

Aigar Voole

**LAITSERALLYPARKI
LIIKLUSLINNAKU
LASTESÕIDUKI
JUHTSEADISTE
ARENDUSPROJEKT**

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut
Autotehnika õppekava
Juhendaja: Janek Lupp

Tallinn 2021

Autori deklaratsioon

Mina Aigar Voole tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja Janek Lupp /allkirjastatud digitaalselt/

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Aigar Voole, sünnikuupäev: 04.05.1998, annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose: Laitserallyparki Liikluslinnaku Lastesõiduki Juhtseadiste Arendusprojekt

1. reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
2. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
3. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle

/kuupäev digiallkirjas/

/allkirjastatud digitaalselt/

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	4
1. LAITSERALLYPARK LASTEAUTO PROJEKTI ÜLDKIRJELDUS	5
1.1. Projekti kirjeldus.....	5
1.2. Baassõiduk ja selle omadused	5
1.2.1. Baassõiduki roolisüsteem	6
1.2.2. Baassõiduki pidurid.....	6
1.3. Liikluslinnaku ülevaade.....	7
2. ROOLISÜSTEEM	9
2.1. Nõuded roolisüsteemile	9
2.2. Sobiva roolisüsteemi projekteerimine	9
2.2.1. Teljevahe, rööpme ning pöörderaadiuse määramine.....	9
2.2.2. Baaslahenduse valik	11
2.2.3. Sobiva ülekandearvu määramine ja reduktori valik.....	11
2.2.4. Reduktori lahenduse kohandamine hobikardi roolisüsteemiga.....	14
2.2.5. Hobikardi roolisüsteemi kohandamine sõidukiga	15
2.3. Roolisüsteemi komponendid	18
2.4. Tuleviku parendused roolisüsteemile	19
3. PIDURISÜSTEEM	20
3.1. Nõuded pidurisüsteemile	20
3.2. Sobiva lahenduse loomine	21
3.2.1. Piduriketastele kinnituskoha valik	22
3.2.2. Pidurisadulate kinnituskronsteini loomine	24
3.2.3. Piduripedaali loomine	26
3.3. Pidurisüsteemi komponendid	29
3.4. Tuleviku parendused pidurisüsteemile	29
KOKKUVÕTE.....	30
SUMMARY	31
VIIDATUD ALLIKAD.....	32
LISAD	33

SISSEJUHATUS

Käesolevas lõputöös käsitletakse LaitseRallyPargi poolt pakutud projekti, milleks on nende liikluslinnakusse vähendatud mõõtmetega auto juhtseadiste projekteerimine. Täpsemalt käsitletakse rooli- ning pidurisüsteemi projekteerimist.

Teema valiti, kuna see projekt ise on väga hea ja huvitav väljakutse. Annab kogemusi tulevikuks projekteerimise valdkonnas ning saab tutvusi töömaailmas. Samuti on projekti raskusaste sobiv, et väheste kogemustega hakkama saada. Teema on aktuaalne, sest LaitseRallyPargil on reaalne soov toota ja arendada oma liikluslinnakusse sobivaid autosid ning hiljem potentsiaalselt neid ka müügi eesmärgil tootma hakata.

Töö eesmärgiks oli projekteerida sõidukile sobiv rooli- ja pidurisüsteem. Oluline oli saada piisavalt kaugele, et lahenduste põhjal oleks võimalik luua esialgne prototüüp. Prototüübi alusel oleks võimalik teha üldiseid arendusi ning samuti teste, mille käigus oleks lihtsam tuvastada puudusi, mis esmase projekteerimise käigus jäid märkamata. Samuti on võimalik prototüübi põhjal teha kindlaks, kas selline sõiduk sellisel kujul tasub üldse ära või tuleks projektile läheneda muul viisil.

Töö eesmärgini jõudmiseks tuli lahendada mitu ülesannet. Esmalt tuli paika seada koos LaitseRallyPargiga vajalikud nõuded, millele sõiduki juhtseadised vastama peavad. Seejärel pidi leidma sobivad lahendused rooli- ja pidurisüsteemi loomiseks, mis vastaksid LaitseRallyPargi poolt etteantud nõuetele. Järgmisena tuli kohandada sobivad lahendused sõiduki muudetud raamiga luues vajalikud lisadetailid kinnitusteks. Lõpuks pidi üle kontrollima, kas lõpplahendus vastab LaitseRallyPargi poolt seotud nõuetele ning samuti ka arvutuste tulemusel saadud nõuetele.

Töö on jaotatud kolmeks osaks. Esimeses osas tutvustatakse lähemalt projekti ennast, LaitseRallyPargi liikluslinnakut ja projektis kasutatatud baassõidukit ning selle omadusi. Järgmises osas käsitletakse roolisüsteemi projekteerimist ning sellega seotud lahendusi. Viimases osas käsitletakse pidurisüsteemi projekteerimist.

Töö käigus põhiliseks probleemiks osutus vähene eelnev kogemus projekteerimise valdkonnas ning seetõttu lahendusteni jõudmine võttis palju rohkem aega, sest paljud baasteadmised tuli esmalt enesele selgeks teha. Töö jooksul oli väga palju abi juhendaja Janek Luppini soovitud ning erinevad loengutes kasutusel olevad materjalid ja loengukonspektid.

1. LAITSERALLYPARK LASTEAUTO PROJEKTI ÜLDKIRJELDUS

1.1. Projekti kirjeldus

LaitseRallyPark rajas oma aladele liikluslinnaku, mis on vähendatud mõõtmetega linn koos majade, teede ja valgusfooridega. Liikluslinnaku eesmärk on pakkuda lastele võimalust õppida liiklusmärke ja turvalist liiklemist jalgratastega, pedaalkartidega ja autodega juba varases eas. [1] Liikluslinnaku valmides selgus, et keeruliseks osutus leida sobivat sõidukit lastele liiklemiseks. Turul olemasolevad elektriautod lastele on mõeldud rohkem mänguasjadeks ja ei ole seetõttu piisavalt vastupidavad ja ei anna õiget tunnetust. Seetõttu plaanis LaitseRallyPark sobiva sõiduki ise toota, kasutades baassõidukiks elektrilist invaliikurit. [2]

1.2. Baassõiduk ja selle omadused

Baassõiduk oli Sterling Diamond ja see oli eelnevalt juba LaitseRallyPargi poolt välja valitud (Sele 1). Sterling Diamond on nelja rattaga elektriline invaliikur. All olevas tabelis on näha sõiduki üldandmed (Tabel 1).

Tabel 1. Baassõiduki üldandmed

Baassõiduki üldandmed	
Tühimass mõõdetud, kg	79,00
Kaalujaotus ilma sõitjaga, koormus esitlejele % /koormus taguteljele %	36,47/63,53
Kaalujaotus 74kg sõitjaga, koormus esitlejele % / koormus taguteljele %	28,30/71,70
Pikkus, mm	1300,00
Maksimaalne laius, mm	640,00
Kõrgus mõõdetud, mm	960,00
Pöörderaadius, mm	1455,00
Teljevahe, m	0,88



Sele 1. Elektriline invaliikur Sterling Diamond

1.2.1. Baassõiduki roolisüsteem

Baassõiduki roolisüsteem töötas kasutades juhtrauda. Juhtraud pööras läbi roolivarda sõiduki paremat ratast ning see omakorda oli ühendatud läbi roolivarda sõiduki teise rattaga. Mõõtmise käigus saadi pöörderaadiuseks antud roolisüsteemiga 1,45 m. Baassõiduki väliskurvipoolse esiratta pöördenurk oli 43 kraadi ning sisekurvipoolse esiratta pöördenurk oli 50 kraadi.

1.2.2. Baassõiduki pidurid

Invaliikuril puudusid mehaanilised pidurid ja sõidukit pidurdas elektrimootori küljes olev elektriline pidur. Pidur lülitub maha kui sellele juhtida peale 24V ning selle puudumisel on pidur peal. Pidurit juht eraldi kontrollida ei saanud, vaid lastes gaasi maha lülitus pidur automaatselt peale. Sõiduki andmeid mõõdeti VBOX mõõtmeseadme abil ning maksimaalseks kiiruseks sõidukil saadi 12 km/h. Sellelt kiiruselt peatumiseks kulus 1,7 sekundit ning sõiduk läbis selle ajaga 2,42 m. Nende andmete

põhjal on sõiduki keskmise aeglustuse väärtus $1,96 \frac{m}{s^2}$. Võrreldes tavaautoga on aeglustuse väärtus väike ning seetõttu ei võimalda teha äkkpidurdust ohuolukorras.

1.3. Liikluslinnaku ülevaade

Liikluslinnak on vähendatud mõõtmetega kahesuunaline tee, kus on nii ringtee kui ka palju eri raadiustega kurve (Sele 2). Enamus teest on laiuselt 3m, kuid kohapeal mõõtnud käies saime minimaalseks tee laiuseks 2,5 m (Sele 3). Läbi Maaameti Kaardirakenduse sai minimaalseks kurviraadiuseks 2,1 m (Sele 4). Neid mõõte tuli arvesse võtta sõiduki projekteerimisel.



Sele 2. Liikluslinnaku foto [3]



Sele 3. Liikluslinnaku aerofoto minimaalse tee laiusega [4]



Sele 4. Liikluslinnaku aerofoto minimaalse raadiusega [4]

2. ROOLISÜSTEEM

2.1. Nõuded roolisüsteemile

LaitseRallyPargi soov oli, et sõidukiga sõitmine sarnaneks päris autoga sõitmisega. Selleks oli vaja, et rool teeks kokku ligikaudu kaks täispööret ja sõiduki algne roolisüsteem seda ei võimaldanud. Sellest tulenevalt tuli sõidukile leida sobiv roolisüsteem ostutootena või see ise luua. Lisaks oli oluline, et sõidukis oleks võimalik korraga viibida vähemalt kahel lapsel või ühel täiskasvanul. Seetõttu on ka vajadus, et olemasolevat roolisüsteemi saaks reguleerida. Kuna lisaks roolile on ka istet võimalik reguleerida, siis esialgu oli plaanis muuta reguleeritavaks ainult roolisamba kõrgus. Lisaks pidi sõiduk vastame liikluslinnakuga, ehk pöörderaadius pidi jääma alla 2,1m.

2.2. Sobiva roolisüsteemi projekteerimine

2.2.1. Teljevahe, rööpme ning pöörderaadiuse määramine

Baassõiduki mõõtmed ei olnud sobivad lasteauto arendamiseks, sest mitmel lapsel poleks võimalik korraga autos viibida. Esmalt valiti sõidukile sobiv rööbe, teades liikluslinnaku minimaalset teelaiust 2,5 m. LaitseRallyPargi meeskonnaga suheldes otsustati, et esialgne rööbe võiks jääda vahemiku 0,7m kuni 0,8 m. See tagaks piisava vahe kahe sõiduki vahel, et harjutavad lapsed üksteisele kergelt otsa ei saaks sõita.

Järgmisena tuli arvutada teljevahe, millest üle ei tohiks minna, teades sõiduki rataste pöördenurki ning raja minimaalset kurviraadiust. Maksimaalne teljevahe L (m) arvutati valemiga (1)

$$L = R \times \sin \theta_{1v}, \quad (1) [5]$$

kus R – pöörderaadius, m

θ_{1v} – väliskurvipoolse esiratta pöördenurk, rad.

Kuna valemis tuleb kasutada ratta pöördenurka radiaanides, siis esmalt tuleb see ümber teisendada

$$\frac{43 \times \pi}{180} = 0,75 \text{ rad}.$$

Seejärel kasutades valemit (1) arvutati maksimaalne lubatud teljevahe

$$L = 2,1 \times \sin 0,75 = 1,43 \text{ m}.$$

Kuna antud valemi järgi arvutatud teljevahe oleks ideaalsetes tingimustes, siis kindluse mõttes tuli reaalne teljevahe võtta väiksem. Nende mõõtmete põhjal loodi puidust testsõiduk teljevahega 1200 mm ning rööpmega 780 mm. Selle raamiga käidi liikluslinnakus ka proovipäeval ja seal selgus, et sõiduk läbib kõik rajal olevad kurvid ilusti, kuid kitsamates kohtades oli liialt lai ning välimuselt natuke piklik. Otsustati teljevahe viia 1130 mm peale, sest veel lühemaks minnes oleks oluline istumisruum kadunud ning rööbe viidi 710 mm peale, et sõiduk oleks kitsam, kuid endiselt oleks võimalik kahel lapsel korraga sõidukis viibida. Need muudatused tehti ka testsõidukiga ning käidi uuesti liikluslinnakus testimas ja seekord mõõdud sobisid (Sele 5).



Sele 5. Puidust testsõiduk LaitseRallyPargi liikluslinnakus

Teades lõpliku teljevahe arvutati ka pöörderaadius R (m) valemiga (2)

$$R = \frac{L}{\sin \theta_{1v}}, \quad (2) [5]$$

kus L – teljevahe, m

θ_{1v} – väliskurvipoolse esiratta pöördenurk rad.

Kasutades valemit (2) arvutati sõiduki pöörderaadius

$$R = \frac{1,13}{\sin 0,75} = 1,66 \text{ m.}$$

Lisaks arvutusele mõõdeti ka puidust testsõidukiga reaalne pöörderaadius ning selleks tuli 1,95 m. Vahe arvutuslikul ja reaalsel pöörderaadiusel on päris suur ning arvatavasti tuleneb sellest, et sõidukil pole Ackermanni rooligeomeetria ja seetõttu sisekurvipoolne ratas mõjutab üldist pöörderaadiust.

2.2.2. Baaslahenduse valik

Algne sõiduk töötas juhtrauaga ja sellele oli vaja leida asendus. Sobivateks lahendusteks kaaluti golfiauto roolisüsteemi või hobikardi roolisüsteem koos reduktoriga.

Golfiauto roolisüsteem oleks lihtne lahendus ostutootena, kuid üks ühele see lasteautole ei sobiks ning tuleks teha mõningaid muudatusi ja seega kaoks ära ostutoote lihtsus. Samuti kuna ei olnud võimalik leida nende puhul kindlat ülekandearvu, ei saanud veenduda, et antud sõidukile selline lahendus sobiks. Kolmandaks probleemiks osutus hind, sest golfiauto roolisüsteemid koos vajalike muudatustega oleks olnud kulukam kui hobikardi roolisüsteem.

Teise lahendusena kaaluti hobikardi roolisüsteemi. LaitseRallyPark tegeleb hobikartide laenutusega ning seetõttu on neil võimalik hobikardi varuosi kergelt saada. Hobikardi roolisüsteem on suhteliselt lihtne detail ning seetõttu kergem sobitada ka lasteautoga. Miinusteks oleks ligikaudu 1:1 ülekandearv rooli ja rataste vahel ning seetõttu on vajadus lisada juurde eraldi reduktor. Kuna antud lahendus oli teistest odavam, siis LaitseRallyPark soovil otsustati selle lahendusega edasi minna.

2.2.3. Sobiva ülekandearvu määramine ja reduktori valik

Võttes kasutusele hobikardi roolisüsteemi tekkis vajadus reduktorile, et suurendada rooli pöörete arvu. Enne sobiva reduktori leidmist, tuli kindlaks määrata, milline on vajalik ülekandearv teades, et sõiduki rool teeks kokku vähemalt kaks täispööret. Puidust testsõiduki pealt mõõtmise tulemusel leiti,

mitu kraadi keerab ratas ning kui palju selle jaoks keerab rool. Seejärel sai leida valemiga (3) kardi roolisüsteemi algne ülekandearv i_{algne}

$$i_{algne} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}, \quad (3) [5]$$

kus α_2 – pöördnurk rattal, °
 α_1 – pöördnurk roolil, °.

Vastavalt valemile (3) leiti kardi roolisüsteemi ülekandearv

$$i = \frac{39,5}{50} = 0,79$$

Teades kardi roolisüsteemi ülekandearvu, pöördnurka rattal ning soovitud pöördnurka roolil sai leida sobiva ülekandearvu reduktorile $i_{vajaminev}$ valemi (4) abil

$$i_{vajaminev} = \frac{\alpha_3}{\alpha_1 \times i_{algne}}, \quad (4) [5]$$

kus α_3 – soovitud rooli pöördnurk, °
 α_1 – algne pöördnurk roolil, °
 i_{algne} – ülekandearv kardi roolisüsteemil.

Vastavalt valemile (4) leiti reduktori ülekandearv

$$i_{vajaminev} = \frac{360}{50 * 0,79} = 9,11$$

Teades ülekandearvu, mis reduktoril peaks olema, sai alustada reduktori valikuga. Reduktori puhul oli oluline töökindlus, suurus ning seejärel hind. Sobivaks lahenduseks kaaluti sobiv planetaarülekanne ostutootena ning hammasülekandegas reduktori loomine.

Töökindluse tagamiseks pidi reduktor vastu pidama olukorrale, kus rattad on keeratud maksimaalsesse asendisse ning seejärel rooli edasi keerates 150 N ei tohiks reduktor puruneda. Piiriks pandud jõud saadi mõõtmise tulemusel puidust testsõiduki abil. Teades rooli diameetrit ning roolile mõjuvat jõudu sai arvutada pöördemomenti M (Nm) valemiga (5)

$$M = F \times l, \quad (5) [5]$$

kus F – roolile avalduv jõud, N
 l – õla pikkus, m.

Vastavalt valemile (5) leiti pöördemoment, millele reduktor peab vastama

$$M = 150 \times 0,28 = 42 \text{ Nm}$$

Esmalt kaaluti ise reduktori loomist, ostes hammasrattad Eesti tootjatelt ning luues neile ümber sobiva korpuse. Valides ülekandearvu saavutamiseks sobivaid hammasrattaid selgus, et hammasrattad, mis peaksid vastu pöördemomendile 42 Nm on suured, alates läbimõõduga 70mm [6, p. 2]. Seega tuleks kogu koost liialt suur ning antud sõidukile kasutamiseks ei sobiks. Seetõttu jäi sobivaks lahenduseks planetaarülekanne kasutamine

Sobivaks ülekandeks leiti elektrimootoritele mõeldud planetaarülekanne PX86N004S0. Antud planetaarülekannet Eestis ei müüda ning tuleb tellida Hiinast. All olevas tabelis (Tabel 2) on näha planetaarülekanne andmeid. Antud reduktori ülekandearv 10,56:1 on suurem soovitud 9,11:1, kuid see on sobiv, sest eesmärg oli roolil 2 täispööret või rohkem.

Tabel 2. Planetaarülekanne PX86N004S0 baasandmed [7]

Planetaarülekanne PX86N004S0 baasandmed	
Maksimaalne pöördemoment, Nm	80
Detaili pikkus, mm	94
Detaili laius, mm	86
Ülekandearv	10,5625:1
Mass, kg	2,4

2.2.4. Reduktori lahenduse kohandamine hobikardi roolisüsteemiga

Algne hobikardi roolisüsteem koosnes 20 mm läbimõõduga roolisambast, mis kinnitus kardaanliigendi külge ning see kinnitus roolisamba alumise osa külge, kuhu kinnitusid roolivardad (Sele 6). Et sobitada reduktor olemasolevate osadega, tuli roolisammas asendada sisendvõlliga (Lisa 1) ja väljundvõlliga (Lisa 2). Kardaanliigendist kõik alla poole jääb algse lahendusega samaks. Kuna roolisamba kõrgus on reguleeritav, siis pidi reduktori kinnitus samuti kogu koostuga kaasa liikuma. Seega otsustati planetaarülekanne kinnitus (Lisa 3) kinnitada laagripuki kinnituskronsteini külge.



Sele 6. Kardi roolisüsteemi koost

2.2.5. Hobikardi roolisüsteemi kohandamine sõidukiga

Baassõidukilt saime kasutusse võtta rattad, õõtsuavad ja käänmikud. Kuna sõiduki raam tuli ka täielikult uus, sest sõiduki teljevahe ja rööbe tuli muuta, siis tuli ka leida sobiv viis ühendada kardi roolisüsteem baassõiduki käänmikega. Sarnaselt alglahendusega ühendati roolivarras roolisambast sõiduki ühe käänmikuga ning seejärel omavahel mõlemad käänmikud eraldi roolivardaga.

Järgmisena tuli leida puidust testsõiduki alusel sobiv kinnituskohd kardi roolisambale. Leida oli vaja koht, kus roolikardaan ei oleks liiga suure nurga all, roolisammas ei läheks vastu amortisaatorite kinnitustala ja samas suudaks roolivarras piisavalt välja keerata, et mõlemale poole keerates rattad saavutaksid oma maksimaalse nurga. Leides puidust testsõiduki abil kinnituskoha asukoha, kanti see üle CATIA-sse, mis on raalprojekteerimise tarkvara, mida meie projekteerimisel kasutasime. Seejärel loodi roolisamba alumine kinnitus raami külge (Lisa 6).

Esialgne roolisamba ülemine kinnitus oli plastikust tükk, mis käis üle roolisamba (Sele 7). Ilma reduktorita keeras rool kokku ligikaudu 80°, kuid lisades juurde reduktori teeb rool üle kahe täispöörde ning seega tekkis vajadus kinnitust muuta, sest plastik võib pikema aja peale kuluda ning tekitada roolis ebavajaliku liikumist. Kasutusele võeti 20 mm läbimõõduga laagripukk UCFL 204 (Sele 8).

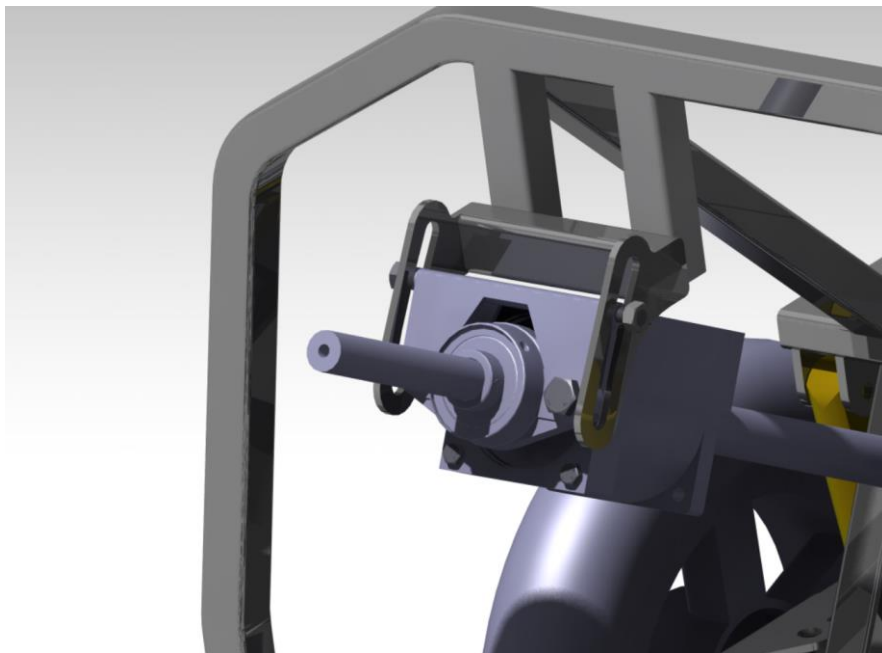


Sele 7. Roolisamba plastikust kinnitus



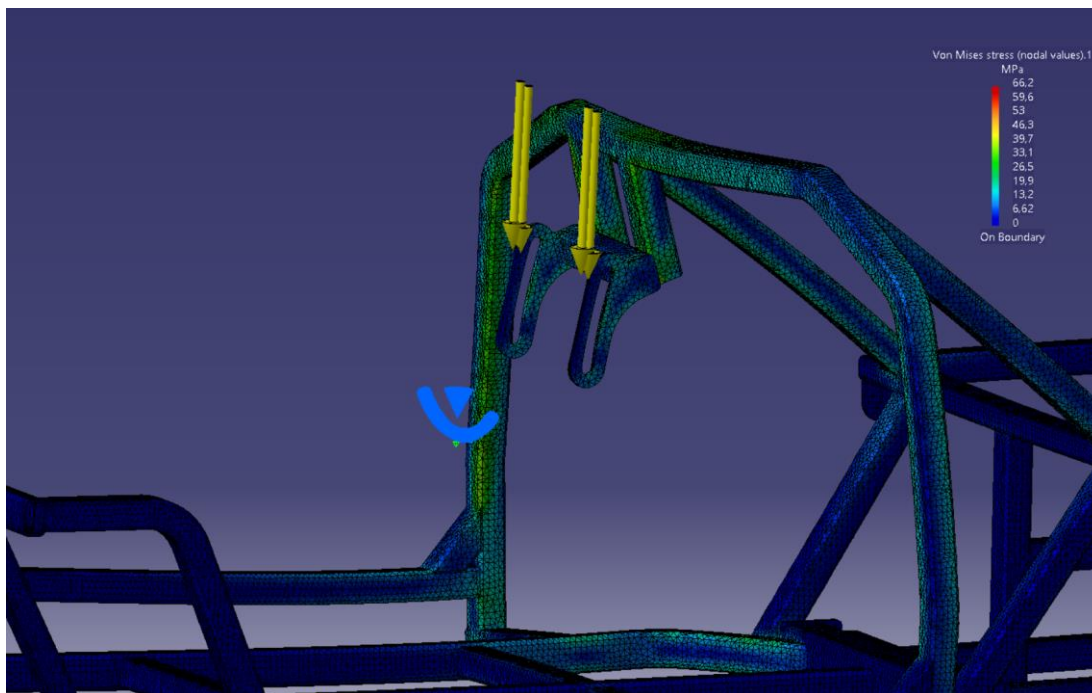
Sele 8. Laagripukk UCFL 204 [8]

Järgmisena tuli luua laagripukile kinnitus, mis ühendaks raami ja laagripukki. Selleks lisati CATIA-sse vajalikud detailid ning nende asukohad ning seejärel sai luua sobiva detaili, mis samuti võimaldaks laagripukil ning seeläbi ka roolisambal üles-alla suunas liikuda. Laagripukk ühendub oma kinnitusega (Lisa 4) poltide abil ning see omakorda liigub raami ülemise kinnituskronsteini soontes (Lisa 5), tagades üles-alla liikumise (Sele 9). Roolisamba sobivale kõrgusele kinnitamiseks kasutatakse polti koos mutriga.

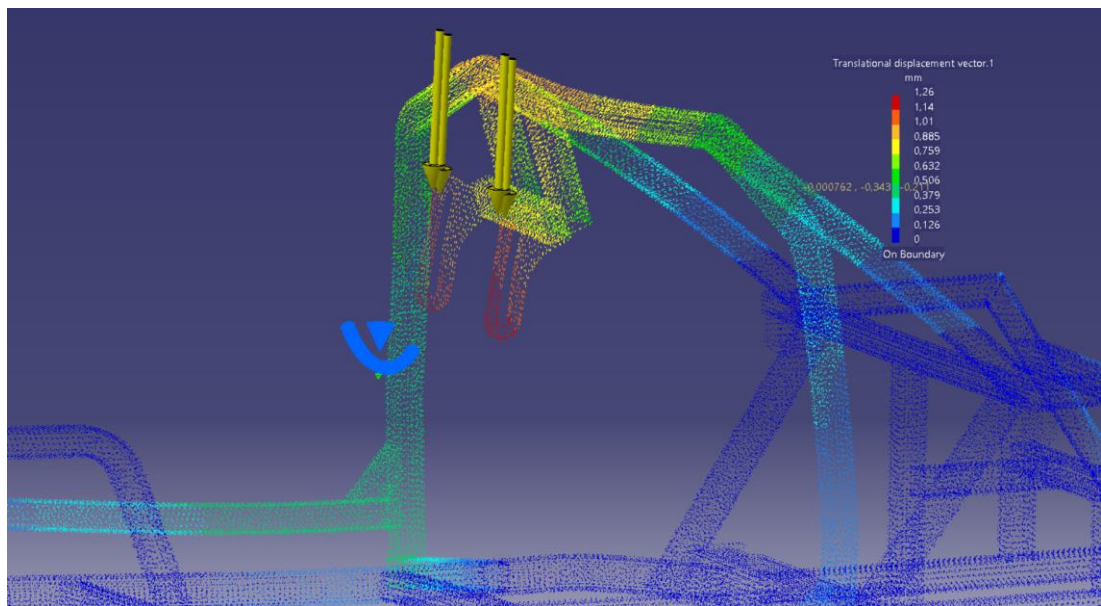


Sele 9. Rooli ülemine kinnituskronstein

Rooli ülemisele kinnitusele tehti ka analüüs. Selleks ühendati kinnitus jäigalt raamiga ning raami kaks põikitala kinnitati paigale. Seejärel rakendati 500N jõudu kinnitusele, selline jõud saaks mõjuda vaid siis, kui täiskasvanud inimene sõidukisse sisse istumisel toetuks suure osa oma keha raskusega roolile. Sõitmise ajal on koormused väiksed. Analüüsi tulemusena saadi maksimaalseks pingeks 66,2 MPa (Sele 10) ning maksimaalseks siirdeks 1,26 mm (Sele 11). Arvestades materjali voolepiiri 355 MPa, tuleb varuteguriks 5,36. Kuna varutegur on suhteliselt suur oleks võimalik minna üle väiksema voolepiiriga materjalile.



Sele 10. Rooli kinnituskronsteinile mõjuvad pinged



Sele 11. Rooli kinnituskronsteini siirded

2.3. Roolisüsteemi komponendid

Roolisüsteemi koostamiseks vajaminevaid osi saab näha all olevast tabelist (Tabel 3), samuti on näha kas antud detaili peab ise tootma või on ostutootena saada. Roolisüsteemi koostu joonist on võimalik näha ka lisades (Lisa 7).

Tabel 3. Roolisüsteemi komponendid

Roolisüsteemi komponent	Tootmise vajadus
Hobikardi roolisüsteem	Ostutoode
Laagripukk UCFL 204	Ostutoode
Planetaarülekanne PX86N004S0	Ostutoode
Rool pedaalkardilt	Ostutoode
Eri mõõdus poldid ja mutrid	Ostutoode
Roolisamba alumine kinnitus	Peab ise tootma
Roolisamba ülemine võll	Peab ise tootma

Roolisüsteemi komponent	Tootmise vajadus
Roolisamba alumine võll	Peab ise tootma
Laagripukki kinnitus	Peab ise tootma
Rooli kinnituskronstein	Peab ise tootma
Lühike roolivarras	Peab ise tootma
Pikk roolivarras	Peab ise tootma

2.4. Tuleviku parendused roolisüsteemile

Hetkel projekteeritud roolisüsteem peaks sõidukil toimima, kuid lisaks tuleks ka kaaluda variante kuidas seda parandada. Esialgu baasiks võetud hobikardi roolisüsteem lihtsuse ning hinna alusel ei taga neid omadusi enam nii hästi lisades sellele juurde eraldi kinnituskronsteinid ning samuti planetaarülekande. Samuti on probleemiks planetaarülekande suurus ja asukoht. Hetkel võtab ta olulist ruumi jalgade alas, põlvede piirkonnas. See raskendab sõidukisse sisse istumist ning lisaks tuleks ülekanne katta mingi detailiga, et vältida jalgade ära löömist teravate nurkade vastu. Samuti tekib lisa kulusid, kuna suurem osa baas roolisüsteemist tuleb mingi määral ümber ehitada või välja vahetada ja seetõttu jäävad teatud detailid üle, mis on siiski algtöote hinna sees.

Tuleks uuesti kaaluda roolilatiga roolisüsteemi kasutamist. Seda ka projekti alguse poole tehti, kuid esialgu otsustati, et on liialt kulukas ja keeruline ning projekti hilisemas osas tekkis ajapuudus, et lahendust põhjalikumalt kaaluda.

3. PIDURISÜSTEEM

3.1. Nõuded pidurisüsteemile

Olemasolev elektriline pidur töötab nagu *on-off* lüliti ja seetõttu tekkis vajadus lisada juurde eraldi mehaanilised pidurid, mis on läbi pedaali jalaga kasutatav. Turvalisuse eesmärgil jääks iselülituv elektriline pidur siiski alles juhul kui lisatud pidur peaks mingil põhjusel mitte toimima või laps unustab pidurile vajutada.

Et sobivat pidurisüsteemi luua, pidi eelnevalt kindlaks tegema, millele see vastama peab. Esmalt pidi kindlaks tegema, milline on suurim pidurdusjõud tagarattal ja seega ka suurim pidurdusmoment tagarattal. Alustada tuli sõiduki tagarattale langeva koormuse Z_2 (N) leidmine valemiga (6)

$$Z_2 = \frac{F_z \times a}{L \times 2}, \quad (6) [5]$$

kus F_z – auto raskusjõud, N

a – raskuskeskme kaugus esiteljest, m

L – sõiduki teljevahe, m.

Vastavalt valemile (6) leitakse tagarattale langev koormus:

$$Z_2 = \frac{1569,60 \times 0,755}{1,18 \times 2} = 502 \text{ N.}$$

Seejärel saab leida pidurdusjõu tagarattal F (N) valemiga (7)

$$F = Z_2 \times \mu, \quad (7) [5]$$

kus Z_2 – tagarattale langev koormus, N

μ – sidestustegur.

Vastavalt valemile (7) leitakse pidurdusjõud tagarattal:

$$F = 502 \times 0,8 = 401,6 \text{ N.}$$

Teades pidurdusjõudu tagarattal saab leida pidurdusmomendi tagarattal M (Nm) valemiga (8), arvutus tehakse ilma koormuse ümberjaotuse arvutusega

$$M = F \times r, \quad (8) [5]$$

kus F – pidurdusjõud tagarattal, N

r – tagaratta raadius, m.

Vastavalt valemile (8) leitakse maksimaalne pidurdusmoment tagarattal:

$$M = 401,6 \times 0,165 = 66 \text{ Nm}.$$

3.2. Sobiva lahenduse loomine

Lisa mehaanilised pidurid sõidukile otsustati lisada sõiduki tagumisele teljele, kuna ette pööravale teljele oleks nende lisamine keerulisem ja otsest vajadust kõiki nelja ratast pidurdama panna polnud. Kuna baassõidukil oli lahtine diferentsiaal, siis ei saanud pidurdada ühe piduriga ainult tagumist telge, vaid pidurdama pidi mõlemat tagumist ratast.

Pidurisadulad valiti ketaspiduriga jalgrattalt, sest need sobivad suuruse kui ka hinna poolest. Sobivateks pidurisadulateks osutusid Shimano BR-M375 (Sele 12), kuna need olid ainukesed mitte hüdraulilised pidurisadulad selles hinnaklassis. Hüdraulilisi pidureid ei soovitud, kuna nendel poleks antud kasutuses otsest eelist, aga tekitaksid lisa keerukust ning kulusi. Pidurisadulad ühenduks pedaaliga sarnaselt sõiduauto käsipiduriga, kus mõlemast pidurist tuleb välja tross ning need ühenduvad sõiduki tagaosas üheks ja sealt edasi pedaali läheb üks tross. Sadulat trosside ühenduskohaga ühendaks jalgratta piduritrossid ning ühenduskoht koos sealt edasi mineva trossiga oleks auto käsipidurisüsteemist. Trossidele tuleks ka kaitseks rüü ning rüü kinnitus raami põhja alla.



Sele 12. Shimano BR-M375 pidurisadul [9]

Pidurikettad plaaniti algus samuti kasutada ketaspiduriga jalgrattalt aga kuna jalgratta ketaspidurite keskmine ava on liiga väike, siis füüsiliselt ei mahuks need tagumise silla juurde ära, seega otsustati pidurikettad toota lehtmaterjalist laserlõikuse abil.

3.2.1. Piduriketastele kinnituskoha valik

Alustati piduriketaste ja nende kinnituse loomisega CATIA programmi abil. Esmalt loodi baassõiduki rattad ja tagasild ning seejärel leiti sobiv koht, kuhu piduriketta saaks kinnitada. Piduriketta kinnitamiseks sai kasutada rattal olemasolevaid polte, mis hoidsid ratta eri osi koos (Sele 13). Kuna pidurisadulatele oli ruumi vaja, siis kettad pidi tooma rattast eemale kasutades vahetükke. Vasakpoolne vahetükk (Lisa 8) ja parempoolne vahetükk (Lisa 9) tuli luua eri pikkusega, sest jalgratta pidurisadulad on mõeldud kinnituma ainult ühele poole ratast ja ketta soon sadulas ei ole selle keskel. Kuna piduriketta vahetüki kinnituspind (Sele 13) on valatud tuleb see pind eelnevalt üle töödelda, et saaks veenduda pinna tasetasuses ja ketas ei hakkaks viskuma tekitades ebameeldivat rütmilist häält.



Sele 13. Piduriketta kinnituskoht rattal

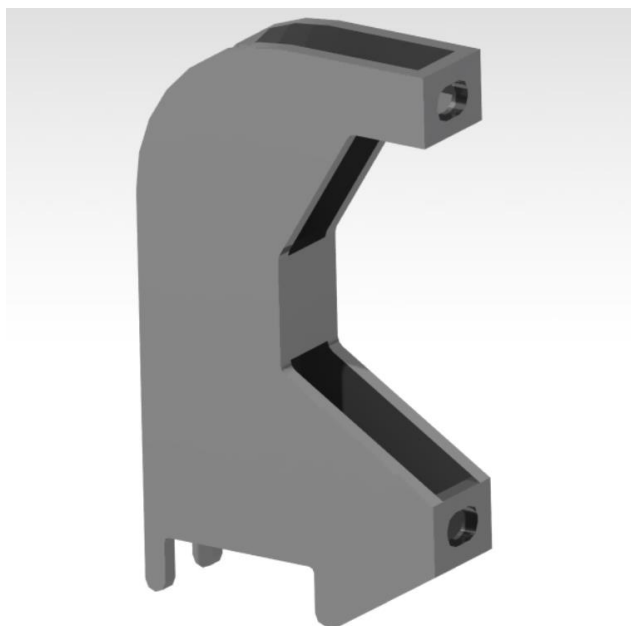
Kuna töötlemine oleks lisa kulu ja ka lisategevus, siis otsiti ka lahendust kinnitada piduriketas mujale. Prooviti kasutada piduriketta kinnituseks rattal olevaid teisi poldiavasid (Sele 14) ning pidurisadul kinnitada ketta sisemisele servale. Sellist lahendust antud sõiduki puhul ei saanud kasutada, sest pidurisadula kinnitamiseks poleks piisavalt ruumi ning samuti pidurikettad läheksid liialt suureks ja seetõttu peaks raami muutma.



Sele 14. Alternatiivne piduriketta kinnituskohd rattal

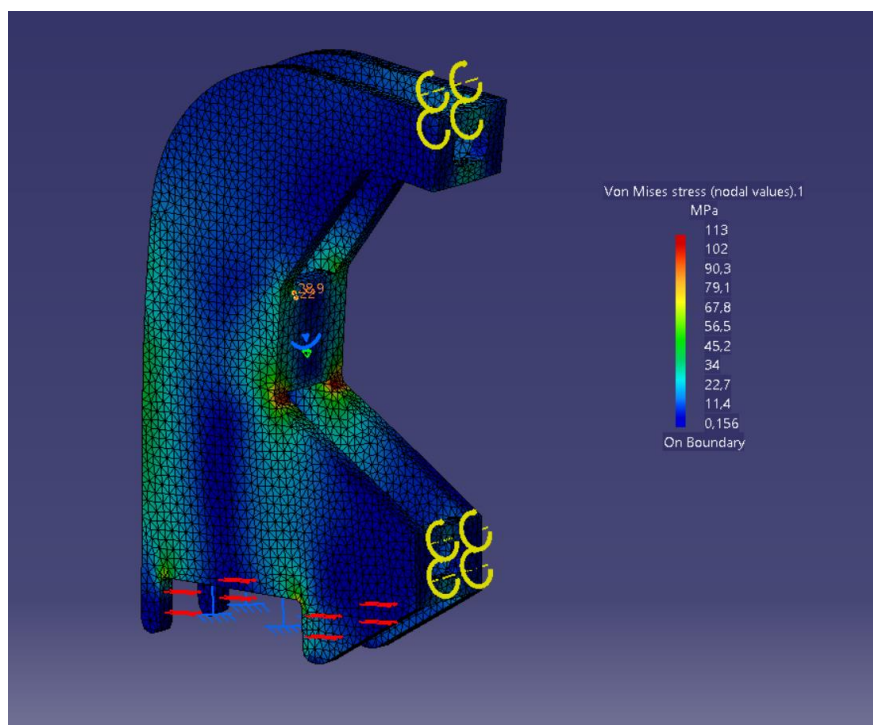
3.2.2. Pidurisadulate kinnituskronsteini loomine

Teades piduriketaste asukohta sai luua pidurisadulate kinnituskronsteine. Kinnituskronsteinid (Sele 15) kinnituvad sõiduki raami tagumise osa külge, peavad vastu pidama koos varuteguriga eelnevalt arvutatud 65 Nm-le. Pidurisadulad kinnituvad kronsteini külge poltidega. Kinnituskronsteinid valmistatakse S355 terasest ning toodetakse kasutades laserlõikust ja keevitust.

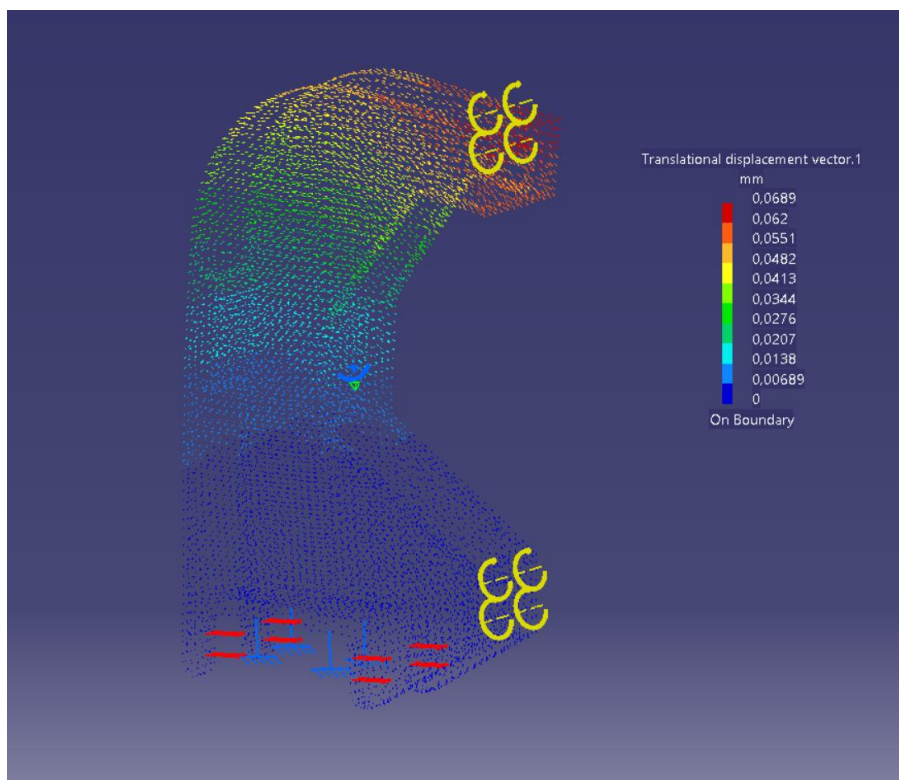


Sele 15. Pidurisadula kinnituskronstein

Pidurikronsteine analüüsiti CATIA programmi abil kinnitades need jäigalt raami tala külge ning pannes neile mõjuma 65 Nm pidurisadula kinnituspindadele. Analüüsi tulemusel saadi maksimaalseks pingeks 113 MPa (Sele 16) ning maksimaalseks siirdeks 0,0689 mm (Sele 17). Arvestades S355 terase voolepiiri 355 MPa tuleb kinnituskronsteini varuteguriks 3,14.



Sele 16. Pidurisadula kinnituskronsteinile mõjuvad pinged



Sele 17. Pidurisadula kinnituskronsteini siire

3.2.3. Piduripedaali loomine

Piduripedaal otsustati luua ise laserlõikuse abil S355 terasest. Teiseks variandiks oleks olnud otsida sobiv pedaal ostutootena, kuid kuna pedaali kinnitused tuleks isegi siis uued luua, otsustati pedaal ikkagi ise luua. Pedaali ise loomisel on ka teatud eelised, esiteks saab kuju ja pikkuse teha vastavalt vajadusele ning läbi selle ka luua sobiv ülekandearv. Teiseks on kinnitusi teha lihtsam, sest neid saab koos pedaaliga tehes paremini kokku sobitada.

Piduripedaali loomiseks oli esmalt vaja teada sobivat piduripedaali ülekandearvu [10]. Selle leidmiseks tuli arvutada vajaminev jõud F (N), millega piduriklotsid peavad pidurikettale survet avaldama, et hoo pealt ratas peatada. Jõu F_{klots} leidmiseks kasutati valemit (9)

$$F_{klots} = \frac{M}{r \times \mu}, \quad (9) [5]$$

- kus
- M – maksimaalne pidurdusmoment tagarattal, Nm
 - r – hõõrderaadius tagapiduril, m
 - μ – hõõrdetegur piduriklotside ja piduriketta vahel.

Kasutades valem (9) arvutati jõud millega piduriklotsid suruvad pidurikettale

$$F_{klots} = \frac{66}{0,145 \times 0,5} = 910 \text{ N}.$$

Järgmisena tuli kindlaks teha pidurisadula klotside liigutamise mehhanismi ülekandearv. Selleks mõõdeti kui mitu millimeetrit peab tõmbama piduritrossi kinnituskohta, et piduriklotsid liiguksid 10 mm. Seejärel sai arvutada pidurisadula mehhanismi ülekandearvu i_{sadul} valemiga (10)

$$i_{sadul} = \frac{s_{tross}}{s_{klots}}, \quad (10) [5]$$

kus s_{tross} – trossi kinnituse siire, mm

s_{klots} – klotside siire, mm.

Vastavalt valemile (10) arvutati pidurisadula mehhanismi ülekandearv

$$i_{sadul} = \frac{14,4}{10} = 1,44$$

Teades eelnevalt arvutatud väärtuseid sai arvutada sobiva piduripedaali ülekandearvu i_{pedaal} arvestades, et 25 kg raskune laps peaks suutma sõiduki rattad hoo pealt peatada surudes pedaalile ligikaudu poole oma keha raskusega valemiga (11)

$$i_{pedaal} = \frac{F_{klots}}{F_{laps} \times i_{sadul}}, \quad (11) [5]$$

kus F_{klots} – jõud, millega piduriklotsid suruvad kettale, N

F_{laps} – jõud, millega laps surub pedaalile, N

i_{sadul} – pidurisadula mehhanismi ülekandearv

Kasutades valem (11) arvutati vajaminev piduripedaali ülekandearv

$$i_{pedaal} = \frac{910}{120 \times 1,44} = 5,27$$

Teades vajalike parameetreid sai piduripedaali ennast disainima hakata. Aluseks võeti olemasolev elektriline sõiduauto pedaal, et oleks tagatud kasutusel mugavus, sest sellel on vajalikud pedaali raadiused juba välja mõeldud. Aluseks võetud pedaal lisati CATIA programmi taustaks ning seejärel sai sealt vajalikud raadiused üle kanda oma loodud pedaalile. Järgmisena tuli paika panna pedaali pikkus, arvestades, et pedaali ülekandearv peab olema umbes 5,3. Arvestades ka, et pedaal sobiks suuruselt sõidukisse, saadi pikkus kinnitusava keskpunktist pidurilaba keskpunktini ligikaudu 138,2

mm ning kinnitusava keskpunktist trossi kinnituspunkti ligikaudu 25,5 mm. Nende arvude põhjal saab ka arvutada reaalse pedaali ülekandearvu i_{real} valemiga (12)

$$i_{real} = \frac{A}{B}, \quad (12) [10]$$

kus A – pikkus kinnitusava keskpunktist pidurilaba keskpunktini, mm

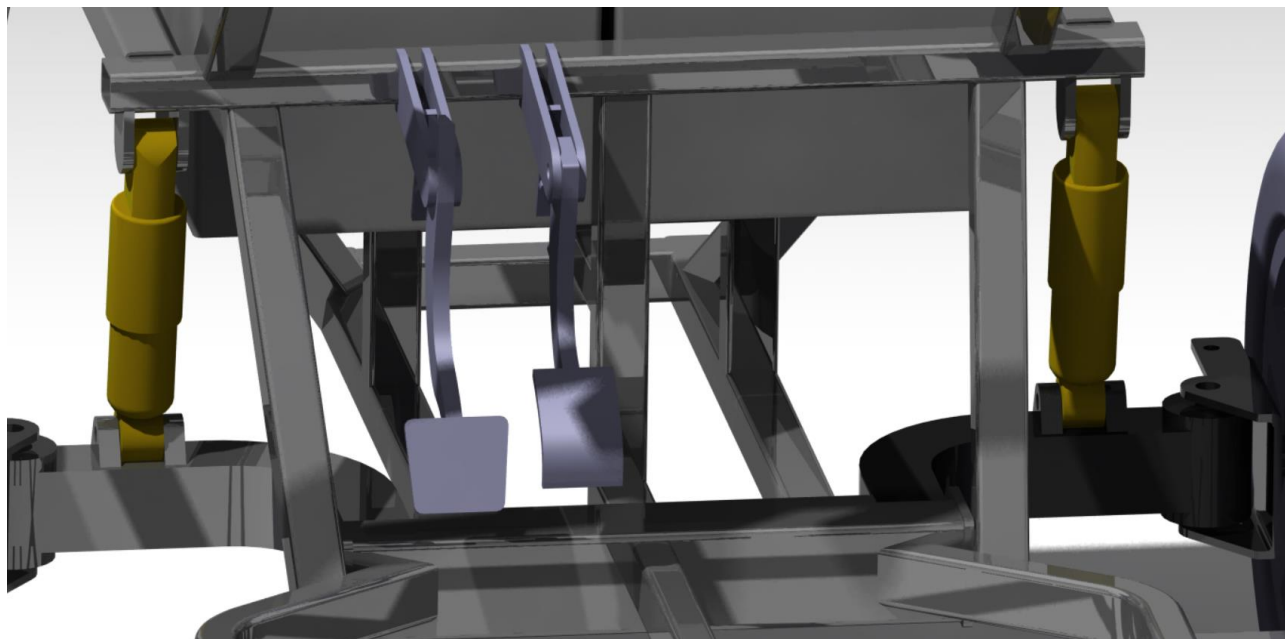
B – pikkus kinnitusava keskpunktist trossi kinnituspunkti, mm.

Kasutades valemit (12) arvutati pedaali reaalne ülekandearv

$$i_{real} = \frac{138,2}{25,5} = 5,42.$$

Pidurilaba oleks õhemast terasest ning sellele saaks vajadusel lisada sõiduautolt kummist pedaalikatte, et jalg maha ei libiseks. Pidurilaba ja pedaali vars oleksid omavahel kinnitatud keevituse abil. Pedaali käik laba keskelt arvestatuna on ligikaudu 40 mm.

Piduripedaal ühenduks sõiduki raamiga eraldi kinnituste abil, mis samuti valmistataks laserlõikuse ning keevituse abil (Sele 18). Kinnituse külge saab samuti lisada stopperid, et pedaali algasend oleks paigas ning samuti oleks pedaali maksimaalne käik piiratud. Piiraja kaugus pedaalist on vastav, et enne piiraja vastu minemist on pidur juba oma maksimaalse pidurdusvõime saavutanud. Pedaalikinnitus liidetaks raamiga keevituse abil.



Sele 18. Piduripedaal kinnitatud raami külge

3.3. Pidurisüsteemi komponendid

Pidurisüsteemi loomiseks vajaminevaid detaile saab näha all olevas tabelis (Tabel 4), samuti on tabelist näha, kas antud detail on ostutoode või tuleb ise valmistada.

Tabel 4. Pidurisüsteemi komponendid

Pidurisüsteemi komponendid	Tootmise vajadus
Shimano BR-M375 pidurisadul	Ostutoode
Jalgratta piduritross	Ostutoode
Sõiduauto käsipiduri tross koos vahetükiga	Ostutoode
Piduripedaal	Peab ise tootma
Piduripedaali kinnituskronstein	Peab ise tootma
Piduriketas	Peab ise tootma
Piduriketta kinnituskronstein	Peab ise tootma
Pidurisadula kinnituskronstein	Peab ise tootma

3.4. Tuleviku parendused pidurisüsteemile

Pidurisüsteemi tuleviku parendused saaks teha prototüübil tehtud katsetuste alusel. Kuna praeguseks hetkeks veel prototüüpi valmis pole, siis hetkel puudusi välja tuua ei osata. Kindlasti on oluline testimise käigus leida piduriklotside maksimaalne töö ulatus, sest mõeldud on jalgratastele, mille mass on oluliselt väiksem. Samuti tuleks testida pidurite kasutusmugavust lastel, täpsemalt kas piduripedaal neile on sobiva raskusega. Oluline oleks ka üldist pidurisüsteemi vastupidavust testida tehes kindlaks nõrgemad kohad. Seejärel nende katsete tulemuste alusel saaks teada, kas pidurisüsteem antud sõidukile sobib või tuleks teha muudatusi.

KOKKUVÕTE

Töö eesmärk projekteerida sobiv rooli- ja pidurisüsteem täideti rahuldavalt. Projekteerimisega jõuti piisavalt kaugemale, et oleks võimalik alustada algse prototüübi loomist.

Baaslahenduseks roolisüsteemi puhul võeti kasutusele hobikardi roolisüsteem, millele tuli lisada juurde reduktor. Reduktori ainuke ülesanne oli muuta rooli pöörete arvu ning sobiv reduktori ülekandearv oli ligikaudu 9:1. Sobilikuks reduktoriks osutus planetaarülekanne elektrimootorilt ülekandega 10,5625:1. Lisaks loodi vajalikud kinnitused roolisüsteemi komponentidele, et need oleks võimalik uue raamiga kinnitada. Olulistele detailidele tehti ka tugevusanalüüsid, et veenduda roolisüsteemi töökindluses.

Pidurisüsteem ehitati jalgratta pidurisadula Shimano BR-M375 ümber, kohandades selle antud sõidukiga. Pidurikettaid ostutootena kasutada polnud võimalik, sest nõutud mõõtmetele ja tingimustele vastavaid pidurikettaid ei leitud ja seega otsustati need ise luua. Samuti loodi piduripedaal koos kinnitusega. Kokku kogu pidurisüsteem arvutuste põhjal tagas selle, et laps reaalselt suudaks ka sõiduki mõistliku aeglustusega seisma saada. Lisaks kontrolliti analüüside põhjal, kas pidurisüsteemi komponendid peavad vastu neile avalduvatele jõududele.

Antud lahendusi tuleks kindlasti prototüübi peab katsetada, et kas projekteeritud süsteemid vastavad soovitud tingimustele. Et saada parim lahendus roolisüsteemile tuleks põhjalikumalt üle kaaluda roolilatti kasutatav roolisüsteem. Algselt plaanitud hobikardi roolisüsteemi lihtsus kaob lisades juurde reduktori ja vajalikud kinnitused. Samuti võtab planetaarülekanne palju ruumi jalgade piirkonnast ning võib raskendada sõidukisse sisse istumist. Pidurite poole pealt on oluline testida töökindlust ja piduriklotside puhul kestvust, sellega veendudes, et jalgratta pidurisadul koos klotsidega tasub materiaalselt ära.

SUMMARY

The topic of this thesis was LaitseRallyPark Traffic Town Children's Vehicle Control Systems Development Project. This topic is currently relevant because this project is for LaitseRallyPark who are in need of a miniature vehicle for their traffic town. The traffic town is meant to be a fun way for children to learn traffic and driving.

The goal of this thesis was to design working control systems for this vehicle specifically the braking system and steering system so that a prototype could be made and tested. The base vehicle used for the project was an electric mobility scooter. Since its steering system didn't mimic a real car's steering system well enough it had to change. The changed steering system consisted of a go-kart's steering system since it was cheaper than other options and a planetary gear so that the steering wheel would turn at least two full turns. It was also important to find suitable wheelbase and trackwidth since the original wasn't suitable for the needs of this car. The trackwidth was derived from the width of the traffic town and the final result was 0,71 meters. The general size of the wheelbase had to be calculated from the minimal radius of a turn from the track. The final number was 1,13 meters and was chosen so that the car wouldn't look too long.

The original brakes on the mobility scooter were also electric and so that the car would feel like a real car there was a need for mechanical brakes that would work from pushing a pedal. The brake calipers were chosen from a bicycle with disc brakes because there wasn't much space to add anything bigger and they were also quite cheap. The chosen brake caliper was Shimano BR-M375. Since the brake discs from bicycles wouldn't fit our vehicle, it was decided that the brake discs would be made from sheet metal with the help of laser cutting technology. The necessary mounting brackets for the brake caliper and discs were designed by the author. The brakes were designed so that a child pushing on the pedal with a force of 120 N could stop the wheels of the moving vehicle.

Future improvements and corrections could be made after the testing of the prototype but at this moment the prototype isn't made yet.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] LaitseRallyPark veebileht, [Võrgumaterjal]. Available: <https://laitserallypark.ee/sisu/liikluslinnak-info/>. [Kasutatud 21 aprill 2021].
- [2] Ü. Suvemaa, Interviewee, *LaitseRallyPark Tegevjuht*. [Intervjuu]. 1 märts 2021.
- [3] „LaitseRallyPark veebileht,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://laitserallypark.ee/liikluslinnak-ja-mangudemaja/#sisu-1/0>. [Kasutatud 21 aprill 2021].
- [4] „Maaameti Kaardirakendus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/maainfo>. [Kasutatud 21 aprill 2021].
- [5] J. Luppin, *Autofüüsika kursuse loengumaterjal*.
- [6] „Mekanex veebileht,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.mekanex.se/wp-content/uploads/cylindriska_kugghjul.pdf. [Kasutatud 24 aprill 2021].
- [7] „Aliexpressi veebipood,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://bit.ly/3xJhMwB>. [Kasutatud 03 mai 2021].
- [8] „Tööriistamarket veebipood,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.xn--triistamarket-imba.ee/et/laagripukk-20-mm-ovaalne>. [Kasutatud 27 aprill 2021].
- [9] „Shimano koduleht,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://bike.shimano.com/en-EU/product/component/altus-m2000/BR-M375.html>. [Kasutatud 21 aprill 2021].
- [10] „SummitRacing veebileht,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://help.summitracing.com/app/answers/detail/a_id/5037/~what-is-brake-pedal-ratio%3F. [Kasutatud 5 mai 2021].

LISAD

Lisa 1. Sisendvõll RS_01

Lisa 2. Väljundvõll RS_02

Lisa 3. Planetaari kinnitus RS_03

Lisa 4. Laagripukki kinnitus RS_04

Lisa 5. Rooli ülemine kinnitus RS_05

Lisa 6. Rooli alumine kinnitus RS_06

Lisa 7. Roolisüsteemi koost RS_07

Lisa 8. Vasaku piduriketta koost PS_01

Lisa 9. Parema piduriketta koost PS_02