele registreerimine, võistluste dokumentide esitamine ja võistlusreisi korraldamine on kapteni vastutusala. Koostööpartneritega on iga-aastaselt vaja teha kokkulepped, et mõlema osapoole huvid saaks täidetud. Meeskonna jaoks tähendab see raha, kauba või teenuse saamist, osadel juhtudel ka sponsorlusena. Meediasuhtlus on vajalik, et toetajad saaksid nõutud kajastuse ja tähelepanu. Lisaks on meeskonnale oluline ajakirjanduses figureerida, et teadustada võimalikele toetajatele ja uutele liikmetele FS Team Tallinna olemasolu, eesmäärke ja tulemusi.

Kuna kapten vastutab kogu organisatsiooni eest, siis tuleb ette kordi, kui meeskonna juht võtab kellegi teise ülesande enda kanda, selleks et see korrektselt tehtud saaks. Need hetked tekitasid 2022. hooajal probleeme, sest kapteni enda ülesanded lükkusid selle arvelt edasi. Tagajärjeks oli kehv finantsseis ja puudulik meeskonnaväline kommunikatsioon.

Kaptenist liigub vastutus edasi mõlema vormelauto peainsenerile. Peainseneride ülesandeks on vormelautode kontseptsiooni koostamine, projekteerimisprotsessi juhtimine, tootmise juhtimine ja tegevuste planeerimine, et peetaks tähtaegadest kinni. Lisaks koordineerivad peainsenerid testperioodi. Kontseptsiooniga pannakse paika eesmärgid, mis dikteerivad edasist projekteerimisprotsessi. Nendeks võivad olla sõidudünaamika parameetrid nagu mass, teljevahe, aerodünaamikapaketi surujõud aga ka töökindlus või muu mitteamvuline eesmärk. Projekteerimisprotsessi käigus peab peainsener jälgima, et meeskond töötab kontseptsioonis kokku lepitud eesmärkide nimel. Elektrivormeli puhul loob peainsener kompromisse, kui erinevate alammeeskondade lahendused ei sobitu omavahel. Isejuhtiva vormelauto juures pole väheste liikmete tõttu see vajalik.

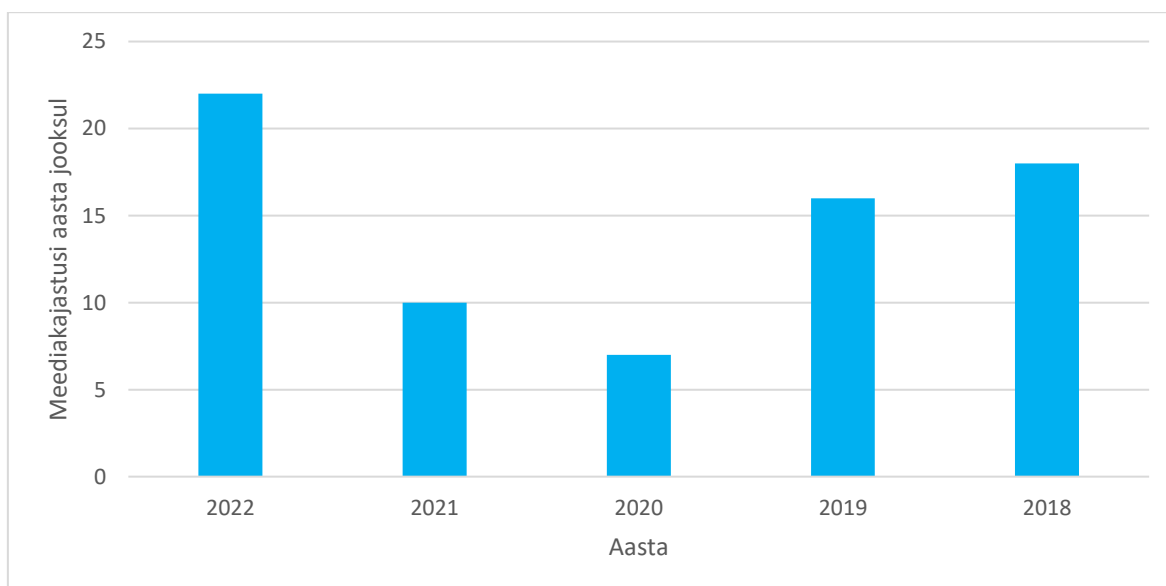
Peainsenerid jälgivad, et seatud tähtaegadest peetaks kinni. Elektrivormeli puhul ollakse alammeeskonnakaptenite tihedalt kontaktis, et jälgida projekteerimise ja tootmise kulgu. Kui tekivad etteseatud plaanist kõrvalekalded, siis peab peainsener tooma sellele tähelepanu ja leidma lahenduse, et saada töö tagasi graafikusse. Isejuhtiva vormeli juures vastutab peainsener üksi tähtaegade eest. Testperioodil koostavad peainsenerid testplaani ja jälgivad sellest kinnipidamist. Nad panevad paika testide eesmärgid ja koosseisud ning organiseerivad asukoha. 2022. hooajal oli probleeme tähtaegade täitmisega, rummude ja käänmikute tarneraskuse tõttu sai auto ratastele 39 päeva peale tähtaega. Kuna oli ette teada, et mainitud komponendid jõuavad hilinemisega, sai tehtud maksimaalselt ettevalmistusi ja auto sai sõitma kõigest 16 päeva üle tähtaja. Lisaks oli probleeme inverterite ja mootorite komplektiga, mistõttu terve juunikuu ei olnud võimalik testida. Tegu on ostutootega, mille remont ja hooldus toimub Saksamaal. Seetõttu kulus terve juuni aega, et vormel uuesti töökorda saada.

Elektrivormeli alammeeskondades on kaptenid ja liikmed, kellel on kõigil oma projekt, mille eest nad vastutavad. Isejuhtiva vormelauto meeskonnas raporteerivad liikmed otse peainsenerile. Sarnaselt kaptenile, jälgivad alammeeskonnakaptenid, et liikmetel oleks kõik tööks vajalikud materjalid ja tööriistad olemas. Peainseneriga on ühine kohustus kontrollida, et kõik liikmed töötavad kontseptsioonis märgitud eesmärkide nimel ja et tööd saavad tähtajaks valmis. Vastavalt projekti keerukusele või tähtaja saabumisele saavad kaptenid määrata liikmeid erinevate projektide juurde. 2022. aastal oli komposiidi alammeeskonnas monokokkkere tootmisega probleeme. Üks pool negatiivvormist deformeerus kõvenemise käigus ja see oli vaja uuesti toota. Tulemuseks oli, et kere hilines 18 päeva. Siiski, olukorda õnnestus leevendada sellega, et aerodünaamikapaketi eest vastutavad liikmed ajutiselt aitasid kere toota.

## 2.2. Projekti tasuvuse faas

Projekti tasuvust uuritakse harilikult enne seda, kui projekt käima lükatakse. FS Team Tallinn on aktiivne aastast 2007. Põhikirjas seati organisatsiooni eesmärkideks insenerihariduse propageerimine Eesti ühiskonnas ja noorõppurite seas, Eesti insenerihariduse taseme konkurentsivõime parendamine ja kõrgkoolide õppe- ning rakendusliku uurimistegevuse kooskõlastamine ettevõtluse ja tootmistegevuse reaalse vajadustega [4].

Insenerihariduse propageerimiseks ühiskonnas teeb meeskond pressiteateid projekti käekäigust. Joonisel 2.5 on välja toodud viimaste aastate teadete arv. Noorõppuritele käiakse üldhariduskoolides tutvustamas meeskonna olemasolu ja tegevusala. Tänavusel hooajal on kohtumine toimunud 13 erineva kooli õpilastega.



Joonis 2.5 Aasta jooksul meeskonnast ilmunud meediakajastused

On uuritud FS Team Tallinna kogemuse väärtustamist Eesti tehnoloogiaettevõtete seas ja saab öelda, et meeskonnas saadava insenerihariduse tase on konkurentsivõimeline:

„Töötajate uuringust saab järeldada, et tudengiorganisatsioon Formula Student Team Tallinna üks suurimad väärtusi on praktilise väärtuse loomine akadeemilises keskkonnas. Üliõpilasorganisatsioon loob soodsad tingimused astuda valdkonda õpingute ajal ning omandada mitmeid oskusi, mis on relevantssed valdkonnas hilisema karjääri jooksul ning mis on hinnatud tööandjate poolt.“ [6]

Sama uurimus kinnitab ka seda, et kõrgkoolide uurimistegevus on kooskõlas ettevõtluse reaalse vajadustega:

„Tööandjate uuringust on võimalik järeldada, et tudengiorganisatsiooni Formula Student Tallinn on tööandjatele üks oluline allikas, kust leida enda töötajad. Tööandjad peavad oluliseks faktorit, et üliõpilasorganisatsioonis tehtav töö on sarnane ettevõttes tehtavaga, ning FSTT platvorm võimaldab tööandjal olla ühenduses noorte inseneride kogumiku tipuga. Selline omavaheline olukord tudengiühenduse ning ettevõtete vahel loob soodsa, mõlemale tulemliku keskkonna.“ [6]

Organisatsiooni põhikirjas on toodud meeskonna põhitegevusteks Formula Student võistlusautode projekteerimine ja ehitamine osalemaks rahvusvahelistel võistlustel, autotehnika-alane täiendõpe praktilise tootearenduse projektõppe meetodil ja koostöö arendamine kõrgkoolide ja masinaehituse ettevõtete vahel.

Meeskonna tegutsemisaja jooksul on valminud 15 vormelautot ning kõikide vormelautodega on käidud ka rahvusvahelistel võistlustel. FS Team Tallinnal on 61 koostööpartnerit, kellest 28 on masinaehitusettevõtted, kes pakuvad meeskonnale materjale, komponentide tootmisteenus ja ka finantse. Sedasi arendab organisatsioon ettevõtete ja kõrgkoolide vahelist koostööd. [2]

Eelnevalt välja toodud punktide põhjal saab kinnitada, et FS Team Tallinn täidab oma seatud eesmärgid ja põhitegevusi. Kuna projekt on kestnud juba 15 aastat siis saab kinnitada ka tegevuste jätkusuutlikust, kestvust ja tasuvust.

## **2.3. Projekti määratlemise faas**

Projekti määratlemise faasis on praktikas välja kujunenud kolm olulist tähtaega:

- 1. oktoobril peab olema paigas uue vormelauto kontseptsioon
- 1. novembril peavad paika saama vedrustuse kinemaatikapunktid
- 1. detsembril peab vormelauto olema valmis CAD tarkvaras.

Need kuupäevad on selliselt kujunenud, et vormeli monokokk-kere positiivvormid saaks minna detsembri esimeses kolmandikus tootmisesse. See tagab, et hiljemalt jaanuari esimeseks nädalaks on vormid meeskonna käes. Kere peab hiljemalt olema valmis 1. märtsiks, mil auto peab saama ratastele.

Tähtaegadest kinnipidamine on üheks meeskonna murekohaks, sest palju on hiline mis ja tähtaegade möödalaskmisi. Selle üheks põhjuseks on liiga laiade eesmärkide

seadmine kontseptsiooni, lisaks on puudu eesmärkide täitmiseks vajaliku plaani koostamine.

## **2.4. Projekti elluviimise faas**

Tootmise, aja, pinkide ja materjalide planeerimisega seotud probleemid.

## **2.5. Projekti käitamise faas**

Testplaani tegemine, ootamatustega tegelemine, võistlusreisi korraldusega seotud probleemid.

## **3. ETTEPANEKUD PROJEKTEERIMISPROTSESSIDE PARANDAMISEKS**

### **3.1. Projekti tasuvuse faas**

Projekti tasuvusega on hästi, eesmärk võiks olla stabiilne üldharidusasutuste külastamine ja regulaarne pressiteadete väljastamine.

### **3.2. Projekti määratlemise faas**

#### **3.2.1 Kontseptsiooni arendamine**

Arendusprojektide, nagu seda on lõpptootena valmis vormeli ehitamine, edu taandub praktilisele osale eelnevale projekti määratlemise ja riskide hindamise faasile. Kasu ei ole tootest, mis ei ole valminud rahvusvaheliste võistluste tähtaegu jälgides ja ei ole tagajärjena lubatud võitlustele. Seega peaks projekti edu tagamiseks olema esmalt paika pandud projektitähajad, millest kinnipidamise vastutus on igal liikmel.

Kontseptsiooni kinnitamine on esimene osa projekti määratlemise faasist, praktikas nimetatakse seda ka algatamise faasiks. Kontseptsiooni loomisel pannakse paika uue hooaja vormeliauto sihtmärgid ja vajadused. Iga hooaja eesmärgiks peab olema parendatud ja innovatiivsema vormeliauto loomine, vältides eelmise hooaja vigu ja neist õppides. Projekti määratlemisele lisaks on oluline projektiplaani koostamine, et kokkulepitu ei jääks vaid teoreetiliseks ja ebakindlaks. Projektiplaani koostamisel ja projekti määratlemisel on projekti edule võrreldes elluviimise ja käitamise faaside kõige suurem olulisus, sest just siis pannakse paika mitte ainult olulisemad tähtajad vaid ka toote vajadused. Toote vajadused kaardistab meeskond eelmise hooaja analüüsi põhjal, mille käigus pannakse kirja täheldatud vormelauto nõrkused ja ettepanekud uue auto suutlikkuse kasvatamiseks. 2021/2022 hooaja elektrilise vormelauto kontseptsioon on välja toodud lisas 1. Kontseptsioonikirjest peegeldub formaalsuse puudumine, mis

laieneb meeskonna tervele projektiplaani koostamisele. Projektiplaani on piiratud mahus olemas alammeeskondadesiseselt ja meeskonnakaptenil mitteametlikul kujul, kuid korrektset vorminõuetele vastavat projektiplaani ei ole hooaja jooksul koostatud.

International Journal of Project Management avaldas aastal 2002 uuringu, mille kohaselt juba siis pidas 87% vastanuid projektiplaani koostamist selgelt kirja pandud eesmärkidega projekti õnnestumise seisukohaste esmatähtsaks, teisel kohal olulisuselt oli realistlike tähtaegade määramine. Kuigi uuring on tänaseks enam kui 20 aastat vana, ei ole projektiplaani kasumlikus kahanenud, kuivõrd see aitab ka meeskonnale ühised eesmärgid ja edasise sihi selgelt ja üheselt mõistetavaks teha. Meeskonna jaoks on kõige olulisemal kohal juba eelnevalt mainitud kontseptsioon või ka projekti ulatus, ehk oluline on selgeks teha mis osa projektist on võrreldes eelmise aastaga vaja muuta või parendada. [10]

Just projektiulatus annab juhised, mil määral on vaja vormeliautot meeskonna enda poolt arendada võrreldes sellega, mida tasub sisse osta kas teenusena või juba valmis täistootena. Näitena saab tuua mootorite ja inverterite komplekti ostu, mille meeskond ostab valmistootena ja iseseisvalt ei arenda. Tänapäeval on ost kajastatud eelarves ja valmistoote ostu tagamaad ning põhjendatus on teada konkreetse tootega kokkupuutuvatele liikmetele, kuid see ei kajastu meeskonnale üldiselt kättesaadavates materjalides. Üldise läbipaistvuse ja üheselt arusaadava projekti ulatuse mõttes on oluline ka ulatus juba hooaja alguses paika panna, et need teadmised ei oleks vaid paaril võtmeisikul. Sellise informatsiooni formaalselt kirjapanek ja dokumenteerimine projektiplaanis on kasulik ka meeskonna tulevase perspektiivikuse osas, kuivõrd tulevased meeskonnad saavad ka aastaid hiljem jälgida varasemalt tehtud otsuste taga olnud mõttekäiku. Samuti hoiab see ära ohu, et projekt valguks kriitilisel hetkel laiali või jääks õigel hetkel tähelepanuta olulised kaalutlemist vajavad üksikasjad. Näiteks otsused, kas kasutada juba ehitusetappi jõudes eritellimusena valmivat detaili, mis on ajakulukas protsess või valmistada see meeskonna poolt ise. [10]

Sisseostetud tellimustööna valminud detail võib säästa aega kui inimressurssi, kuid ise tehes on teada täpsed vajadused, valmimise edasimineku on reaalselt jälgitav ja säästab rahalisi ressursse. Need on kaalutlused, mis tuleb projektiplaanis just ulatuse all juba hooaja alguses selgeks teha. [11]

Siiski on kontseptsioon ja ulatus eristatavad ja ka vajavad kahte eraldiseisvat analüüsi, mis küll sõltuvad teineteisest kuid määravad erinevad eesmärgid. Kontseptsiooni eesmärk on kirja panna eelneva hooaja vormelauto tehnilised tähelepanekud, kuid see peaks sisaldama ka plaani, kuidas leitud ellu viia, et analüüs ei jääks vaid teooriaks



paberil, vaid et leitud lahendused jõuaksid ka läbi elluviimisplaani reaalsuseks. Seevastu ulatus määratleb ära projekti piirid, millest üle ei ole mõtet minna.

### **3.2.2 Lahenduste projekteerimine**

Projektijuhtimissüsteeme on mitmeid, kuid neist kaks on sellised, mis oleksid meeskonna vajadustele sobivad ja kergesti rakendatavad, et viia meeskonna kasumlikus maksimumini ja saavutada oma eesmärgid õigeteks tähtaegadeks. Esimene soovitus on rakendada projekteerimisperioodi jooksul scrum meetodit, mille kasutamist tasuks kaaluda uue hooaja projektiplaani koostamisest kuni projekteerimisfaasi lõpuni.

Scrum on oma olemuselt agiilne projektihalduse raamistik, mis on eelkõige tuntuks saanud läbi selle laialdase kasutuse IT sektoris. Scrumi eesmärk on olla paindlik ja projekti elukäigule ning kiiretele muutustele võimalikult kergesti kohanduv. See võimaldab meeskonnal saada tagasisidet kiiremail ja efektiivseimal viisil võimaldades kohandusi teha juba projekti ja arendustöö käigus, mitte alles CAD-mudeli lõpufaasis. Scrum meetod jaotab projekti väikesteks osadeks, mille eesmärgid on lühikese ajaga saavutatavad, ehk sprindid. Keskmiselt kestab üks sprint kaks nädalat, kuid vastavalt projektile võib see olla ka pikem, kuid kuni paar kuud. FEST keskmine projekteerimisperiood on 3-4 kuud, mistõttu võiks eelkõige projekteerimisperioodile scrum meetodi rakendamine ajaliselt sobida.

Scrumi Sprint võib olla ühest nädalast kuni kuuni, FEST näitel kuni kolme kuuni, olenevalt kokkuleppest. Iga sprint algab groomingu ehk planeerimisega, mille jooksul pannakse täpselt paika kuidas eesmärgini jõutakse kliendilt saadud sisendi põhjal. FEST puhul on kliendi sisendi asemel eelmise aasta analüüsi põhjal valminud kontseptsioon, mille põhjal planeerimise eesmärgid paika pannakse, mis seejärel lammutatakse scrumi tiimi poolt tehnilisteks ülesanneteks, mida on vaja teha et see konkreetne kontseptsiooni eesmärk saavutada. Just planeerimisfaasis pannakse paika ka projekti ulatus, millest on lähemalt räägitud peatükis 2.3.

Keskne roll on Scrum Masteril, kelle ülesandeks on scrumi raamistiku ja meetodi rakendamine, et tagada kommunikatsioon, ja luua koostööaldis töökeskkond oma meeskonnale. Samuti on scrum master see, kes korraldab regulaarseid koosolekuid ja vastutab läbipaistvuse eest ja projekti kulgemise edukuse eest. FEST puhul võiks üheks potentsiaalselt sobivaks isikuks Scrum Masteri ülesannete täitmiseks olla peainsener, kes võiks meeskonnatöös ja projekteerimisetapi jooksul rakendada mõningaid scrumi

põhimõtteid. Projekteerimine on kiire ja kriitiline aeg, mille jooksul on meeskonnaliikmete omavaheline suhtlus ja tööülesannete koordineerimine peainseneri tööülesannete hulgas. Scrum meetodi jälgimine peainseneri poolt annaks talle võimaluse jagada töö väikesteks käegakatsutavateks etappideks, mis on omavahel vastavalt ülesande sisule ära jagatud alammeeskondade vahel.

Oluline on vahet teha ka Scrum Masteril ja projektijuhil, sest praktikast tulenevalt ei ole need sama isiku ülesanded, vaid nende vastutusala on erinevad. Projektijuhi ülesanded hõlmavad endas üldist projektikorraldust, eelarvest kuni meeskonnaliikmete haldamiseni, samas kui scrum masteri ülesanded on tehnilisemad ja vajavad tihedat ülevaadet liikmete igapäevaülesannetest, mis projektijuhi vaates ei ole oluline, et ta iga liikme arenguga kursis on. Sama analoogi saab tuua ka FEST puhul, kus peainseneri ülesanne on olla kursis liikmete ja alammeeskondade ülesannete käekäiguga, mis kapteni jaoks ei pruugi sellises detailsuses olla oluline. Kapteni jaoks on oluline saada tagasisidet terviklikumalt, kui seda on iga liikme eraldiseisev päevatöö tulem ja nädalaeesmärk. Seetõttu on ka üheks Scrum Masteri tööülesandeks meeskonna edasimineku kohta aru andmine projektijuhile. Sellele järgneb projektijuhi poolt antud tagasiside lahtitõlgendamine Scrum Masteri poolt edasisteks ülesanneteks, et ettepanekud ka ellu viia. Sama analoogi annab kasutada ka peainseneri ja kapteni omavahelises suhtluses, kus peainsener on vahendajaks alammeeskonna kapteni ja meeskonnakapteni vahel.

Meetodi kasutamise kasuks räägib ka asjaolu, et sarnane projektijuhtimismeetod on kasutusel ka tänasel päeval, kuid seda lihtsustataud versioonis ja sellel ei ole kindlat paikapandud struktuuri, nagu on seda Scrum meetodil.

Alammeeskondade koosolekul nii peainseneri kui ka kapteni kohalolu võib osutada tihti dubleerivaks ja ajaressursikulukaks, kui seda aega saaks meeskonnakapten kasutada muuks tema tööülesannetele vastavalt olulisteks toiminguteks, sest erinevalt tavaliikmest või alammeeskonnakaptenist, kellel on lisaks tavapärasele ametist tulenevatele ülesannetele nädalas kaks koosolekut, on kaptenil nädalas vaja osaleda viiel koosolekul, kus kohaloluga kaasnev ajakaotus ei pruugi üle kaaluda kasumlikust. Sellele räägib aga vastu omakorda asjaolu, et kapten kohalolek alammeeskondade koosolekul on motiveeriv liikmetele ja annab tunde, et tema töö ja panus on hinnatud ja suure olulisusega. Lisaks on kaptenil endal isiklik huvi koosolekul osaleda, sest kapteni ametisse valituks saamine eeldab teatavat eelnevat tööstaaži meeskonnas. Juba oma varasematest kogemustest tulenevalt võib kaptenil olla head sisendit käesoleva probleemi osas, sest aastatepikkuse kogemusega on sarnas olukorda suure tõenäosusega juba varem käsitletud.

Üheks suurimaks scrum süsteemi kasutuselevõtule kasuks rääkivaks probleemiks on raskused tähtaegadest kinnipidamistega. Varasemalt on võetud korruga liialt suured eesmärgid millele on pandud vaid lõpp eesmärk ja mõningad vaheetapid kirjas, kuid neil ei ole konkreetseid tähtaegu ja nii on aja liigne kulutamine ja venimine erinevates etappides raskelt välditav. See on kujunenud ka meeskonnasiseseks üheks probleemiks, sest vormelauto valmimine õigeaks ajaks on võistlusreisidele saamise eelduseks.

### **3.3. Projekti elluviimise faas**

Gantti graafikute eesmärk on jagada väikesteks sammudeks pikemaajalised ja keerulised projektid, millel on palju komponente ja mille tähelepanuta jätmise õigel ajal on kerge tulema. See on üks enim kasutatavaid planeerimis- ja juhtimisdokumente ajakavateabe edastamiseks, sest see pakub tõhusat esitlust, mida ei ole mitte ainult lihtne mõista ja omastada paljudele inimestele, vaid see edastab ka planeerimis- ja ajakavateavet täpselt. Seetõttu on oluline, et projektijuht mõistaks Gantti graafiku omadusi, et saaks protsessi tõhusalt juhtida [8]. Iga ka alammeeskonna viivitus võib ohtu seada kogu vormelauto õigeaegse valmimise, sest kuigi meeskondadel on erinevad ülesanded ja vastutusosalad, siis on need omavahelises sõltuvuses. Näiteks kui komposiit ei saa õigeaks ajaks valmis monokoki positiivreformi lihvimist ja värvimist, siis sellest sõltub ja omakorda venib veermikumeeskonna töö, kes ei saa autole vedrustust kere külge panna. Seepärast on projekti edukuse võtmekohaks alammeeskondade tähtaegadest kinni pidamine. Just siinkohal aitaks kaasa ka igale alammesskonnale sisese Gantti loomine konkreetsete tööülesannetega, näiteks panna konkreetset kirja periood värvimise ettevalmistamiseks lamineerimisprotsessi jaoks, et tagada õigeaegne valmimine ja kere üleandmine veermikumeeskonnale. Sellest tulenevalt peavad ka alammeeskondade Gantti graafikud olema omavaheliselt kooskõlastatud, et tagada töö sujusus üleandmisel ja vältida töö seisakut.

Gantti etappideks ja sammudeks jaotamise iseloomust tulenevalt on ta otseselt vastandlik scrumi põhimõtetele. Gantti eesmärk on projekti esimeses faasis valmis teha jäik ajaarvestuslik plaan, millest kinnipidamine peaks olema iga liikme kui ka meeskonna ühine vastutus ja muudatuste tegemine pigem erandlik, kuivõrd iga järgmise etapi kui ka teiste meeskondade töö sõltub koordineeritud graafikutest. Seevastu scrumi meetodi eesmärk on olla võimalikult paindlik ja olukorraga arvestav,

et saaks vajalikud projektimuudatused koheselt sisse viia ja et tulemusteni jõuda läbi sprint-etappide. Mõlemal meetodil on omad plussid ja miinused ja oma kasumlikud tegurid, mistõttu nad sobivad erievateks projektietappideks.

Scrumi meetod on hea projekteerimisetapis, kuid ei annaks kasumitegurit ehitusperioodil, kus ta võib praktikast tulenevalt jääda jalgu, sest praeguses on üheks probleemiks just nimelt liigne tähtaegade voolavus ja eiramine.

### **3.4. Projekti käitamise faas**

Hooaja lõpus tuleks analüüsida saavutusi KPIdega. KPId on head juhtkonna tasandil, detailil peaks olema teistsugused kvaliteedianalüüsi meetodid.

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Formula Student Germany. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 22. mai 2023. a]  
<https://www.formulastudent.de/about/concept/>
2. FS Team Tallinn koduleht. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 22. mai 2023. a]  
<https://www.formulastudent.ee/et/>
3. <https://taltech.ee/uudised/tudengivormelid-toid-suviselt-voistlusreisilt-tallinnasse-35-podiumikohta>
4. MTÜ Tudengi Vormel. MTÜ Tudengi Vormel põhikiri. Tallinn, 2007.
5. Formula Student Germany reeglistik 2022. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 22. mai 2023. a]  
[https://www.formulastudent.de/fileadmin/user\\_upload/all/2022/rules/FS-Rules\\_2022\\_v1.0.pdf](https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2022/rules/FS-Rules_2022_v1.0.pdf)
6. Kurg, Julia. Tudengiorganisatsiooni Formula Student Team Tallinn kogemuse väärtustamine Eesti tehnoloogiapõhistes ettevõtetes organisatsiooni vilistlaste ja tööandjate hinnangul. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2020.
7. Formula Student Electric – World Ranking List. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 22. mai 2023. a] <https://fs-world.org/E/>
8. Burke, Rory. Project management: planning and control techniques. Chichester: Wiley, 2013.
9. Perens, Algis. Projektijuhtimine. Tallinn: Külim, 2001.
10. D. White, J. Fortune, „Current practice in project management – an empirical study“, International Journal of Project Management, vol. 20, no. 1, p. 6, 2002, doi: 10.1016/S0263-7863(00)00029-6. [Kasutatud 22. mai 2023. a]
11. Clark, Kim B. Project Scope and Project Performance: The Effect of Parts Strategy and Supplier Involvement on Product Development. Boston: Harvard University, 1989.

# LISAD

## Dünaamika

- JS
  - Torque mode
  - Traction control
  - Modulaarne ülesehitus
  - Yaw controller
  - Töökindel powerlimiter
  - Piirajad ennem kui setpointide arvutused
  - Ei tekita AMK erroreid - mootori mudel
  - Rehvimudel implementeerida
  - Aeromap implementeerida
  - Stabiilne pidurdamine
  - Algajal juhil autoga lihtne sõita
- Aero
  - Põhjaalune tööle saada. Hetkel difuusor variseb, sest:
    - Täpselt ei tea, eesmärk ongi see välja selgitada.
    - Kurvianalüüs tööle saada
    - Lõngatestid
    - Teooria lugemine: hakkab olemasolevast pihta.
    - Nookumisest ja rullumisest pihta hakata
    - Võib arvata, et nookudes esiosa maas, tagaosas üleväl ja ei saa eest piisavalt õhku põhja alla
    - Võib arvata, et kurvis liigub tagaratta wake põhja alla
  - Esitiib ülejäänud autoga tööle saada
  - Esitiib ei käi vastu maad
  - Kurvianalüüsi teha
  - Analüüsid saada esimese korruga käima
  - Mattiasega rääkida nookumise/rullumise kraadid paika
  - Aeroanalüüsist automaatselt tulemused välja
  - Centre of Pressure oma asukohta hoidma

## Lisa 1 FEST22 kontseptsioon

- Vedrustus
  - Seadistatav sõidumugavus
  - Algajal juhil autoga lihtne sõita
  - Toelink pocket ära kaotada
  - Mõista, miks praegune auto ei tööta
    - Miks on alajuhtiv, kuigi peaks olema neutraalne
    - Kas on seotud väändejäikusega
    - Miks stabika regull ei tööta?
    - Miks pidurdamisel stabiilsust pole?
  - Mida esistabikas annaks?
  - Esimene magic number
    - Miks peab olema 64,5
    - Tuleneb rollcenterite vahet
  - Rehvile korralik mudel
    - Rehvi valik

## Efficiency

- Kuhu energia kaob?
- Mis on suurim kulutaja?
  - Ülekanne
    - Superfinish ja täpne tootmine parandavad olukorda
    - Laagrid väiksema veeretakistusega
    - Mootoritele hästi väikeste sammudega torque'i lisada ja siis saab teada, mis momendi juures ringi hakkab käima
  - Mootor
    - Oleks võimalik paigaldada faasidele voolumõõturid, saaks mootoritele mineva võimsuse teada
  - Inverter
    - Faasidele voolumõõturid
    - Aga ega vist ei saa voolu järgi teada
    - Pigem mõõta pinget/pingelangu

- Mehaaniliselt seade/veeretakistus
  - sõitma hakkamiseks vajalik moment välja selgitada
- Aero
  - Analüüs+saab katsed teha
- Sõidustiil
  - Otsene mõju ringiajale ja tarbimisele
- Aku
  - Takistused miinimumi viia
- Juhtmete ja ühenduste kaod
  - Võimalikult lühikesed, võimalikult vähe ühendusi
  - Korralikud ühendused
  - Ristlõike pindala arvutus uuesti üle vaadata
- Juhtmissüsteem
  - Otsene mõju ringiajale ja tarbimisele

## Elektronika

- Akupakk
  - Maandus korralikuks
  - El.sektsiooni koomale tõmmata
  - El.sektsiooni kaas kevlarist
- Kontroller
  - Datalogger paremini paigutada
  - Kõrvade lahendus halb
  - Sektsioonid omavahel kinnitada insertidega
  - Busbar või juhe?
  - Ilma kraeta ferrulid
  - Maandused korralikuks, ilma tapita
  - Vase asemel mingist muust materjalist võrk?
  - Kõik pistikud CADi
- LV elektronika
  - El. komponentide karp vaheseina taha
  - GSS arvuti ilusti kinnitada

## Komposiit

- Kere
  - templated lähevad sisse
  - vaskvõrk keres
  - akukast tagant välja
  - õlarihmade kinnitus kõrgemale
  - dashi, vaheseina, peatoe, IMU, splitteri, aero inserdid
  - 5kraadi ei tule aga mingi kraad tuleb.
  - akukasti poldi pesa.
  - edge distantis igal kinnitus punktil
  - tagasein suurem
  - kaussideta inserdid
  - Vedrustuspunktidele võimalikult palju vastu tulla. Koogi pinnast 20mm (esimesed alumised erand)
  - front hoopide lamineerides cut-out
  - Ruutprofiiliga kõrv, keevitus kõrva vahele
  - Rooli vahetükk ära kaotada/dashi pind juhile lähemale
- Ergonoomika
  - rooli asend paremaks / rool
  - pedaalide nurk
  - pedalbox kiirelt reguleeritavaks
  - iste mis ei sõida ringi ja toetab juhti
  - peatuge suuremaks
  - normaalsed kannad toed ja raamile eraldi kinnitus.
  - Rihmade asend veelt mugavamaks.
- Vahesein
  - vormiga vahesein ja raam
  - positsioneerimine läbi insertide
  - kindel läbiviik
  - veekindlaks
  - vaheseina kinnitus (kiirkinniti)
- Akukast
  - kitsamaks kõrvade arvelt
  - seinapaksus 6.5mm
  - elsektsiooni paremaks
  - kaane kinnitus ümber mõelda
  - paremad fikserid, inserdid
  - vaskvõrku kasutada või midagi muud head juhtivat
- Veljed
  - montaaži soont paremaks
  - offseti muutus
  - ventiili asukoht
  - ääred tugevamaks

- Aero tootmine
  - profiilide asendi kiire muutmine
  - raadiused arvesse võtta
  - kinnitused läbi mõelda.
  - jäikuse tagamine: arvutused ja FEM
  - DRS-i mehaaniline töö ja töökindlus
  - Esitiiva kinnitus (tiiva asendi tagamine) lahendus
  - Arvestada suuremate vahedega
  - juht ja juhita kõrguse vahemiku tagamine
  - poldi valik üle mõelda
  - tagatiiva kinnitus
  - vendi kinnitus ja paigutus
  - õõtsade alasse mitte aerot panna
- kardaanidide vahetust uurida
  - Reegleid jälgida
- Lati disaini muuta, et koostada oleks lihtsam
- Hooldatav lati polditavate piirajatega

## Vedrustus

- Nurgakoost
  - Bobinite peale
  - Laagrite muutmine
  - Tikkpoldi valemit muuta (3xM10 näiteks)
  - Polditav ülekande osa käänmikule (freesi väiksemad töö pikkused)
  - Simmerid
- Ülekanne
  - Muudetud ülekandetegur (efficiency tõus)
  - Täpne tootmine
    - tõukamise tööriista inserdi kujusse viimine ja kulumine
    - Peale igat protsessi mõõta
  - Superfinish
  - Mooduli muutmine (kui on võimalik ja põhjendatud)
  - Uurida materjali termotöötamise protsessi
- Käänmikud
  - Camber pickup täpsem positsioneerimine
  - Lihtsam toodetavus
  - Uurida 3D prinditud lahendust
- Roolisüsteem
  - Lõtku elimineerimine
    - hammaslati ja pinioni täpsem tootmine ja koostamine
    - Quick release vahetus
- Pidurid
  - Pedalbox
    - Siinidele
    - Asendite suurem valik
    - Pedaali tunnetus
    - Regen käik (15mm)
    - vedru ära kaotada
    - Peasilindrid mis ei leki
    - Isearendatud
    - ülekandeteguri muutmine
    - Pedaalide nurk mugavamaks (rohkem pikali)
    - Damperi jäikus
    - Balancebar suurem reguleerimisvahemik
    - Töökindel BOTS
    - balanssi tuleb uurida, Exceli oma ei ole hea
  - Pidurisüsteem
    - temperatuurid
    - tihendite eluiga
    - Teraskettad
    - Klotside valik
    - Tribolaboris vaja käia
    - Pidurdusjõud suuremaks
    - hõõrdetegur ja balancebar
    - Pidurivoolikute rõhk
    - Hydroscandis pressida lasta
    - Pidurite peale jäämise probleem
- Õõtsad
  - Kõrva ja õõtsa loogika muutmine
  - Lapikute õõtsade projekt
  - Kõikide konnektorite titaanist printimine
  - Isetehtud toru katsekeha
  - Alusega söövitamine
- Kõrvad
  - Standardsem lahendus
  - ühtsemad poldivalemid
  - Liigend kõrva külge
  - Mahalõige treipingis
  - Koonusseibi materjali valik



- Stabikas
  - Toru valik
  - olenevalt jõust väiksem carbon toru
  - Laagrite valik
  - Nõellaager ja blade toetavad laagri (kas on üldse vajalikud?)
  - Konnektori ja blade ühendamise viis
  - asendi fikseerimine
  - Konnektori üleüldise ja liimpinna pikkuse vähendamine
  - Linkarmi analüüs ja optimeerimine
- Nookur
  - Kinnitumine monokokile
  - Single shear elimineerimine
  - Laagrite valik
  - Nurk monokokki suhtes