



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Instituudi nimetus

# **SIMULATSIOONIMÄNGUDE RIISTVARA PROJEKTEERIMINE**

## **DESIGNING OF SIMULATION GAMES HARDWARE**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Raimo Sild  
/nimi/

Üliõpilaskood: 183705MATM

Juhendaja: Maarjus Kirs, teadur  
/nimi, amet/

*(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.

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

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

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

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

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

Mina Raimo Sild (sünnikuupäev: 27.01.1992)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose  
**Simulatsioonimängude riistvara projekteerimine**

mille juhendaja on, Maarjus Kirs

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.

---

<sup>1</sup>*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

\_\_\_\_\_ (allkiri)

\_\_\_\_\_ (kuupäev)

# Mehaanika ja tööstustehnika instituudi

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Raimo Sild, 183705MATM (nimi, üliõpilaskood)  
Õppekava, peaariala: MATM, Tootearendus ja tootmistehnika (kood ja nimetus)  
**Juhendaja(d):** Teadur, Maarjus Kirs, 620 3256 (amet, nimi, telefon)

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) Simulatsiooni riistvara projekteerimine  
(inglise keeles) Designing of simulation games hardware

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Olemas olevate toodete turu-uuring
2. Seadmete projekteerimine
3. Maksumuse analüüsi tegemine

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ülesande püstitus, turuanalüüs ja üldnõuete määramine	12.03.20
2.	Komponentide valik projekteerimiseks ja toodete projekteerimine	17.04.20
3.	Maksumuse analüüsi tegemine	01.05.20

**Töö keel:** eesti keel

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** "25" mai 2020 a

**Üliõpilane:** Raimo Sild ..... ".....".....2020 a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Maarjus Kirs ..... ".....".....2020 a  
/allkiri/

**Programmijuht:** Martin Eerme ..... ".....".....2020 a  
/allkiri/

*Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

## SISUKORD

EESSÕNA.....	7
Lühendite ja tähiste loetelu .....	8
SISSEJUHATUS .....	9
1. LIIKUMISSIMULAATORI AJALOOST .....	10
2. TURUANALÜÜS.....	12
2.1 Istmeliigutajate turu-uuring .....	12
2.2 Istmeliigutajate turu-uuringu kokkuvõte .....	13
2.3 Rooli komplektide turu-uuring .....	16
2.4 Rooli komplektide turu-uuring kokkuvõte.....	16
3. KONTSEPTSIOON .....	20
3.1 Istmeliigutaja nõuete loetelu .....	20
3.2 Roolikomplekti nõuete loetelu .....	21
3.3 Funktsioonistruktuur.....	22
3.4 Morfoloogiline maatriks .....	23
3.5 Kontseptuaalsed lahendused.....	25
3.5.1 Istmeliigutaja lahendused .....	25
Lahendus 1 .....	25
Lahendus 2.....	26
Lahendus 3.....	27
3.5.2 Roolibaasi lahendused.....	27
Lahendus 1 .....	27
Lahendus 2.....	28
Lahendus 3.....	28
3.6 Hindamismaatriks .....	29
4. ISTMELIIGUTAJA PROJEKTEERIMINE.....	30
4.1 Istmeliigutaja raami tugevusarvutused .....	30
4.2 Istmeliigutaja mõõdud.....	35
4.3 Istmeliigutaja elektroonika .....	36

5. JUHTPULDI PROJEKTEERIMINE .....	37
5.1 Juhtpuldi kinemaatika .....	37
5.2 Juhtpuldibaas.....	39
5.3 Juhtpuldi elektroonika.....	40
5.4 Juhtpuldi käepide .....	41
5.5 Juhtpuldi moodulid .....	42
6. ROOLIBAASI JA PEDAALIDE PROJEKTEERIMINE.....	43
6.1 Roolibaasi ja pedaalide komponentide valik .....	43
6.2 Roolibaasi ja pedaalide elektroonika.....	45
6.3 Roolibaasi ja pedaalide mudelid.....	46
7. MAKSUMUSE ANALÜÜS .....	49
KOKKUVÕTE.....	51
SUMMARY.....	52
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	53
LISAD.....	54
GRAAFILINE OSA .....	55

## **EESSÕNA**

Lõputöö käigus sai projekteeritud istmeliigutaja, FFB rool pedaalidega ja juhtpult. Antud teemale sai idee tööautor enda huvist simulatsiooni mängude vastu ning soovis suurendada mängimisel reaalsuse tunnetust. Samuti soovib tööautor seadmed ka valmis ehitada. Teema sai sõnastatud koostöös lõputöö juhendajaga Maarjus Kirs, kes on igati toetanud töö valmimist

Märksõnad: simulatsioon, DIY, Arduino, magistritöö

## **Lühendite ja tähiste loetelu**

FFB – Jõu tagastus efekt (ingl k *Force Feed Back*)

LEM – Lõplike elementide meetod (ingl k *Finite Element Method*, FEM)

HID – ingl k *Human Interface Device*



## SISSEJUHATUS

Magistritöö teema sai valitud ajendil, et lõputöö autoril on tekkinud huvi simulatsiooni mängude vastu ning soovib suurendada mängides saadavat reaalsuse tunnetust. Reaalsuse tunnetuse suurendamiseks on vaja lisada riistvaralisi seadmeid, mis hakkavad vastavalt mängu sisenditele tekitama tagasisidet päriselus nii nagu need toimuksid virtuaalmaailmas. Töö raames projekteeritakse istmeliigutaja, mis valmis lahendustena maksavad mitmeid tuhandeid eurosid ning sellest tulenevalt tekkis idee antud seade enda püstitatud tingimustele ja vajadustele projekteerida ning vastavalt võimalusele ka ehitada. Istmeliigutajat on võimalik kasutada selliste mängutüüpidega nagu veoauto simulaator (*Euro truck simulator 2, American truck simulator*), ralli mängudega (*Dirt rally, Assetto Corsa, Project Cars, F1*) ning samuti ka lennu simulaatoritega (*Digital Combat Simulator World (DCS World)*). Töö raamesse kuulub ka lisaseadmete nagu rooli, pedaalide, käigukangi, käsipiduri ja juhtpuldi projekteerimine.

Alustuseks sai teostatud turu-uuring, milles otsiti sarnaseid seadmeid, millelt on võimalik võtta projekteerimiseks ideid ning ideelisi lahendusi. Turu-uuringu käigus võrreldi erinevaid hetkel turul saadaval olevaid tooteid ning tehti kokkuvõttev tabel toodete plusside ja miinustega.

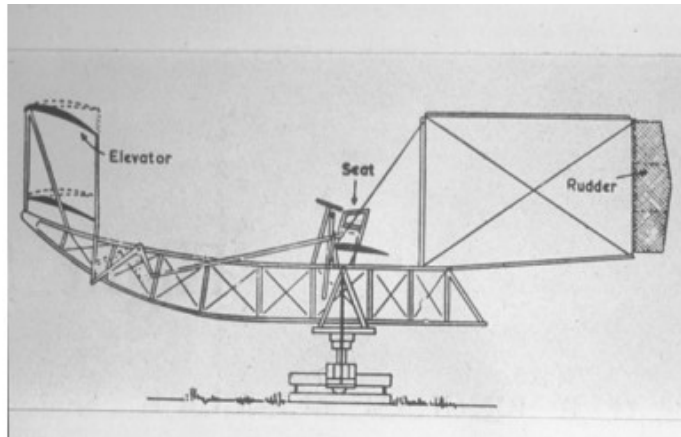
Projekteerimise probleem lahendati kasutades projekteerimise meetodikaid, mille käigus sai loodud nõuete loetelu. Nõuete loetelu põhjal sai genereeritud seadmetele funktsiooni struktuurid, mille alusel sai loodud morfoloogilised maatriksid, kus anti erinevatele funktsioonidele potentsiaalsed lahendused. Morfoloogilise maatriksi lahenduste põhjal genereeriti alglahendused ja lõpuks teostati hindamine hindamismaatriksi alusel, et leida alglahenditest parim lahendus.

Projekteerimise alguses sai valitud funktsioonide teostamiseks sobivad komponendid, et teada saada mõõdud, millega tuleb arvestada projekteerimises. Seejärel genereeriti juhtpuldile kinemaatika skeemid, millega saadi sobivad mõõdud liigenditele, et ei tekiks liikumistes komplikatsioone. Seadmetele sai loodud ka elektroonika skeemid. Seejärel sai projekteeritud istmeliigutaja raamid, millele teostati tugevusarvutused, et veenduda raamide vastupidavuses. Järgnevalt projekteeriti juhtpult, rool ja pedaalid. Nendele seadmetele ei teostatud tugevusarvutusi, sest neile ei mõju suuri pingeid. Lõpuks sai valmistatud detailidele ja koostutele tööjoonised.

Peale projekteerimist sai teostatud projekteeritud seadmetele maksumuse analüüs, et teada saada summa, mis kuluks seadmete valmistamiseks.

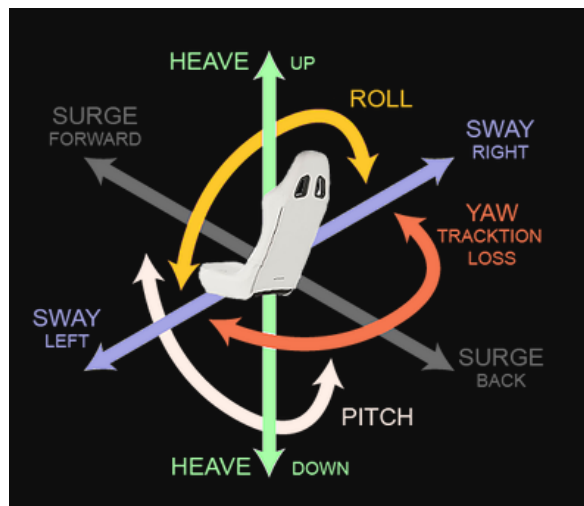
# 1. LIIKUMISSIMULAATORI AJALOOST

Esimene liikumise simulatsiooni seade loodi 1910 aastal ning selle nimeks oli *Sanders Teacher*.



Joonis 1.2 *Sander teacher*'i liikumise simulaator [1]

Selle liikumise simulaatori näol oli lennuki mudel kinnitatud maa külge universaalse liigendiga, mis töötas ainult tuule olemasolul. Antud simulaator võimaldas kolme vabadusastet – ette/taha (*Pitch*) ja külgedele (*Roll*) kallutamise ning vasakule ja paremale pöörlemist (*Yaw*).



Joonis 1.1 Telgede selgitus [2]

Suured edusammud simulaatorite arendamises toimusid esimese ja teise maailmasõja ajal, kui mõisteti, et simulaatori kasutamine on odav ja efektiivne viis lendurite treenimiseks. 1929 aastal ehitas ja patenteeris Edwin Link tuntuima liikumise simulaatori nimega *Link Trainer*, mis tekitas liikumist lõõtsadega andes simulaatorile ette/taha ja külgedele kallutamise ning vasakule ja paremale pöörlemise vabadusastmed.

Esimene kommertssimulaator ehitati 1943 Pan American Airways tellimusel, mis kasutas simulatsiooni efektide tekitamiseks analoogarvutit. 1960-ndatel toimus suur üleminek analoogarvutitel digitaalsetele arvutitele, sest analoogarvutid nõudsid palju hooldust ja olid seetõttu ebausaldusväärsed.

Kõrgema taseme simulaatorid kasutavad Stewarti platvormi. Platvorm asetseb kuuel lineaarajami küljes, millega on võimalik tekitada liikumisi *Pitch, Roll, Yaw, Heave, Sway ja Surge* telgedel, mis on 6 vabadusastet simulaatoritel.



Joonis 1.3 Simulaator Stewarti platvormil [1]

Tänapäeval on liikumise simulaatorid väga palju edasi arenenud ning kättesaadavus ka suurenenud. Väga palju infot ja teadmisi simulaatori ehitamise kohta leidub *Xsimulator* foorumis, kus on palju oma ala spetsialiste kes jagavad oma kogemusi ja teadmisi simulaatorite ehituse kohta. Tänapäevased liikumise simulaatorid, mis on sobilikud kasutamiseks simulatsiooni mängudele on lähemalt tutvustatud turu-uuringus.

## 2. TURUANALÜÜS

Enne projekteerimisega alustamist on vaja teha turu-uuring, et teada saada, mida hetkel turul pakutakse ja mis on nende toodete omadused. Turu-uuring on läbi viidud internetist erinevate toodete otsimisega ning nende kohta ka ülevaadete lugemine ning *Youtube* keskkonnas toote ülevaate videote tutvumisega. Üldjuhul on istmeliigutajate simulatsiooniseadmed üpris kõrgete hindadega ning peamiselt mõeldud professionaalsete tegevuste jaoks mitte harrastajatele, kuid on ka mõningaid erandeid. Lähema uurimise alla võtsimegi tooted, mis sobiksid pigem harrastajatele. Turu-uuringu käigus sai välja toodud toodete spetsifikatsioonid, mida oli võimalik toodete kodulehtedelt välja võtta ning ei ole arvestatud nende liikumiste simulatsiooniga, sest töö autoril ei olnud võimalik neid ise testida, et saada vajalikku infot selliste andmete välja toomiseks.

### 2.1 Istmeliigutajate turu-uuring

Turul on väga palju erinevaid istmeliigutajaid. Turu-uuringusse sai valitud sellised tooted, mida oleks võimalik harrastajal soetada. Peamiseks määrajaks jäi hind, mille alusel sai otsustatud, kas toode lisada turu-uuringusse või mitte. Samuti sai lisatud ka üks valik, mis on kõrgema hinnaga, et näidata erinevusi kallimate ja odavamate toodete vahel. Istmeliigutajate turu-uuringu tulemused on toodud tabelis 1.1, milles on kirjeldatud toote peamised omadused, seal hulgas toote plussid ja miinused. Oluliseks punktiks plusside ja miinuste panekul jäi vabadusastmete arv. Töö autor soovib, et tootel oleks vähemalt 2 vabadusastet ning nendeks on *pitch* ja *roll* vastavalt võimalusele ka 3 vabadusastet, sel juhul lisandub *yaw* liikumine.

Tabel 2.1 Istmeliigutajate turu-uuringu tooted

Toote nimi	Spetsifikatsioon	Plussid	Miinused
Canis Motion GTL2.0L Motion platform base	hind: 2 400 € vabadusastmeid: 2 mass: 75 kg ette / taha kallutamine (+/-): 18° külgedele kallutamine (+/-): 27° mõõdud: 1100x15x405 mm energia kulu: 120 W	väiksed mõõdud madal energia kulu	hind 2 vabadusastet
Next Level Racing Motion platform V3	hind: 2 999 € vabadusastmeid: 2 kandevõime: 130 kg mass: 24 kg ette / taha ja külgedele kallutamine (+/-): 10° kiirus: 20°/s. kiirendus 360 °/s <sup>2</sup> mõõdud: 350x460x199 mm energia kulu: 240 W	kerge seade kiirus kiirendus	hind 2 vabadusastet väike ette / taha ja külgedele kallutamise nurk
RS Reat N1 M4A 1500 Black Motion Simulator	hind: 18 000 € vabadusastmeid: 2 kandevõime: 160 kg ajamite kiirus: 17 °/s ajamite kiirendus: 1686 °/s <sup>2</sup> mõõdud: 1995x1060x1420 mm	kandevõime ajamite kiirendus	hind 2 vabadusastet Mõõdud mass
Simexp-erience Stage 3 Motion Simulator Kit	hind: 4 600 € vabadusastmeid: 3 kandevõime: 113 kg mass: 125 kg mõõdud: 2236x1252x898 mm	3 vabadusastet	hind kandevõime mõõdud mass

Tabelis olev informatsioon saadi veebilehtedelt [3] [4] [5] [6]

## 2.2 Istmeliigutajate turu-uuringu kokkuvõte

Canis Motion GTL2.0L Motion platform base on 2 vabadusastmega istmeliigutaja ning maksab 2400 €. 2 vabadusastet hõlmab endas *pitch* ja *roll*'i.



Joonis 2.1 Canis Motion GTL2.0L Motion platform base [3]

Next Level Racing Motion platform V3 on andmete järgi väga hea toode, kuid nende tootel on 2 vabadusastet ning maksab pea 3000 €. Motion platform V3 on väga sarnane tootele GTL2.0L Motion platform base'ile. Mõlemad on 2 vabadusastmega istmeliigutajad.



Joonis 2.2 Next Level Racing Motion platform V3 [4]

RS Reat N1 M4A 1500 Black Motion Simulator on kallima klassi istmeliigutaja, mille hind on 18 000 €. Kuigi selle toote kõrgest maksumusest ei paku see toode rohkem kui kahte vabadusastet. Toote hind selle seadme puhul on suuresti mõjutatud kasutatavatest ajamitest.



Joonis 2.3 RS Reat N1 M4A 1500 Black Motion Simulator [5]

Simexperience Stage 3 Motion Simulator Kit on üks esimesi turul olevatest 3 vabadusastmega toodetest. Antud seadme hinnaks on 4 600 €, mis võrreldes sarnaste toodetega on siiski odavama poolsem. Suureks miinuseks jääb toote kandevõime, mis on võrreldavatest toodetest kõige väiksem.



Joonis 2.4 Simexperience Stage 3 Motion Simulator Kit [6]

## 2.3 Rooli komplektide turu-uuring

Rooli komplektide turu-uuringuks sai valitud 3 kõige populaarsemat firma märki ning nende toodetest sellised, mis on mõeldud alustavale simulatsioonimängude harrastajale. Tabelis 1.2 on toodud turu-uuringu tulemused.

Tabel 2.2 Roolikomplektide turu-uuringu tooted

Jrk nr	Tootja	Toote nimi	Spetsifikatsioon
1	Logitech	G27 + driving force shifter	hind: 463 € FFB ülekanne: hammasrattad Maksimaalne arendatav jõud: 2 Nm Maksimaalne keeramine: 900° Võimalus kasutada erinevaid roole: ei
2	Thrustmaster	T300 + TH8A shifter	hind: 649 € FFB ülekanne: rihm Maksimaalne arendatav jõud: 4 Nm Maksimaalne keeramine: 1080° Võimalus kasutada erinevaid roole: ei
3	Fanatec	CSL Elite + CSL Elite pedals + Clubsport shifter	hind: 990 € FFB ülekanne: rihm Maksimaalne arendatav jõud: 6 Nm Maksimaalne keeramine: 1080° Võimalus kasutada erinevaid roole: jah

Tabelis olev informatsioon saadi veebilehtedelt [7] [8] [9]

## 2.4 Rooli komplektide turu-uuring kokkuvõte

Hinna mõistes on turul primaks tooteks Logitechi G27, mis on samuti soovitatud alustatavatele simulatsiooni harrastajatele just tänu tema odavusele ning ka heale kvaliteedile.



Joonis 2.5 Logitech G27 roolikomplekt pedaalidega [7]





Joonis 2.6 Logitech driving force shifter [7]

Thrustmasteri T300 rool on kallim just tänu sellele, et FFB on rihmülekanedega ning see tehnoloogia on kallim kui hammasrattaülekanne. Rihmülekaned on mitmeid eeliseid hammasrattaülekanedega. Peamiseks eeliseks on see, et rihmülekanne on vaiksem ning lõtkud peaaegu puuduvad, mis tähendab kiiremat FFB jõudmist roolile.



Joonis 2.7 Thrustmaster T300 roolikomplekt pedaalidega [8]



Joonis 2.8 Thrustmaster TH8A käiguvaheti [8]

Fanateci toodetel on juba suurem kohaldamise võimalus kui Thrustmasteri ja Logitechi toodetel. Sel on võimalik paigaldada erinevaid roole erinevate simulatsioonimängude jaoks, kuid suur puudus on see, et nupu konfiguratsiooni jaoks peab kasutama Fanateci enda nuppude rakist. Plussiks on see, et nuppude rakise külge on võimalik paigaldada sellist rooli nagu ise soovid, kuid antud toode maksab 350 €, mis teeb kohaldatavuse üpris kalliks. Joonisel 1.12 on toodud Fanateci universaalne rooli kinnitus rakis.



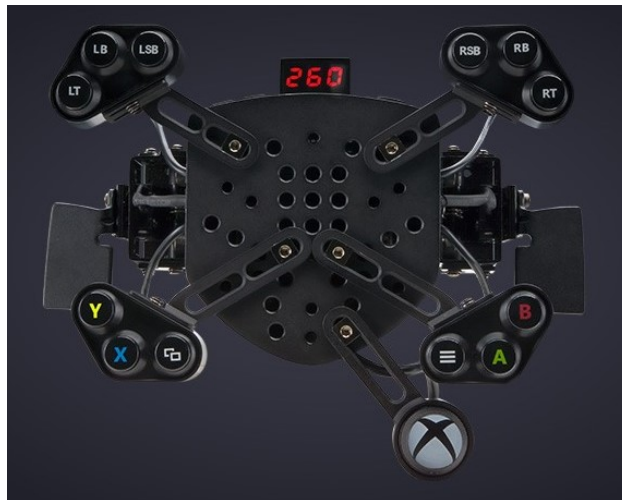
Joonis 2.9 Fanatec CSL Elite rool [9]



Joonis 2.10 Fanatec Elite pedaalid[9]



Joonis 2.11 Fanatec Clubsport käiguvahetai [9]



Joonis 2.12 Fanatec Clubsport rooli universaalne nuppude rakis [9]

### 3. KONTSEPTSIOON

Olles uurinud, mida turul pakutakse ning teades enda soove, mida võiks ja peaks projekteeritavad tooted sisaldama, sai koostatud järgmisteks projekteerimisetappideks nõuete loetelu, mis sisaldab endas istmeliigutajale, roolile, pedaalidele ja juhtpuldile esitatavaid nõudeid, millele projekteeritavad seadmed võiksid või peavad vastama. Nõuete loetelu alusel luuakse funktsioonistruktuur, mis kirjeldab, kuidas projekteeritavad seadmed peaksid töötama.

#### 3.1 Istmeliigutaja nõuete loetelu

Istmeliigutajaks saab olema baaskonstruksioon, millele kinnitatakse istumiseks tool ja roolikomplekti kuuluvad osad.

Tabel 3.1 Nõuded istmeliigutajale

Nõue	Kohustuslik	Soov
2 vabadusastet ( <i>Pitch, Roll</i> )		x
<i>Pitch</i> ja <i>Roll</i> liikumisulatus vähemalt +/- 15°	x	
Kompaktsus (võimalikult väike, et oleks võimalik kasutada väiksemates ruumides)	x	
Teisaldatavus (lihtne transportida)		x
Raami jäikus (võimalikult väike läbi vajumine)	x	
Kaal (võimalikult väike toote mass)		x
Kohaldatavus (võimalik lihtsasti kasutada erinevaid seadmeid)		x
Hoiustamine (võimalikult lihtsalt ja väikseks kokkupandav)		x
Maksimaalselt 150 kg kandevõime	x	
Materjalile lubatud maksimaalsed pinged vastavalt varutegurile (S=1,5)	x	
Raamile lubatud läbipaine maksimaalselt 1 mm	x	

Istmeliigutaja peamisteks nõueteks, mida peab toode kindlalt sisaldama on, et peab olema 2 vabadusastet, kompaktsus ja piisava kandevõime tagamine. Nõuetesse ei lisatud turvalisuse nõudeid, sest neid peab projekteerimisel kindlalt jälgima.

## 3.2 Roolikomplekti nõuete loetelu

Roolikomplekti arvestatakse simulatsioonimängu jaoks vajalikke juhtimisseadmeid nagu rool, pedaalid ja kohaldatav juhtpult

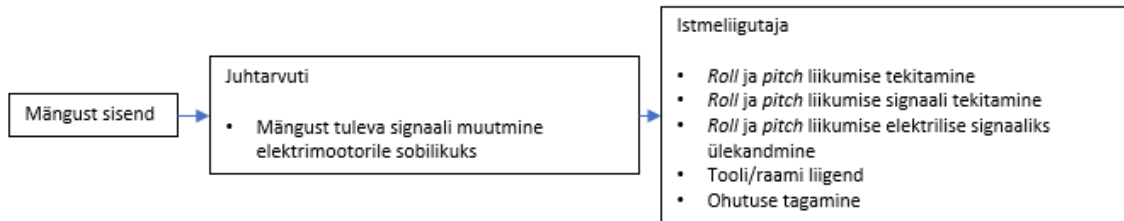
Tabel 3.2 Nõuded rooli komplektile

Nõue	Kohustuslik	Soov
Roolide vahetuseks kiirkinniti	x	
FFB minimaalne väändejõud 4 Nm	x	
Roolibaasi kohaldatavus (lihtne rooli liitmine)		x
Peab vähemalt olema 3 pedaali (gaas, pidur ja sidur)	x	
Pedaalidele vastavalt pedaali olemusele vedru jäikus (piduril jäigem vedru, siduril keskmise jäikusega ja gaasil pehmem)		x
Käigukang vähemalt 6 käiku + tagurduskäik	x	
Juhtpuldi kohaldatavus	x	
Kiirkinnitite loomine rooli komplekti seadmetele, et oleks võimalikult kiire eemaldamine istmeliigutaja küljest		x

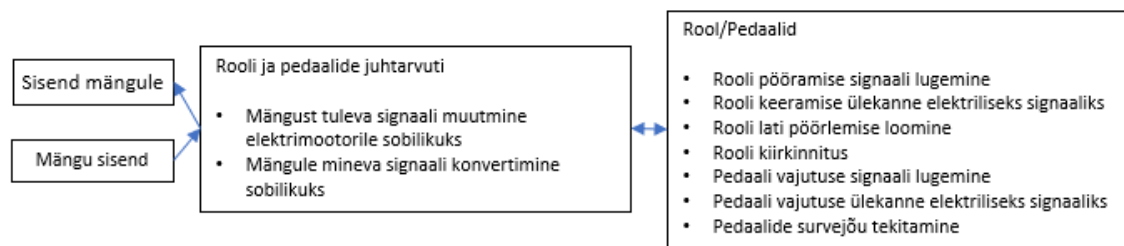
Peamised nõuded rooli komplektile on, et minimaalne väändejõud roolil oleks 4 Nm, roolibaasi kohaldatavus (täheendab, et roolibaasi külge on võimalik liita erinevaid roole, mis vastavad mängitavale mängule, et tekitada suuremat sisse elamist simulaatorile) ja juhtpuldi kohaldatavus (täheendab, et juhtpuldibaasile juurde liita erinevaid mooduleid, mis kohaldavad baasi, kas käiguvahetiks või järjestikku käiguvahetiks, käsipiduriks või juhtpuldiks).

### 3.3 Funktsioonistruktuur

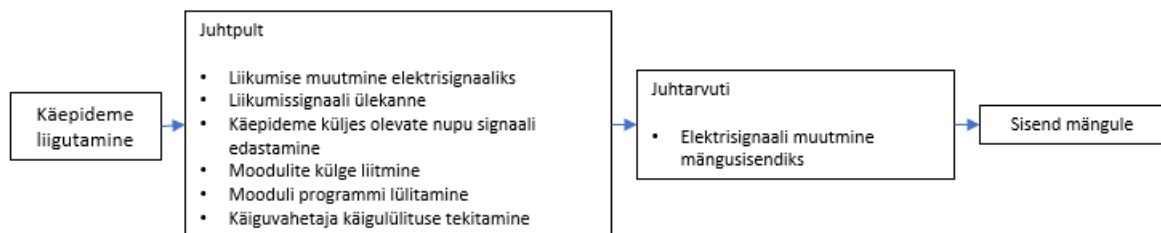
Funktsioonistruktuuriga selgitame välja, milliseid funktsioone peavad projekteeritavad seadmed teostama



Joonis 3.1 Istmeliigutaja funktsioonistruktuur



Joonis 3.2 Rooli ja pedaali funktsioonistruktuur



Joonis 3.3 Juhtpulti funktsioonistruktuur

Funktsioonistruktuuridest tulevad funktsioonid kanname üle morfoloogilisse maatriksisse ning hakkame funktsioonidele otsima lahendusi

### 3.4 Morfoloogiline maatriks

Enne projekteerimisega alustamist on vaja luua morfoloogiline struktuur, mille alusel on võimalik välja valida, milline lahendus oleks kõige sobivam erinevate ülesannete täitmiseks. Tabel 2.3 on toodud istmeliigutaja ja roolikomplekti morfoloogiline struktuur, millest toome välja, millised lahendused sobivad probleemide lahendamiseks. Lõpuks kasutame morfoloogilise maatriksi lahendusi, et luua sobivad lahendused, millest välja valida sobilik projekteerimiseks

Tabel 3.3 Istmeliigutaja morfoloogiline struktuur

<b>Funktsioon</b>	<b>Lahendus 1</b>	<b>Lahendus 2</b>	<b>Lahendus 3</b>	<b>Lahendus 4</b>
Juhtarvuti	Arduino Uno	JRK kontrolleri	Raspberry PI	Arduino Leonardo
Mängust tuleva signaali muutmine elektrimootorile sobilikuks	Motomonster	BTS 7960	Sabertooth 2V32A	RoboClaw Motor Controller 2V30A
<i>Roll ja Pitch</i> liikumise tekitamine	Lineaarülekanne ja elektrimootor	Tiguülekanne elektrimootori	Pneumaatiline	Hüdrauliline
<i>Roll ja Pitch</i> liikumise signaali tekitamine	Potentsiomeeter	Lineaarne potentsiomeeter	Halli tajur	Digitaalne potentsiomeeter
<i>Roll ja Pitch</i> liikumise elektrilise signaali ülekandmine	Hammasratas-ülekanne	Rihmülekanne	Varrasülekanne	Ühendatud pöörlemise tsentrisse
Tools/raami liigend	Universaalne liigend	Sfääriline liigend	Kummipuks	Vedru
Ohutuse tagamine	Mehaaniline lüliti	Programmi sisse kirjutatud lüliti	Mehaaniline + programmi sisse kirjutatud lüliti	Ülevoolukaitse

Tabel 3.4. Rooli ja pedaali morfoloogiline struktuur

<b>Funktsioon</b>	<b>Lahendus 1</b>	<b>Lahendus 2</b>	<b>Lahendus 3</b>	<b>Lahendus 4</b>
Juhtarvuti	Arduino Leonardo	STM32F103	Raspberry PI	STM32F4 DISCOVERY
Mängust tuleva signaali muutmine elektrimootorile sobilikuks	Motomonster	BTS 7960	Sabertooth 2V32A	RoboClaw Motor Controller 2V30A
Rooli pööramise signaali lugemine	Kodeerija	Halli tajur	Potentsiomeeter	Lineaarne potentsiomeeter
Rooli keeramise ülekannetele elektriliseks signaaliks	Hammasratas-ülekannetele	Rihmülekannetele	Ühendatud pööramise tsentrisse	Lükand hammasrattaga
Rooli lati pööramise loomine	Kuullaager	Nõellaager		
Rooli kiirkinnitus	Sparco universaalne rooli kiirkinniti	YXGOOD universaalne rooli kiirkinniti	NRG rooli kiirkinniti	Ise projekteeritud kiirkinnitus
Pedaali vajutuse signaali lugemine	Potentsiomeeter	Halli tajur	Lineaarne potentsiomeeter	Koormusandur
Pedaali vajutuse ülekannetele elektriliseks signaaliks	Varras-ülekandega	Hammasratas	Ühendatud pööramise tsentrisse	Rihmülekandega
Pedaalide survejõu tekitamine	Survedru	Kummipuks	Tõmbevedru	Õlisilinder
Ohutus	Mehaaniline lüliti	Programmi sisse kirjutatud lüliti	Mehaaniline + programmi sisse kirjutatud lüliti	Ülevoolukaitse

Tabel 3.5 Juhtpuldide morfoloogiline maatriks

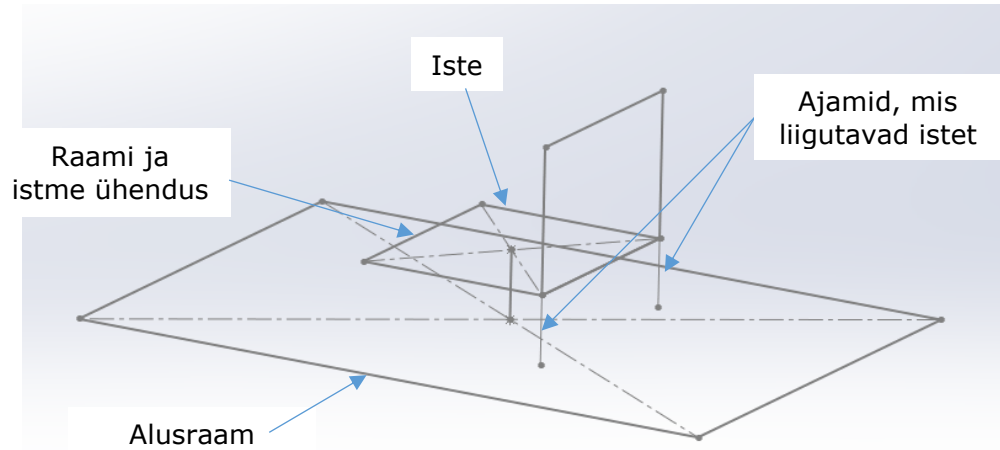
<b>Funktsioon</b>	<b>Lahendus 1</b>	<b>Lahendus 2</b>	<b>Lahendus 3</b>	<b>Lahendus 4</b>
Juhtarvuti	Arduino Micro	Raspberry PI	Teensy	Arduino Leonardo
Liikumise muutmine elektrisignaalsiks	Potentsiomeeter	Halli tajur	Lineaarne potentsiomeeter	Digitaalne potentsiomeeter
Liikumissignaali ülekannetele	Hammasratas	Ühendatud pööramise tsentrisse	Varrasülekandega	Rihmülekannetele
Käepideme küljes olevate nupu signaali edastamine	Klemmid	Pistik korpuse küljes	Pistik käepideme küljes	
Moodulite külge liitmine	Polt liitega	Kiirkinniti	Magnetiga	
Mooduli programmi lülitamine	Käsitsi valimine	Automaatne lülitus		



## 3.5 Kontseptuaalsed lahendused

### 3.5.1 Istmeliigutaja lahendused

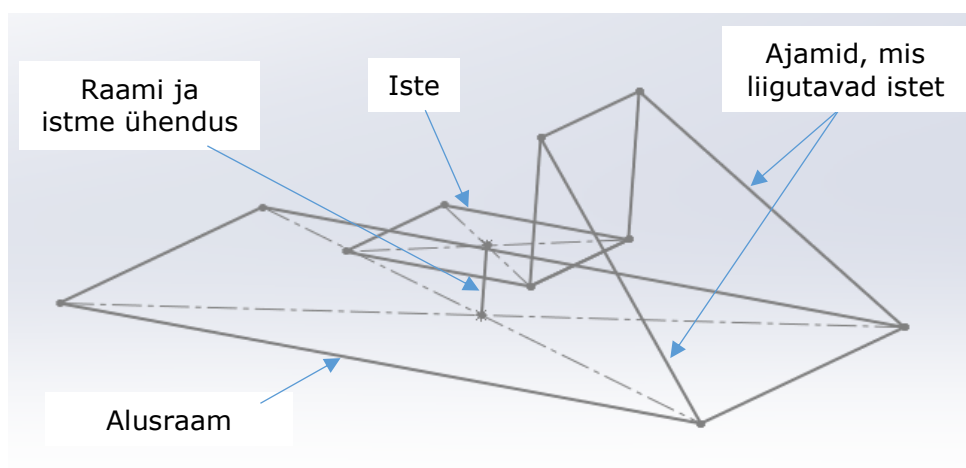
#### Lahendus 1



Joonis 3.4 Esimese lahenduse visand

Esimesel lahendusel kasutatakse kahte tiguülekanedega elektrimootorit, mis on otse ühendatud istmekülge ning läbi selle hakatakse istmele andma liikumist. Juhtarvutiks on valitud Arduino UNO ja mootori controlleriks Sabertooth 2V32A. Tooli positsiooni tuvastamiseks kasutatakse halli tajureid, mis on ühendatud hammasratastega elektrimootori külge. Iste on kinnitatud raami külge universaalse liigendiga. Raam koostatakse nelikanttorust, sest nelikanttoru on lihtsam töödelda. Ohutuse tagamiseks paigaldatakse mehaaniline lüliti, millega on võimalik ebanormaalsuste tekkimisel peavool katkestada. Seadet ennast kaitstakse ülevoolu kaitsmega. Selle lahendusega ei liigu kaasa rool ja pedaalid. Lahendus 1 sarnaneb Next Level Racing Motion platform V3 platvormile.

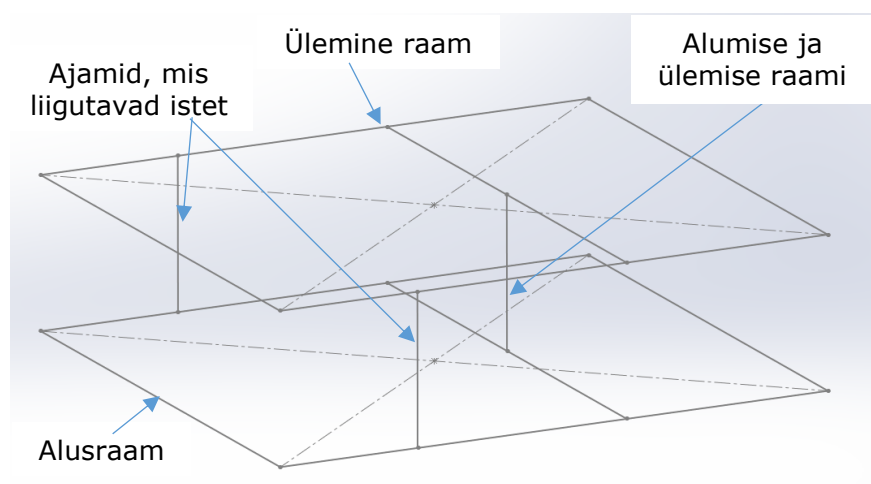
## Lahendus 2



Joonis 3.5 Teise lahenduse visand

Teise lahendusena on lineaarsed elektrimootorid ühendatud tooli külge, mis hakkavad istmele tekitama liikumisi. Juhtarvutiks ja kontrolleriiks kasutatakse JRK kontrollereid. Tooli positsiooni tuvastamiseks kasutatakse potentsiomeetreid, mis on varrasülekanedega ühendatud elektrimootorite külge. Iste on kinnitatud raami külge universaalse liigendiga. Antud lahendusega samuti ei liigutata pedaale ega rooli, vaid ainult inimest. Ohutuse tagamiseks paigaldatakse mehaaniline lüliti, millega on võimalik ebanormaalsuste tekkimisel peavool katkestada. Seadet ennast kaitstakse ülevoolu kaitsmega. Raam koostatakse nelikanttorust, sest nelikant toru on lihtsam töödelda. Lahendus 2 sarnaneb Simexperience Stage 3 Motion Simulator Kit platvormile.

## Lahendus 3



Joonis 3.6 Kolmanda lahenduse visand

Kolmandal lahendusel kasutatakse kahte raami ning ülemise raami külge on kinnitatud iste, rool ja pedaalid. Juhtarvutiks valitud Arduino UNO ja mootori controlleriks Sabertooth 2V32. Ülemisele raamile hakatakse liikumist tekitama tiguülekanne mootoriga ja raami positsiooni tuvastatakse potentsiomeetritega, mis on ühendatud varrasülekandega elektrimootori külge. Ülemine ja alumine raam on omavahel kinnitatud universaalse liigendiga. Raam koostatakse nelikanttorust, sest nelikant toru on lihtsam töödelda. Ohutuse tagamiseks paigaldatakse mehaaniline lüliti, millega on võimalik ebanormaalsuste tekkimisel peavool katkestada. Seadet ennast kaitstakse ülevoolu kaitsmega.

### 3.5.2 Roolibaasi lahendused

#### Lahendus 1

Lahendus ühel on mootori ülekanne roolivõllile hammasratastega. Pöörlemise signaali tekitamiseks kasutatakse kodeerijat. Juhtarvutiks on Arduino Leonardo ja mootori draiveriks valitud BTS 7960. Rooli kohaldatavuse tekitamiseks kasutatakse rooli võlli külge kinnitatud enda projekteeritud kiirkinnitit, et oleks võimalik kiirelt rool külge panna või eemaldada. Samuti on mugavam hoiustada kui rooli saab küljest ära võtta. Pedaalide signaali tekitamiseks kasutatakse potentsiomeetrit, mis on ühendatud varrasülekandega pedaalil külge. Pedaali survejõudu hakatakse simuleerima survevedruga. Ohutuse tagamiseks paigaldatakse mehaaniline lüliti, millega on võimalik sisse tulev vool katkestada.

## **Lahendus 2**

Lahendus kahel on mootori ülekanne tekitatud rihmaga. Pöörlemise signaali tekitamiseks kasutatakse kodeerijat. Juhtarvutiks on STM32F4DISCOVERY ja mootori draiveriks valitud MotoMonster. Rooli kohaldatavuse tekitamiseks kasutatakse roolil YXGOOD universaalset rooli kiirkinnitit, et oleks võimalik kiire rooli vahetus ning samuti lihtne rooli eemaldamine ja et oleks mugavam hoiustada. Pedaalide signaali tekitamiseks kasutatakse potentsiomeetrit, mis on ühendatud varrasülekandega pedaali külge. Pedaali survejõudu hakatakse simuleerima survevedruga. Ohutuse tagamiseks paigaldatakse mehaaniline lüliti, millega on võimalik sisse tulev vool katkestada.

## **Lahendus 3**

Kolmanda lahendusena kasutatakse suuremat elektrimootorit, mis on ka rooli võlliks. Pöörlemise signaali tekitamiseks kasutatakse kodeerijat. Juhtarvutiks valitud Arduino ja mootori draiveriks BTS 7960. Rooli kohaldatavuse tekitamiseks Sparco universaalset rooli kiirkinnitit, et oleks võimalik kiire rooli vahetus ning samuti lihtne rooli eemaldamine ja et oleks mugavam hoiustada. Pedaalide signaali tekitamiseks kasutatakse halli tajurit, mis on ühendatud pedaali pöörlemise tsentrisse. Pedaali survejõudu hakatakse simuleerima kummipuksiga. Ohutuse tagamiseks paigaldatakse mehaaniline lüliti, millega on võimalik sisse tulev vool katkestada.

### 3.6 Hindamismaatriks

Hindamismaatriksis anname hinded eelmises peatükis genereeritud lahendustele. Hinded antakse skaalal 1-5, kus 1 on kehvem ja 5 on parem omadus. Omadustele on määratud kaalud nii, et kaalude summa tuleks 1. Lahenduste lõppsumma saame kui korrutame igale omadusele antud hinde selle kaaluga ning seejärel liidame kõik omaduste hinded kokku.

Tabel 3.6 Istmeliigutaja hindamismaatriks

<b>Kriteerium</b>	<b>Kaal</b>	<b>Lahendus 1</b>	<b>Lahendus 2</b>	<b>Lahendus 3</b>
Raam konstruktsioon	0,2	5	5	5
Istmeliigutaja ajami hind	0,2	5	1	5
Istmeliigutaja ohutus	0,3	3	3	3
Helitase	0,2	3	3	3
Välimus	0,1	3	4	5
Kokku		3,8	3,1	4

Hindamismaatriksi tulemusena sai valituks kolmas lahendus istmeliigutaja projekteerimiseks.

Tabel 3.7 Rooli baasi hindamismaatriks

<b>Kriteerium</b>	<b>Kaal</b>	<b>Lahendus 1</b>	<b>Lahendus 2</b>	<b>Lahendus 3</b>
Mootori ülekanne	0,1	3	5	5
Roolibaasi kohaldatavus	0,2	5	5	4
Maksumus	0,2	5	2	1
Helitase	0,1	3	5	5
Ohutus	0,3	5	5	1
Välimus	0,1	5	5	5
Kokku		4,6	4,4	3

Hindamismaatriksi tulemusena saab valituks suurima punktisummaga lahendus 1.

## 4. ISTMELIIGUTAJA PROJEKTEERIMINE

### 4.1 Istmeliigutaja raami tugevusarvutused

Tugevusarvutused on läbi viidud Solidworks'i programmi Simulation paketis. Simulation paketiga on võimalik teostada lõplike elementide meetodil (LEM) täpseid tugevusarvutusi projekteeritavatele konstruktsioonidele, et vältida konstruktsiooni purunemist või üledimensioneerimist.

Raami materjalide toruprofiilid said valitud MetalExpressi lehelt ja raami materjaliks sai valitud S235, mille voolepiir on  $\sigma_{lim} = 235$  MPa ja raamile mõjuvaks jõuks on ettemääratud nõuete loetelust, et raami kandevõime peab olema maksimaalselt 150 kg, seega raam peab vastu pidama  $F = 1500$  N. Projekteeritavale raamile valiti ohutusteguriks  $v = 1,5$  [9]. Arvutame lubatud pinge raamile

$$\sigma_{Allow} = \frac{\sigma_{lim}}{v} \quad [10] \quad (4.1)$$

Kus  $\sigma_{Allow}$  - lubatud pinge, Pa

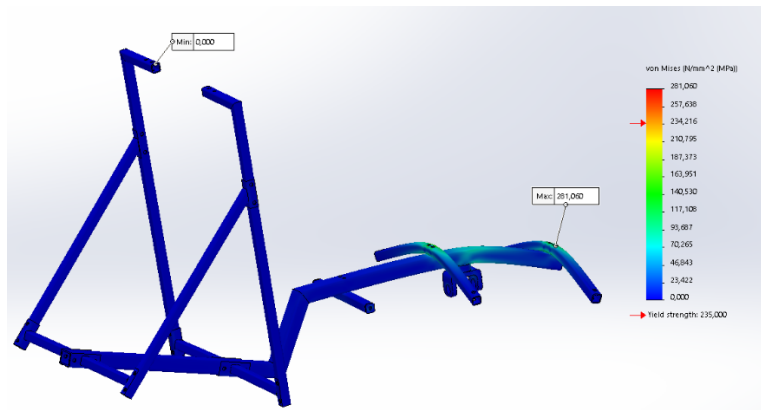
$\sigma_{lim}$  - tugevuspiir, Pa

$v$  - ohutustegur

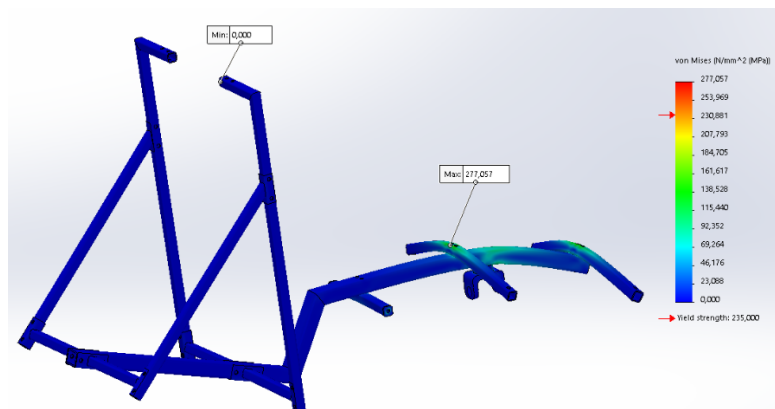
$$\sigma_{Allow} = \frac{235}{1,5} = 156,67 \approx 157 \text{ MPa}$$

Arvutuse alusel saime lubatud pingeks, mis võib raamile mõjuda, 157 MPa.

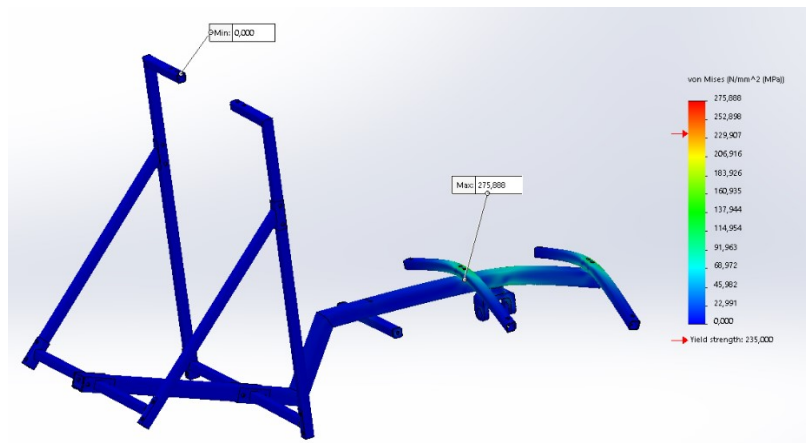
Esiolgu sai tugevusarvutused tehtud neljas erinevas positsioonis, et välja selgitada, millises asendis tekib raamile kõige suurem koormus. Ohtlikuima seisundi põhjal dimensioneeritakse raam selliselt, et see vastaks seatud tingimustele. Järgnevatel joonistel on välja toodud ohtlikuima seisundi välja selgitamine.



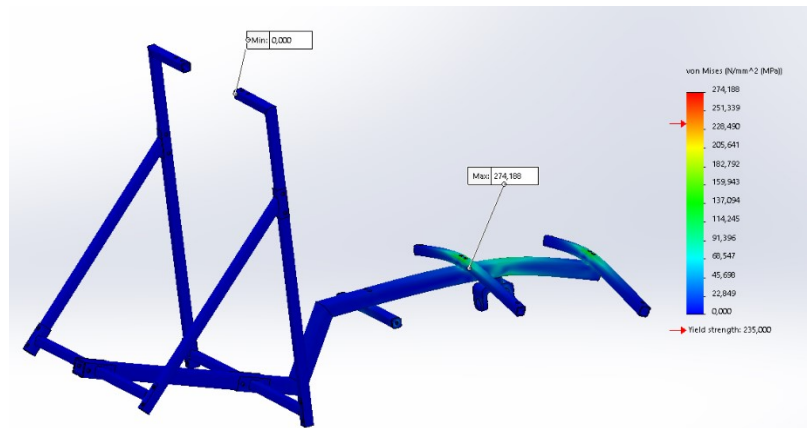
Joonis 4.1 Raamile mõjuvad pinged kui raam on keskel ja 15° ette kallutatud



Joonis 4.2 Raamile mõjuvad pinged kui raam on keskel ja 15° taha kallutatud



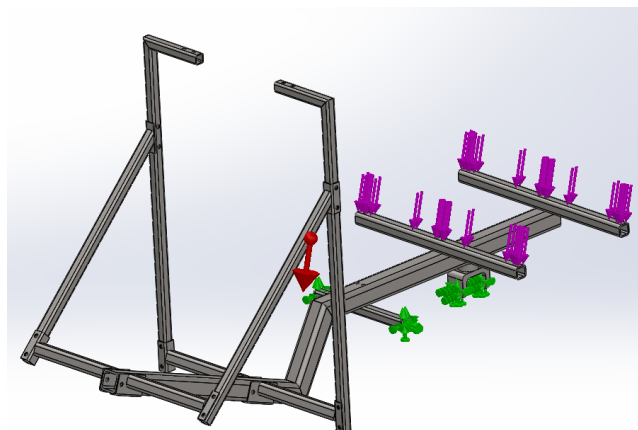
Joonis 4.3 Raamile mõjuvad pinged kui raam on 15° küljele ja 15° ette kallutatud



Joonis 4.4 Raamile mõjuvad pinged kui raam on 15° küljele ja 15° ette kallutatud

Arvutustulemustest selgub, et ohtlikum seisund on raamile, kui raam on keskel ja 15° ette kallutatud. Järgnevalt tehakse selle põhjal raamile dimensioneerimine ning tehakse uuesti tugevusarvutused antud seisundile.

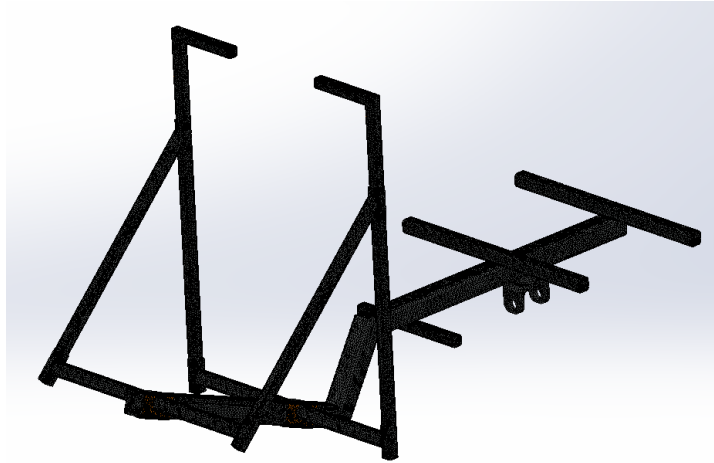
Joonisel 4.5 on toodud ülemise raami rajatingimused. Lillad nooled tähistavad raamile mõjuvaid jõude, milleks on 3000 N, jõud on kahekordne, sest raamile mõjuvad dünaamilised koormused ning lihtsustamise mõttes tehakse tugevusarvutused kahekordse varuga, 15° nurga all, et simuleerida raami ohtlikumat olukorda. Punane nool tähistab raamile mõjuvat gravitatsiooni jõudu. Rohelised nooled tähistavad raamil olevaid kinnitusi. Arvutuste tegemiseks on universaalsele liigenditele pandud pöörlev liigend (*Revolute*), mis jätab universaalsele liigendile külgedele kallutamise vabaduse ja elektrimootori kinnitustele jääb ette / taha kallutamise vabadus. Kokkuvõttes jääb keha jäigalt kinnitatuks.



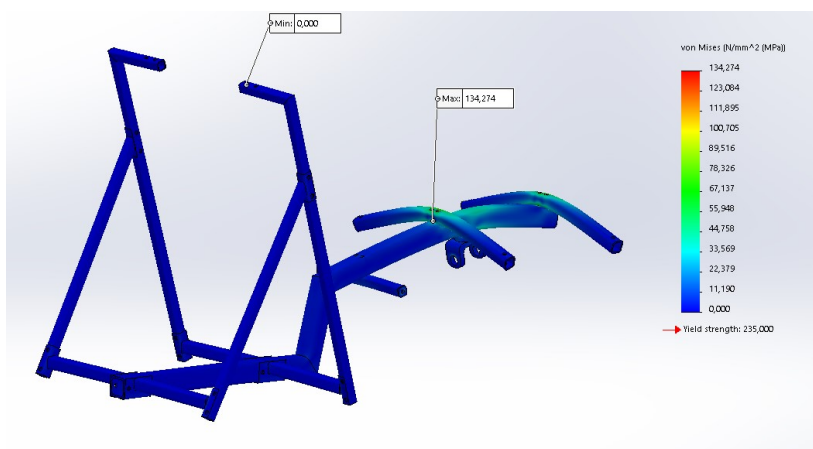
Joonis 4.5 Rajatingimused ülemisele raamile

Joonisel 4.6 on toodud ülemise raami elementideks jaotamine. Jaotamisel kasutati elemendi suuruseks 5 mm, et saada suurem täpsus LEM arvutusel.



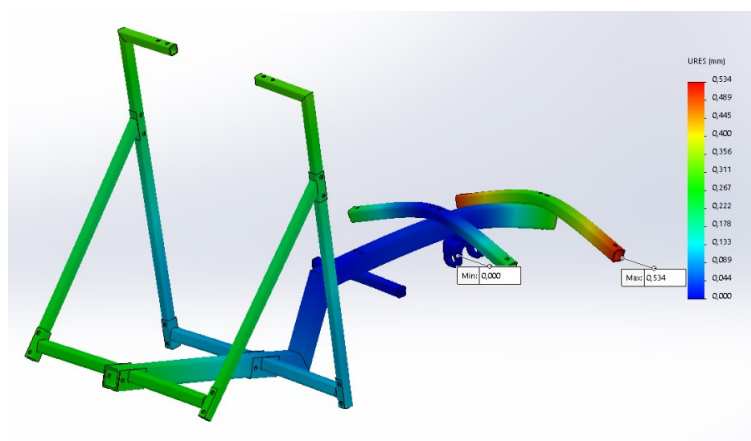


Joonis 4.6 Ülemise raami elementideks jaotamine



Joonis 4.7 Maksimaalsed ekvivalentpinged ülemisel raamil

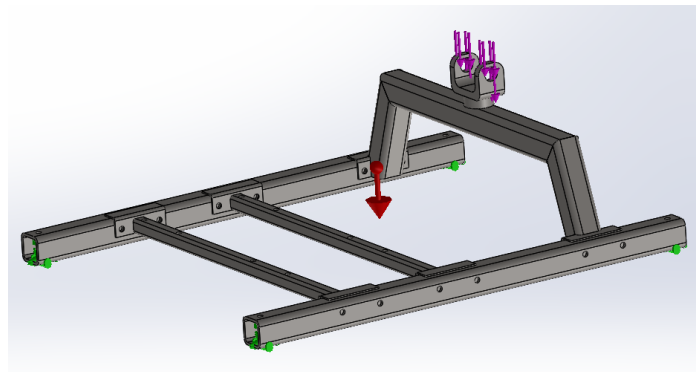
LEM arvutuse tulemusena on näha, et raamile maksimaalne pinge on 134,27 MPa, mis jääb eelnevalt arvutatud lubatud pinge, 157 MPa, piiridesse.



Joonis 4.8 Deformatsioonid ülemisel raamil

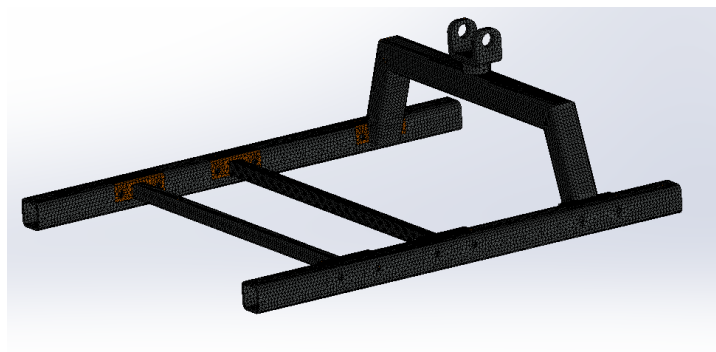
Deformatsiooni arvutuselt on näha, et peamiselt vajub läbi tagumine tooli kinnitustoru, milleks on 0,534 mm, mis jääb nõuete loetelus seatud piiridesse.

Joonisel 4.9 on toodud alumise raami tugevusarvutuse rajatingimused. Lillad nooled tähistavad raamile mõjuvaid jõude. Alumisele raamile pandi mõjuvaks pingeks 3000 N, mis on seatud kandevõime tingimuseks. Raamile mõjuvad jõud said pandud kardaaniootsale, sest sinna mõjub peamine raskus. Kuigi samuti mõjub raskus elektrimootorite kandetorudele, siis jooniselt 4.8 on näha, et elektrimootori kinnitustele pinged praktilised puuduvad. Punane nool tähistab alumisele raamile mõjuvat gravitatsioonijõudu ja rohelised nooled tähistavad raami kinnituskohhti. Alumine raam on jäigalt fikseeritud, et ei tekiks jäikade kehade liikumisi.

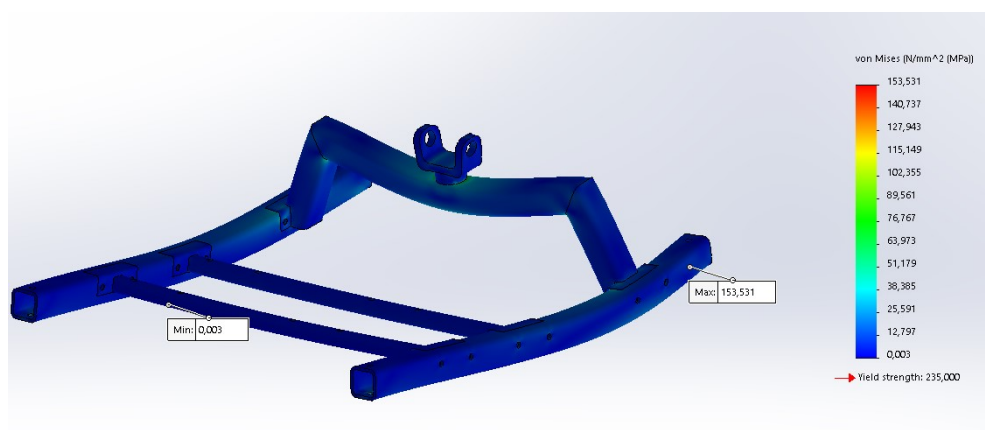


Joonis 4.9 Alumise raami rajatingimused

Joonisel 4.10 on alumise raami elementide jaotus. Jaotusel kasutati elementide suuruseks 5 mm, et saada võimalik täpne tulemas LEM arvutusel.

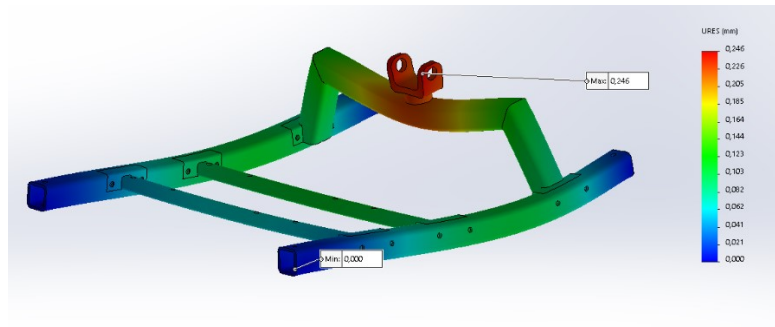


Joonis 4.10 Alumise raami elementide jaotus



Joonis 4.11 Ekvivalentsed pinged alumisel raamil

Joonisel 4.11 on näidatud alumise raami LEM arvutuste tulemus ekvivalentsetele pingetele. Maksimaalne pinge, mis mõjub alumisele raamile on 153,5 MPa, mis jääb lubatud pinge, 157 MPa, piiridesse.

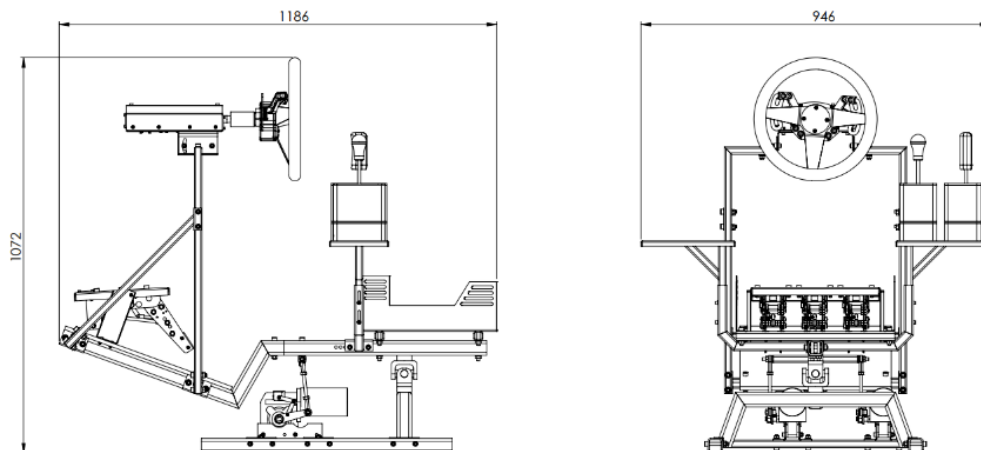


Joonis 4.12 Deformatsioonid alumisel raamil

Joonisel 4.12 on kujutatud alumise raami deformatsioonid 3000 N mõjuva jõuga. Maksimaalseks deformatsiooniks on 0,25 mm, mis jääb nõuete loetelus seatud 1 mm lubatud painde sisse.

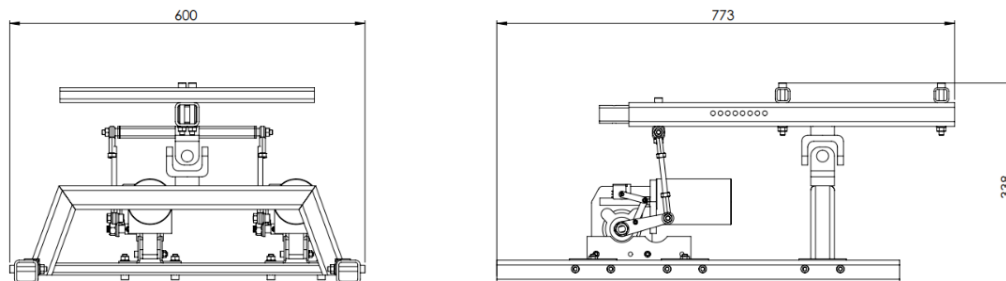
## 4.2 Istmeliigutaja mõõdud

Nõuete loetelus on välja toodud, et oluliseks on ka istmeliigutaja gabariitmõõdud, et need tuleks nii väikesed kui võimalik. Joonisel 4.14 on toodud istmeliigutaja gabariitmõõdud.



Joonis 4.14 Istmeliigutaja raami gabariitmõõdud

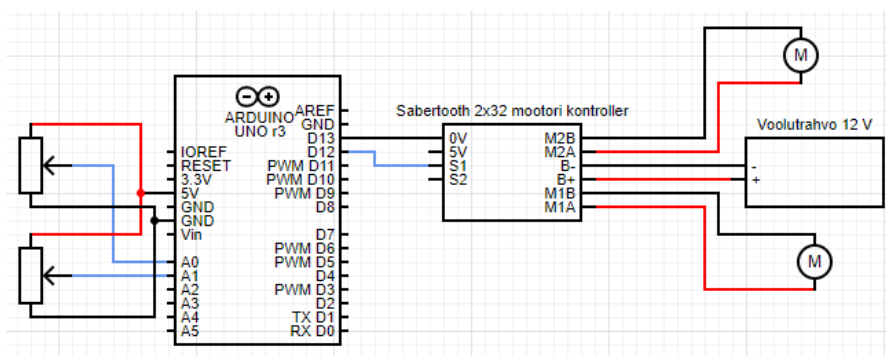
Joonisel 4.15 on näidatud raami suurimat osa, kui raam on lahti võetuna, et seda saaks kas transportida või hoiustada. Raami mõõtudeks on sel juhul 773 mm pikk, 338 mm kõrge ja 600 mm lai.



Joonis 4.15 Suurima osa gabariitmõõdud kokkupanduna

### 4.3 Istmeliigutaja elektroonika

Istmeliigutaja elektrimootoreid juhitakse Sabertooth 2x32 mootori draiveriga ja Arduino Unoga. Arduino Unole paigaldatakse programm, mis loeb arvutist simulatsiooni-mängudes vajalikud andmed ning hakkab selle põhjal Sabertooth draiverile signaale edastama, kuidas peab mootoreid liigutama. Mootorite külge ühendatud potentsiomeetrid annavad Arduino Unole elektrimootorite positsiooni teada. Joonisel 4.16 on kujutatud istmeliigutaja juhtmistamise skeem. Punasega kujutatud jooned on volujuhtmed, mustaga kujutatud on maandusjuhtmed ja sinisega kujutatud on signaalijuhtmed.

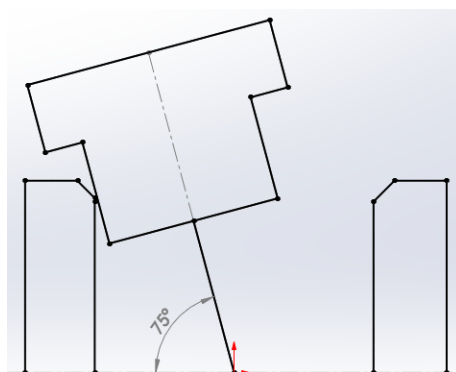


Joonis 4.16 Istmeliigutaja juhtmistamise skeem [11]

## 5. JUHTPULDI PROJEKTEERIMINE

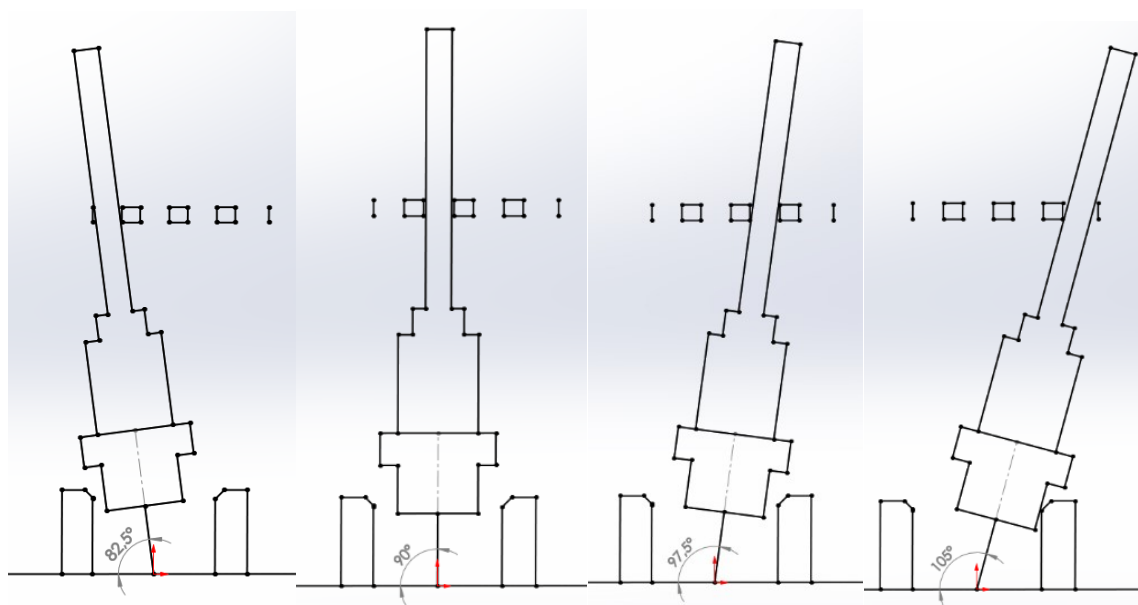
### 5.1 Juhtpuldi kinemaatika

Enne projekteerimist sai koostatud kinemaatika visand, millel on kujutatud juhtpuldi põhimõtteline lahendus selliselt, et ükski detail omavahel ei põrkuks. Joonisel 5.1 on kujutatud juhtpuldibaasi liikumise eskiis.



Joonis 5.1. Juhtpuldibaasi kinemaatika visand maksimaalsel pöörderaadiusel

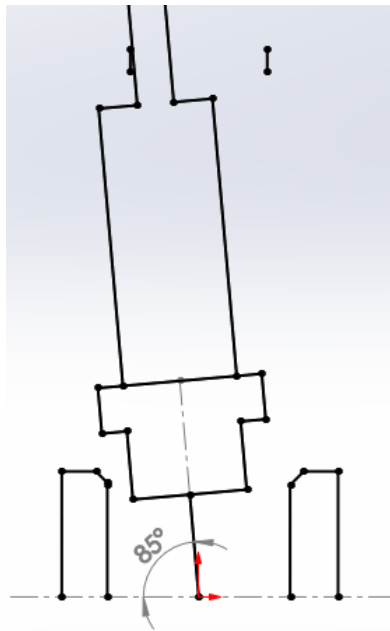
Juhtpuldibaasi kinemaatika jaoks sai valitud pöörderaadiuseks +/- 15°, mis on saavutatav ilma tõrgeteta. Joonisel 5.2 on kujutatud käiguvaheti käigu valiku liikumise eskiis, et oleks kindel, et kõiki käike on võimalik valida.



Joonis 5.2 Käiguvaheti mooduli käigu lülitamise kinemaatika visand

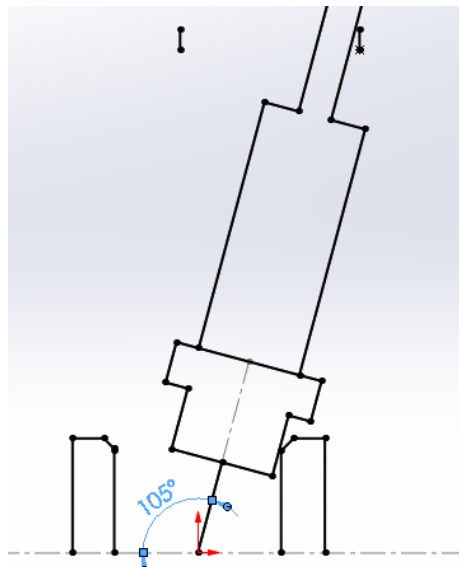
Käiguvaheti liikumise eskiisilt on näha, et käiguvaheti moodul kasutab käikude lülitamiseks -7,5° kuni 15°, millest paremale kallutamisel on pöörlemine mehaaniliselt piiratud.

Joonisel 5.3 on kujutatud järjestikku käiguvaheti käigu lülitamise kinemaatika visand. Järjestikku käiguvaheti käigu lülitamine on mehaaniliselt piiratud +/- 5°, et vähendada käigukangi liikumismaad.



Joonis 5.3 Järjestikku käiguvaheti mooduli kinemaatika visand käigu lülitamiseks

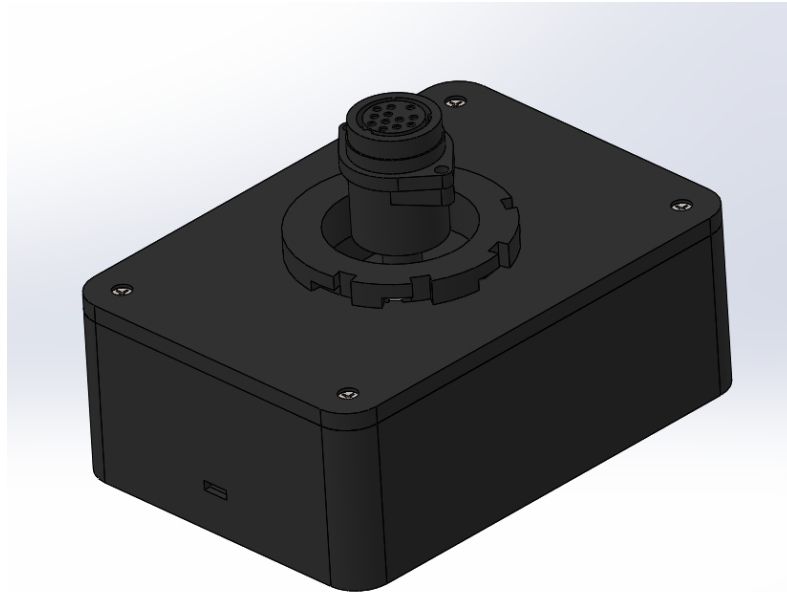
Joonisel 5.4 on kujutatud käsipiduri mooduli kinemaatika visand, millel on näha, et käsipiduri liikumine on paremale liigutamiseks mehaaniliselt piiratud ning saab liikuda 15° vasakule.



Joonis 5.4 Käsipiduri mooduli kinemaatika visand

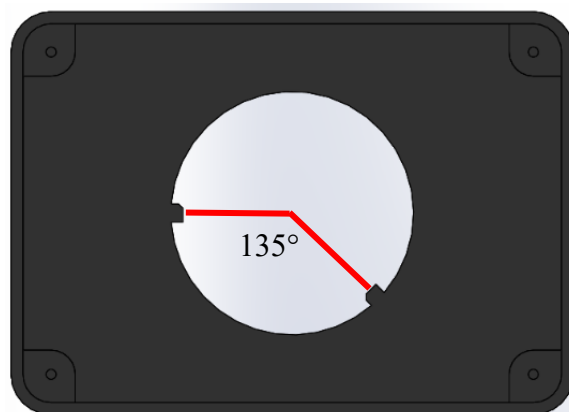
## 5.2 Juhtpuldibaas

Juhtpuldi projekteerimisel peamiseks argumendiks on, et juhtpult peab olema kohaldatav erinevateks seadmeteks ehk oleks võimalik kasutada juhtpulti nii käigukangina kui ka käsipidurina. Selleks sai projekteeritud baas, mis on algselt juhtpult, kuid kui juurde liites erinevaid moduleid on võimalik kasutada juhtpulti nii käiguvaheti, järjestikku käiguvaheti või käsipidurina. Joonisel 5.5 on kujutatud projekteeritud juhtpuldibaas



Joonis 5.5 Juhtpuldibaas

Selleks, et juhtpuldibaas saaks töötada erinevate modulitega vastavalt moduli omadustele, sai Arduinole kirjutatud programm, mis teatud nupu vajutusele hakkab kasutama kindlat osa programmis, mis käitab lisamoodulile mõeldud programmi. Nupu-vajutus on lahendatud selliselt, et modulil on hambad, mis moduli kinnitamisel juhtpuldi külge vajutab nupule, et aktiveerida modulile mõeldud programm. Joonisel 5.6 on kujutatud käsipiduri modulil olevad hambad, mis lülitab nuppu.

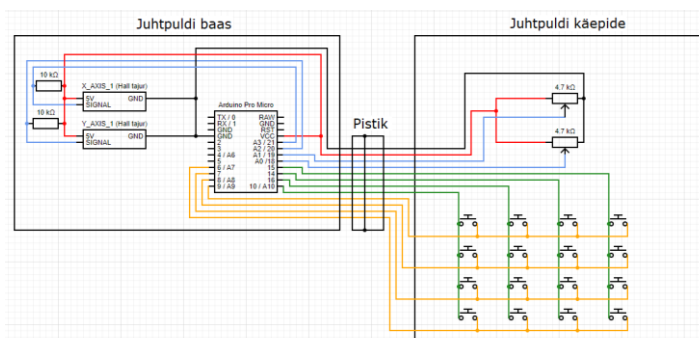


Joonis 5.6 Juhtpuldi moduli nupulülitus hambad käsipiduri modulil

Horisontaalis asetsev hammas on kõigil moodulitel 0° kraadi peal ning see on nii õelda juhendav hammas. Käsipiduri mooduli näitel on kahe hamba vaheline nurk 135° ning kõigil teistel moodulitel on see erinev, et ei oleks võimalik paigaldada modul peale nii, et aktiveeriks vale programmi osa ning juhtpult ei töötaks nii nagu ette nähtud.

### 5.3 Juhtpuldi elektroonika

Juhtpuldi ajuks on Arduino Micro, millele on laetud peale juhtpuldi programm, mis muudab Arduino arvuti jaoks HID (ingl k *Human Interface Device*) seadmeks, et Arduinot oleks võimalik kasutada kui juhtpuldina. Joonisel 5.7 on kujutatud juhtpuldi juhtmestamise skeem. Punasega kujutatud jooned on voolujuhtmed, mustaga kujutatud on maandusjuhtmed ja sinisega kujutatud on signaalijuhtmed. Kollasega kujutatud jooned on horisontaalsed maatriksi juhtmed ja rohelisega kujutatud jooned on vertikaalsed maatriksi juhtmed.



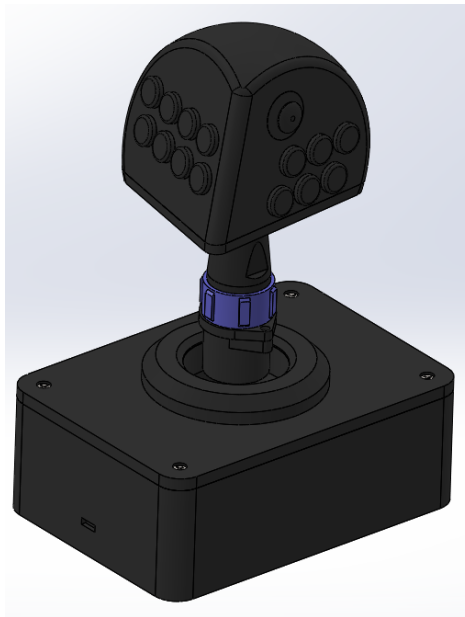
Joonis 5.7 Juhtpuldi ja käepideme juhtmestamise skeem

Juhtpuldi X ja Y telje signaali lugemine toimub läbi halli tajurite, et vähendada kuluvaid osi. Samuti on võimalik juhtpuldile veel juurde lisada 2 analoogsignaali ja 16 nuppu.



## 5.4 Juhtpuldi käepide

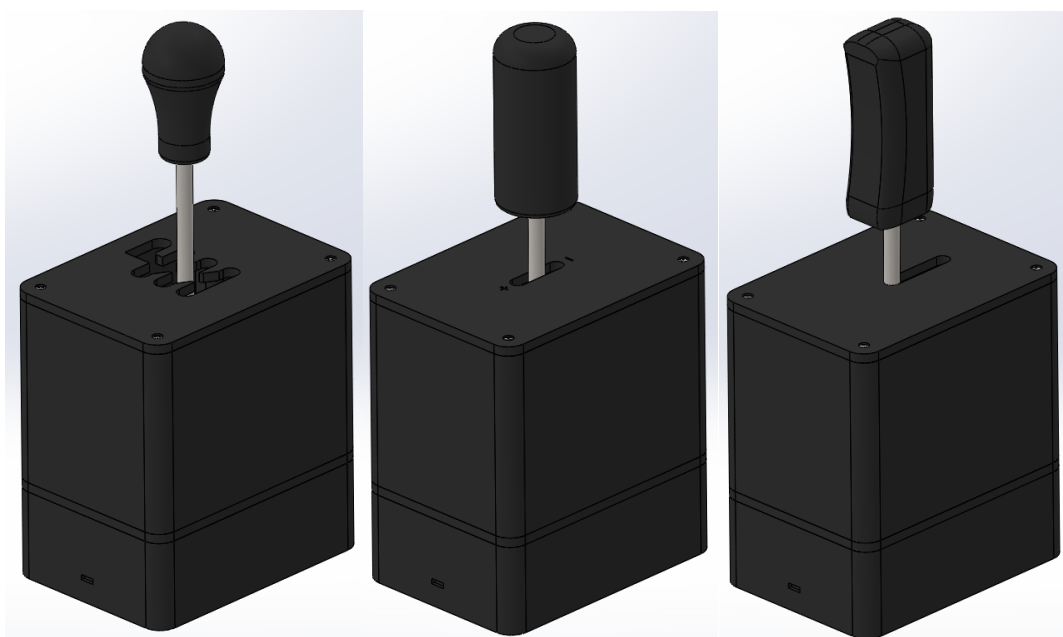
Juhtpuldi baasile sai projekteeritud käepide, et juhtpuldibaasi oleks võimalik mugavalt kasutada juhtpuldina. Käepideme projekteerimisel sai arvesse võetud, et seda oleks võimalik kasutada *Farming simulator* tüüpi simulatsiooni mängudes, kus oleks vaja juhtpuldi juurde lissisendeid mängu siseselt erinevate seadmete juhtimiseks. Seetõttu sai projekteeritud selline juhtpuldi käepide, mille külge on integreeritud mitmed nupud ja üks väike juhtpult, et simulaatoris oleks võimalik kasutada võimalikult palju sisendeid käepidemelt. Joonisel 5.8 on näidatud projekteeritud juhtpuldi käepide.



Joonis 5.8 Juhtpult käepidemega.

## 5.5 Juhtpuldi moodulid

Juhtpuldile sai projekteeritud 3 erinevat moodulit vastavalt käiguvaheti, järjestikku käiguvaheti ja käsipiduri moodul. Käiguvaheti mooduli tingimusteks oli, et oleks kuus edaspidist ja üks tagurpidikäigu lülitamise võimalus. Joonisel 5.9 on kujutatud projekteeritud moodulid, vastavalt vasakult käiguvaheti moodul, järjestikku käiguvaheti moodul ja käsipiduri moodul.



Joonis 5.9 Juhtpuldi moodulid juhtpuldi alusega

## 6. ROOLIBAASI JA PEDAALIDE PROJEKTEERIMINE

### 6.1 Roolibaasi ja pedaalide komponentide valik

Roolibaasi komponentide valikul lähtusin nõuete loetelus olevatest nõuetest. Mootoriks sai valitud 12 voldine elektrimootor, millel on külge liidetud ka magnetiline kodeerija, millega on võimalik tuvastada rooli pöörämist. Valitud mootor genereerib maksimaalselt 3 Nm pöördemomenti, selletõttu oli vaja paigaldada kaks samasugust mootorit, et saavutada nõutud 4 Nm pöördemomendi nõue. Seda tüüpi elektrimootoriga ei ole võimalik kasutada hammasratastega muud suhet kui 1:1, muidu loeb kodeerija pöörlemisringe valesti. Mootori andmed on toodud joonisel 6.2 punases kastis.



Joonis 6.1. Valitud 12 voldine elektrimootor kodeerijaga [12]

Reduction ratio	Rated Volt	No Load		AT Load			STALL		Gearbox Length mm
		SPEED	CURRENT	Torque	SPEED	Current	TOGQCE	CURRENT	
	V	RPM	mA	KG.cm	RPM	A	KG..CM	A	
6.3	6	1000	70	0.4	800	0.45	0.5	1.2	19
10	6	600	70	0.5	500	0.45	0.8	1.2	19
19	6	300	70	1.1	265	0.45	1.6	1.2	22
30	6	200	70	1.7	166	0.45	2.5	1.2	22
56	6	100	70	3.2	90	0.45	4.5	1.2	24
90	6	70	70	5	55	0.45	7.5	1.2	24
131	6	45	70	7.5	38	0.45	12	1.2	26.5
168	6	35	70	9.5	30	0.45	15	1.2	26.5
270	6	20	70	15	18	0.45	24	1.2	26.5
506	6	12	70	28	10	0.45	35	1.2	29
810	6	7	70	35	6	0.45	35	1.2	29
6.3	12	1590	120	0.7	1200	1	1	2.3	19
10	12	1000	120	1	770	1	1.6	2.3	19
19	12	530	120	2.2	407	1	3.1	2.3	22
30	12	333	120	3.5	250	1	5	2.3	22
56	12	178	120	6.5	140	1	9	2.3	24
90	12	110	120	10	85	1	15	2.3	24
131	12	76	120	15	58	1	24	2.3	26.5
168	12	60	120	19	46	1	31	2.3	26.5
270	12	37	120	30	28	1	35	2.3	26.5
506	12	20	120	35	15	1	35	2.3	29
810	12	12	120	35	9	1	35	2.3	29

Joonis 6.2 Mootori andmed [11]

Pedaalide signaali tekitamiseks kasutatakse potentsiomeetreid. Joonisel 6.3 on kujutatud potentsiomeeter.



Joonis 6.3 Potentsiomeeter [11]

Voolutrafo valimisel oli tingimuseks, et see suudaks edastada piisavalt voolu elektrimootorile ka siis, kui mootor on vastusurvega seisma pandud. Elektrimootori maksimaalne elektrivool on 2,3 A seega sobis valikuks vana arvuti voolutrafo, mille maksimaalne elektrivool 12V juures on 16 A.

CODEGEN 400W		ATX 2.03(P4)				
CBCE(PFC)TCRoHS		MODEL:400X				
AC INPUT	115/230VAC 8A/4A 50/60Hz	<b>CAUTION!</b> HAZARDOUS AREA Do not remove this cover. Trained service personnel only. No user serviceable components inside. <b>ВНИМАНИЕ!</b> Не удалять эту крышку. Только для обученного персонала. Пригодны к ремонту только квалифицированные специалисты. OJMS/01/ENV/OUNGA/0054				
AC OUTPUT	115/230VAC 1A/0.5A 50/60Hz					
DC OUTPUT	+3.3V	+5V	+12V	-5V	-12V	+5VSB
	25A	30A	16A	0.5A	0.8A	2A
	180W Max.		9.6W Max.		400W	
		<b>ETTEVAATUST!</b> Ärge eemaldada kaet. Vajalikpöhitatud personal ainult kvalifitseeritud komponentide seest.				
		ACC 2007/08		02		

Joonis 6.4 Voolutrafo andmed



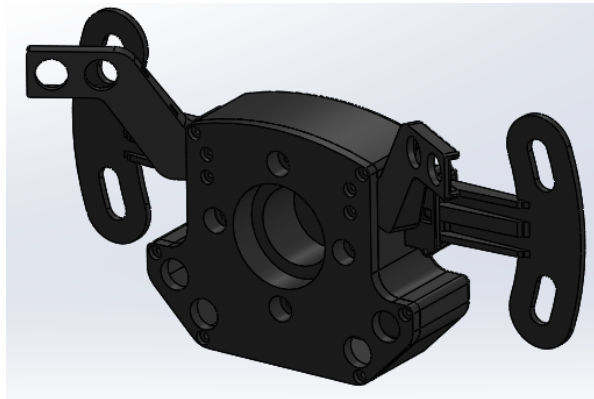
### 6.3 Roolibaasi ja pedaalide mudelid

Joonisel 6.7 on kujutatud valmis tehtud roolibaas, millel on rooli kinnitamiseks kiirkinniti, et oleks võimalik lihtne kohaldada roolibaasi teisele roolile ja ka hoiustada.



Joonis 6.7 Valmis tehtud rooli baas

Joonisel 6.8 on kujutatud rooli nuppude rakis. Antud nuppude rakis sai projekteeritud eelnevalt olemasolevale roolile, et lisada kasutajale rooli külge simulatsioonimängude sisendeid. Rakisele projekteeriti 10 nuppu, millest 2 tükki on mõeldud labadega käiguvahetuseks. Joonisel 6.9 on kujutatud rool koos nupu rakisega

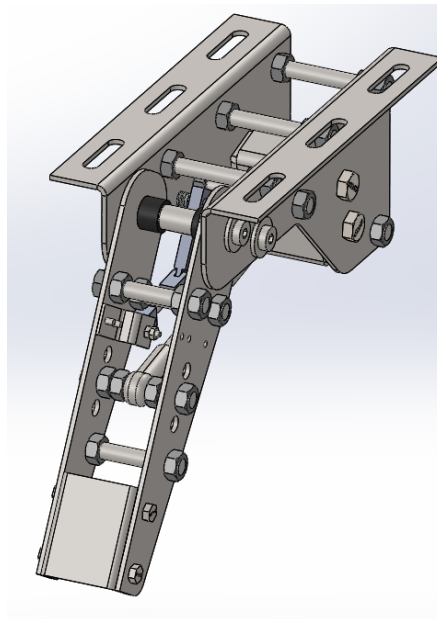


Joonis 6.8 Rooli külge kinnituv nuppude rakis



Joonis 6.9 Rool koos nupu rakisega

Joonisel 6.10 on projekteeritud pedaal ja joonisel 6.11 on pedaalide koost. Antud koost koosneb kolmest pedaalist, mille erinevusteks on see, et millist vedru kasutatakse pedaali vajutuse surve tekitamiseks. Gaasipedaalil kasutatakse kõige pehmemat vedru, piduripedaalil kõige jäigemata ja siduripedaalil keskmise jäikusega vedru, selleks, et simuleerida auto pedaalide.



Joonis 6.10 Projekteeritud pedaal



Joonis 6.11 Valmis koostatud pedaalide koost



## 7. MAKSUMUSE ANALÜÜS

Peale projekteerimist sai koostatud seadmetele maksumuse analüüs, et teada saada kui palju nende valmistamine maksma võiks minna. Maksumuse analüüsi ei ole arvestatud ehituse töötundidega, sest ei ole teada kui kaua võib ehitamine aega võtta. Järgnevates tabelites on toodud projekteeritud seadmete valmistamise maksumus.

Tabel 7.1 Istmeliigutaja maksumus, €

Toode	Kogus	Ühik	Hind	Ühik	Kokku
40x40x4 toru	3,5	m	9,82	€/m	34,4
20x20x2 toru	3,9	m	2,62	€/m	10,2
25x25x3 toru	1,7	m	4,5	€/m	7,7
25x25x2 toru	0,41	m	3,25	€/m	1,3
M4x12 ISO 4762 8.8 ZN	4	tk	0,0912	€/tk	0,4
M4x25 ISO 4762 8.8 ZN	2	tk	0,0648	€/tk	0,1
M6x50 ISO 4762 8.8 ZN	6	tk	0,1248	€/tk	0,7
M8x12 ISO 4762 8.8 ZN	4	tk	0,1452	€/tk	0,6
M8x20 ISO 4762 8.8 ZN	2	tk	0,1482	€/tk	0,3
M8x25 ISO 4762 8.8 ZN	2	tk	0,0648	€/tk	0,1
M8x35 ISO 4762 8.8 ZN	24	tk	0,1308	€/tk	3,1
M8x55 ISO 4762 8.8 ZN	16	tk	0,1974	€/tk	3,2
M8x70 ISO 4762 8.8 ZN	2	tk	0,3156	€/tk	0,6
M8x80 ISO 4762 8.8 ZN	4	tk	0,4818	€/tk	1,9
M8x40 ISO 4762 8.8 ZN	14	tk	0,1482	€/tk	2,1
M8 DIN125 A Seib	52	tk	0,0576	€/tk	3,0
M8 DIN 934 ZN mutter	56	tk	0,0756	€/tk	4,2
M12 DIN 125 A Seib	2	tk	0,1488	€/tk	0,3
M12 DIN 934 mutter	2	tk	0,2004	€/tk	0,4
M6 DIN 125 A Seib	4	tk	0,051	€/tk	0,2
8 mm varsliigend	4	tk	1,77	€/tk	7,1
Elektrimootor	2	tk	184,5	€/tk	369,0
Potentsiomeeter	2	tk	0,35	€/tk	0,7
M4 DIN 934 ZN mutter	4	tk	0,0486	€/tk	0,2
M6 DIN 934 ZN mutter	6	tk	0,0588	€/tk	0,4
Toiteplokk	1	tk	19	€/tk	19,0
Arduino Uno	1	tk	3,29	€/tk	3,3
Sabertooth 2V32	1	tk	124,18	€/tk	124,2
Lehtmaterjalist detailid					50,0
Värvimine					30,0
Lisakulutused					100,0
				<b>Kokku</b>	<b>778,7</b>

Tabelis olev informatsioon saadi veebilehtedelt [12] [13] [14] [15] [16]

Tabel 7.2 Roolibaasi ja pedaalide maksumus, €

Toode	Kogus	Ühik	Hind	Ühik	Kokku
Arduino Micro	1	tk	2,93	€/tk	2,9
BTS 7960	1	tk	6,92	€/tk	6,9
Laagrid	2		5	€/tk	10
Hammasrattad	3		6,55	€/tk	19,7
Potentsiomeetrid	3		0,35	€/tk	1,1
Materjali kulu					40
Pulber värv					30
Lisakulud					30
<b>Kokku</b>					<b>140,6</b>

Tabelis olev informatsioon saadi veebilehelt [12]

Tabel 7.3 Juhtpuldi maksumus, €

Toode	Kogus	Ühik	Hind	Ühik	Kokku
Arduino Micro	1	tk	2,93	€/tk	2,9
Halli tajur	2	tk	0,086	€/tk	0,2
Magnetid	2	tk	0,042	€/tk	0,1
Laagrid	12		0,152	€/tk	1,8
Materjali kulu					30
Lisakulud(kinnitusvahendid, juhtmed, jms)					20
<b>Kokku</b>					<b>55</b>

Tabelis olev informatsioon saadi veebilehelt [12]

Istmeliigutaja maksumuseks on 778,7 €, roolibaasi maksumuseks kujunes 140,6 € ja juhtpuldi maksumuseks 55 €. Kogu projekti maksumuseks on 974,3 €. Turul odavaimaks lahenduseks on Canis Motion GTL2.0L Motion platform base koos Logitech G27 ja driving force shifter, mille maksumuseks on 2893 €. Projekteeritud seadmed tulevad 1918,7 € odavamad kui turult ostes

## KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli projekteerida istmeliigutaja, rool, pedaalid ja juhtpult. Probleemi lahendamiseks kasutati projekteerimise meetodikaid. Loodi nõuete loetelu, mida peavad ja võiksid projekteeritavad seadmed sisaldada. Kontseptuaalsete lahenduste loomiseks sai genereeritud funktsionaalsed struktuurid, et välja selgitada, millistele funktsioonidele on vaja leida lahendusi. Morfoloogilise maatriksiga leiti lahendusi funktsioonidele. Morfoloogilise maatriksi alusel sai loodud seadmetele esialgsed lahendused. Seadmetele sai loodud kolm lahendust, mille hulgast valiti hindamismaatriksi alusel välja parim lahendus.

Kui sobilikud lahendused olid välja selgitatud oli vaja hakata tegelema projekteerimisega. Istmeliigutaja sai projekteeritud S235 terasest nelikanttorust. Raamidele sai teostatud tugevusarvutused, et veenduda raamide vastupidavust ettenähtud 150 kg kandevõimele. Tugevusarvutuste jaoks kasutati materjalile ohutustegurit 1,5 ja turvalisuse mõttes sai dimensioneeritud raam selliselt, et peaks vastu kahekordsele koormusele, sest raamile said teostatud ainult staatilised arvutused, kuigi raamile mõjuvad ka dünaamilised koormused.

Juhtpuldile sai loodud kinemaatika visandid, milles tehti kindlaks, et juhtpulti oleks võimalik kasutada igas suunas 15°. Visandid said loodud ka juhtpulti käiguvahetite ja käsipiduri moodulitele, millega veenduti, et nende liikumistes ei tekiks kokkupõrkeid detailide vahel. Kinemaatika visanditest selgusid dimensioonid, millega oli vaja arvestada projekteerimise käigus. Roolibaasi projekteerimisel oli oluliseks teguriks vajaliku väändemomendi tekitamine roolile. Roolibaasi korpus ja sõlmed said projekteeritud lähtudes kasutatavast elektrimootorit ja ülekande tüübist.

Peale projekteerimist oli selge, milliseid komponente, detaile ja valmistamisviise kasutatakse seadmete tootmiseks ning selle alusel sai koostatud seadmete maksumuse analüüs. Ülesande püstituse eesmärgiks oli ka valmistada seadmed odavamalt, kui turult leitavad tooted. Projekteeritud seadmete kogu maksumuseks kujunes 974,3 €. Turult odavaimaiks lahenduseks on Canis Motion GTL2.0L Motion platform base koos Logitech G27 ja driving force shifter 2893 €. Mis tähendab, et töökäigus projekteeritud seadmed tulevad 1918,7 € võrra odavamad.

## SUMMARY

The aim of the master thesis was to design a seat mover, steering wheel, pedals and joystick. Design methodologies were used to solve the problem. A list of requirements was created about what the devices must and should contain. In order to create conceptual solutions, functional structures were generated to find out which functions need to be solved. With the morphological matrix were found solutions for the functions that were created with functional structures. Based on the morphological matrix solutions conceptual solutions were created for the devices. Three solutions were created for each equipment, from which the best solution was selected on the basis of the evaluation matrix.

Once suitable solutions were identified, it was necessary to start designing. The seat mover was designed from S235 steel square tube. FEA was performed on the frames to verify the durability of the frames to the prescribed load capacity of 150 kg. For the FEA, a safety factor of 1.5 was used for the material, and in terms of safety, the frame was dimensioned to withstand twice the load, as only static calculations were performed on the frame, although the frame is also subjected to dynamic loads.

Kinematic sketches were created for the joystick, in which it was determined that the joystick could be moved  $15^\circ$  in any direction. Sketches were also created for the shifter and handbrake modules to make sure that there were no collisions between parts during their movements. The kinematics sketches revealed the dimensions which have to be considered during the design process. An important factor in the design of the steering wheelbase was the generation of the required torque to the steering wheel. The steering wheelbase housing was designed based on the electric motor and the type of transmission.

After the design, it was clear which components, parts and manufacturing methods would be used for the production of the equipment, and on the basis of this, a cost analysis was prepared for the equipment. The task was also aimed at making the equipment cheaper than the products found on the market. The cost of the designed equipment is 974,3 € while the cheapest option found on the market totals to 2893 €. Which means that equipment designed for master thesis is 1918,7 € cheaper

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Ray L. Page. (2000). Brief History of Flight Simulation (16.05.2020)
- [2] Sim Racing Studio [WWW] <https://www.simracingstudio.com/> (05.05.2020)
- [3] Canis motion [WWW] <https://www.caniseng.com/> (05.05.2020)
- [4] Next Level Racing [WWW] <https://www.nextlevelracing.com/> (05.05.2020)
- [5] RSeat Simracing Cockpit Europe [WWW] <https://www.rseat-europe.com/> (05.05.2020)
- [6] Simexperience [WWW] <https://simxperience.com/> (05.05.2020)
- [7] Logitech [WWW] <https://www.logitechg.com/en-us> (05.05.2020)
- [8] Thrustmaster [WWW] [http://www.thrustmaster.com/en\\_UK/](http://www.thrustmaster.com/en_UK/) (05.05.2020)
- [9] Fanatec [WWW] <https://fanatec.com/eu-en/> (05.05.2020)
- [10] Ulrich Fischer, Roland Gomeringer, Max Heinzler, Roland Kilgus, Friedrich Näher, Stefan Oesterle, Heinz Paetzold, Andreas Stephan. (2013). Mehaanikainseneri käsiraamat, Teine, täiendatud ja parandatud trükk. Tallinn. TTÜ Kirjastus
- [11] XSimulator [WWW] <https://www.xsimulator.net/> (15.05.2020)
- [12] Aliexpress [WWW] <https://www.aliexpress.com/> (15.05.2020)
- [13] Metall 24 [WWW] <https://www.metall24.ee/> (15.05.2020)
- [14] Baltic Bolt [WWW] <https://www.balticbolt.ee/> (15.05.2020)
- [15] Ebay [WWW] <https://www.ebay.com/> (15.05.2020)
- [16] Robotshop [WWW] <https://www.robotshop.com> (15.05.2020)

## **LISAD**

- 1) IK.003.001 – Elektrimootori tugi toru
- 2) ID.001.003 – Rooli kinnitus tugi istmeliigutajale
- 3) ID.002.001 – 40x40x4 L517mm
- 4) ID.002.002 – 25x25x3 L203mm
- 5) ID.002.003 – 40x40x4 L680 mm
- 6) ID.002.004 – Mootori tugi plaat
- 7) ID.002.005 – 20x20x2 L500 mm
- 8) RD.001.001 – Rooli kiirkinniti

## **GRAAFILINE OSA**

- 1) IK.001.000 – Istmeliigutaja
- 2) IK.002.001 – Istmeliigutaja alumine raam
- 3) IK.003.003 – Elektrimootori koost
- 4) IK.003.004 – Istmeliigutaja ülemineraam