

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Masinaehituse instituut

Autotehnika õppetool

Dmitri Tšežin

Kolmerattalise elektrilise tõukeratta arendus väiketranspordivahendiks

Autor taotleb
tehnikateaduse magistri
akadeemilist kraadi

Tallinn 2016

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.
Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.
Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis..... juhendamisel
“.....”201...a.

Töö autor
..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.
“.....”201...a.

Juhendaja
..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.
..... eriala/õppekava kaitsmiskomisjoni esimees
“.....”201... a.
..... allkiri

TTÜ masinaehituse instituut
Tootmistehnika õppetool
MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE
2015. aasta sügissemester

Üliõpilane: Dmitri Tsezin 132222 MATMM (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava: MATM02/11 Tootearendus ja tootmistehnika
Eriala: Transporditehnika
Juhendaja: Lektor, Janek Luppin (amet, nimi)

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) Kolmerattalise elektrilise tõukeratta arendus väiketranspordivahendiks

(inglise keeles) Three-wheeled electric kickbike concept as light utility transportation vehicle

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Lõputöö kava koostamine	01.05.2015
2.	Katsete läbiviimine	11.06.2015
3.	Arvutused ja projekteerimine	12.08.2015
4.	Lõputöö koostamine ja jooniste vormistamine	19.11.2015

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid: Magistritöö eesmärgiks on elektrilise ajamiga tõukeratta analüüs, konseptsiooni modifitseerimine ja lisavarustuse projekteerimine, et see vastaks kuluva sõiduki kategooria etteantud seaduste reeglitele ja olevatele standartidele.

Täiendavad märkused ja nõuded:

Töö keel: Eesti keel

Kaitsmistootlus esitada hiljemalt 12.12.2015 Töö esitamise tähtaeg 27.12.2015

Üliõpilane: *Dmitri Tšezin* /allkiri/ kuupäev.....

Juhendaja: *Janek Luppin* /allkiri/ kuupäev.....

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	6
SISSEJUHATUS.....	7
1 VÄIKETRANSPOORDIVAHENDI VAJADUS.....	10
1.1 Eesti ettevõtete ja potentsiaalse kasutaja uuring	14
1.2 Prototüübi loomise tingimused	18
1.3 Prototüübi üldkirjeldus	20
1.4 Seadusandlus	21
2 LIIKUMISE DÜNAAMIKA ANALÜÜS.....	24
2.1 Juhthoova kasutamise mõju edasiliikumisele	24
2.2 Hoovõtu dünaamika.....	26
2.3 Katsesõiduki hinnanguline mass ja kaalujaotus.....	31
2.4 Juhitavus	35
2.5 Pidurdusdünaamika	38
2.6 Aerodünaamika.....	42
2.7 Autonoomsus.....	44
2.8 Sõidumugavus ja ergonoomika.....	47
2.9 Maksimaalne lubatud koormus tõukeratta platvormile	50
3 PROTOTÜÜBI ARENDUS	52
3.1 Parema lahenduse otsing	52
3.1.1 Esimene prototüüp.....	53
3.1.2 Teine prototüüp.....	54
3.1.3 Kolmas prototüüp.....	55
3.1.4 Hinnang prototüüpidele	57
3.2 Lisavarustuse projekteerimine.....	62
3.2.1 Toruraami projekteerimine	62
3.2.2 Pakiraami kasti projekteerimine.....	64
3.2.3 Tõukeratta istme projekteerimine	65
3.2.4 Lisavarustuse paigaldamisega seotud muudatused.....	69
3.2.5 Tõukeratta transportimine	70
3.2.6 Projekteeritud lisavarustuse tugevusanalüüs	72

3.2.7	Võimalikud uued kontseptsioonid.....	76
3.2.8	Nõuded juhi ja sõitja varustusele	77
3.2.9	Võrdlus teiste liikuritega.....	79
3.2.10	Muude kasutamisevõimaluste määramine	80
3.2.11	Kasutamispääsradad	81
3.2.12	Prototüübi sertifitseerimine	82
4	MAJANDUSLIK ARUANNE.....	84
4.1	Projekteeritud toote maksumus.....	85
4.2	Teoreetiline kilomeetri hind ja tõukeratta töökindlus	87
	KOKKUVÕTE.....	88
	SUMMARY	91
	KASUTATUD KIRJANDUS.....	94
	LISAD.....	98
	Lisa 1	98
	Lisa 2	99
	Lisa 3	100
	Lisa 4.1	101
	Lisa 4.2	102
	Lisa 5	103
	Lisa 6	104
	Lisa 7.1	105
	Lisa 7.2	106
	Lisa 7.3	107
	Lisa 8.1	108
	Lisa 8.2	109
	Lisa 8.3	110
	Lisa 8.4	111
	Lisa 8.5	112
	Lisa 8.6	113
	Lisa 8.7	114
	Lisa 8.8	115

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema on valinud autor ja töö eesmärk on arutada tõukeratta potentsiaali kasuliku ja säästva transpordivahendina ladudes või muude ülesannete täitmisel ettevõtte efektiivsuse tõstmiseks. Teema valiti seetõttu, et praegu puudub maailmas enamikul kaupadega tegelevatel ettevõtetel väike isiklik transport väikepakkide vedamiseks, samuti pakub antud valdkond suur huvi ning uuritavaal prototüübil on esinenud puudujääke. Lisavarustuse projekteerimine ning kõikide selle nüansside põhjalik uurimine pakkus autorile ka piisavat väljakutset ning teema tundus huvitav. Loodetavasti annab sinne uurimistöö tõeke elektriajamiga varustatud tõukeratta edasiseks uurimiseks Tallinna Tehnikaülikoolis.

SISSEJUHATUS

Käesolevas magistritöös analüüsitakse Tallinna Tehnikaülikooli meeskonna ehitatud arendusprojekti raames tõukeratta kontseptsiooni, parandatakse puudujäägid ja projekteeritakse rattale lisavarustus ning töös käsitletakse lisavarustuse valmistamise tehnoloogiat. Lisavarustus projekteeritakse vastavalt eelarve mahule ning tehnilistele piirangutele võimalikult optimaalne.

Innovatsioon transpordi valdkonnas on tänapäeval väga oluline teema. Rohkem kui kunagi varem on selge, et transpordil on oluline mõju sellele, kuidas ühiskond muutub ja areneb aja jooksul. Tihedalt on seotud transpordi ja taristu koostoime, asulate arendamine ja inimese mõju looduskeskkonnale. Iga transpordirežiim esindab teatud tehnoloogiat ja valmistamismeetodeid.

Nimelt on täheldatud, et enamikus töökohtades puudub inimesel võimalus kiirelt ja efektiivselt ühest kohast teise liikuda raske käsipagasiga. Peamine probleem seisneb selles, et kõik vajalikud töövahendid on vaja korraga kaasa võtta, mida pole aga võimalik teha. Sageli kasutatakse antud probleemi lahenduseks erinevaid seadmeid, mis ei ole otseselt antud ülesannete täitmiseks ehitatud, või nende kasutamiskulud ei ole mõistlikud.

Kuna praegu pole määratud, mis liiki transpordivahendit on mõistlikum kasutada ja millised nõuded peavad taolisel liikuril oelma täidetud, on antud lõputöö peamine eesmärk uurida, kas kolmerattaline väikesemõõtmeline elektrimootoriga varustatud tõukeratas sobib püstitatud ülesanne täitmiseks. Stardiplatvormiks valitakse Tallinna Tehnikaülikooli projekteeritav tõukeratas, leitakse kasutusvõimalusi ja võimalikke kontseptsioone, kuidas seda efektiivsem kasutada. Lisaks juhitakse tähelepanu sellele, et isegi kui tõukeratta mõiste ei muutunud laialtlevinud transpordiliiki, võib uue individuaalse transpordiviisi tekkimine aidata oluliselt arendada ökoloogiliselt säästvat transpordilahendust.

Kuna tegemist on uurimusliku projekteerimistööga, koostab autor valitseva turuanalüüsi, et kaardistada erinevaid lahendusi ning tuua välja nende sobivus või mittevastavuse oodatava lahenduse nõudeid silmas pidades. Lõputöö tulemusena projekteeritakse tõukerattale

kaubavedamiseks kinnitusvahendid, mis vastavad tehnilistele nõuetele ning on omadustelt võimalikult head. Midagi täiesti uutset luua on väga keeruline ning võimalik, et ka ebaotstarbekas.

Lõputöö algab antud probleemi tutvustava peatükiga. Käsitletakse väiketranspordi vajaduse olemasolu maailmas. Uuritakse ettevõtete praegust olukorda ning tootjate praegu turulolevaid lahendusi. Järgmisena analüüsitakse Eesti ettevõtteid, kes võiksid olla projekteeritud toote potentsiaalsed kasutajad. Valitakse peamised kriteeriumid, mis peavad olema täidetud, et projekt oleks edukas. Sellele järgneb peatükk, milles tutvustatakse prototüübi loomise tingimusi ehk seda, milles tõukeratta idee seisneb. Kirjeldatakse kasutatava tõukeratta olulisi parameetreid ja tehnilisi andmeid. Määratakse, millisesse kategooriasse antud tõukeratas kulub, võttes arvesse kehtivat liiklusseadust.

Magistritöö põhiosas tehakse põhjalik katsetatava prototüübi analüüs, et õppida vanadest vigadest ning saada aru, millised aspektid vajavad kõige enam parendamist. Analüüsitakse olemasoleva prototüübi dünaamilisi omadusi ja võimalikke piire, mis võivad mõjutada tõukeratta kasutusomadusi. Järgmiseks ehitatakse katse gabariit-makett, mida testitakse erinevates olukordades, mis võivad potentsiaalsel kasutajal tekkida. Katse ajal püüakse saavutada lisavarustuse parim üldine kuju, et see oleks ergonoomiline ja efektiivne.

Järgmises peatükis jõutakse prototüübi arenduse ja võimalike uute lahenduste analüüsini. Projekteeritakse 3 baasprototüüpi, võrreldakse erinevaid variante omavahel ja valitakse parim, mis vastab kõige rohkem etteantud nõuetele. Selgitatakse välja tõukeratta puudused ja pakutakse parim lahendus ja mittedobilikele komponentidele projekteeritakse uus lahendus. Järgmises peatükis kirjeldatakse lisavarustuse komponente detailselt ning antakse ülevaade tootmisprotsessist. Teostatakse komponentide mehaaniliste omaduste analüüs, et välja selgitada, kas projekteeritud lisavarustus on kasutamiseks piisavalt tugev.

Töö lõpuosas võrreldakse juba praegu turul olevaid lisavarustuse variante, mis võiksid olla kasutusel projekteeritavate komponentide asemel. Defineeritakse kasutamiskiirangud ja tehakse vajalikud ettepanekud, mis on seotud antud tõukeratta kasutamisega. Viimane sisupeatükk käsitleb majanduslikke arvutusi.

Uurimistöö lõppeb lisadega, kuhu on kantud laiemad andmestikud, milleks on arvatatud tulemused, spetsifikatsioonid ja joonised.

1 VÄIKETRANSPORDIVAHENDI VAJADUS

Majanduse aeglane taastumine ja prognoositav paariprotsendiline majanduskasv panevad aina suuremat hulka ettevõtteid otsima võimalusi, kuidas vähendada kulusid ja suurendada tootlikkust. Seetõttu kaaluvad suured tootmisettevõtted ja jaotuslaod võimalust kasutada väikesõidukit, et vähendada ebaproduktiivset jalakäimise aega.

Eesmärk on kasutada kõndimisele kulunud aega tootlikumateks ülesannete täitmiseks, vähendada töötaja energiakulu ja vältida ebaotstarbeka tehnika, nagu tõstukite, veokite ja kaubaaluste käsivedukite kasutamist personali transportimiseks. (vt Sele 1.1)



Sele 1.1. Personali transportimiseks suure veduki kasutamine [1]

Inimese hinnangulise keskmise kõndimiskiirusega 5 km/h, isegi 500 m kaugusele ja tagasi, nii mitu korda päevas, võib ühel töötajal kuluda igal nädalal jalgsi käimisele neli–viis tundi. Korrutades selle arvu mitmes vahetuses töötavate töötajate arvuga, on ebaebektiivsele tegevusele kulunud aja hulk märkimisväärne.

Liigne päevane kõndimine kulutab palju töötaja energiat. Isegi terved töötajad, kes peavad iga päev kogu territooriumil palju liikuma, võivad väsida, mis võib põhjustada vigu, vigastusi või tööviljakuse langust. Selle tulemusena on paljud taime-, lao- ja jaotuskeskuse juhid võtnud kasutusele väiketranspordivahendid kui ökonoomse, turvalise ja keskkonnasõbraliku lahenduse.

Transpordivahend peab olema sellise suurusega, et see mahuks kergesti läbi standardsuurusega ukseavadest ja kitsastest koridoridest. Ta peab olema väga vaikne ja töötama heitmeteta, et vastata ideaalselt mürasaaste ja puhta õhu standarditele.

2014. aastal tõi USA ettevõtte Mighty Lift Inc. turule uue kontseptsiooniga väikese transpordivahendi GoPET, mis võimaldab tõsta laotöötaja efektiivsust erinevate ülesannete täitmisel. (vt Sele 1.2)



Sele 1.2. GoPET väikeliikuri kasutusvõimalused [1]

Tänu väikestele mõõtmetele ja heale manööverlusvõimele tekkis antud liikuri järele Ameerika firmade seas suur nõudlus. Tootja tehnilised andmed on esindatud Seles 1.3. Euroopa riikides puudub praegu ladudes väiketranspordivahendi alternatiiv ja spetsiaalseid transpordivahendeid ei ole müügil. Tavaliselt kasutatakse kärusid, erinevaid tõsteseadmeid, mis ei ole otseselt antud ülesannete täitmiseks mõeldud. Kõige sarnasem liikumisvahend, mida praegu Euroopa turul pakutakse, on kahe rattaline isetasakaalustuv akude jõul liikuv elektrisõiduk ehk Segway, mis leiutati aastal 2001, ja kolmerattaline elektriline tõukeratas Scuddy.

GoPET Specs

Speed: Up to 16 mph

Range: Up to 24 miles

Motor: 350 watt

Driving System: Powerful 48 volt front wheel hub drive system

Charging Time: 4 – 6 hours for pennies

Battery: 4 – 12 volt 14 AG batteries

Battery Types: Sealed lead acid, IAIA certified A67
Maintenance free lead acid/Lithium (optional)

Battery Charger: 110 volt smart charger, UL listed

Tire: Front and rear pneumatic / non-marking

Color: White / Custom

Size: 40 x 26.8 x 38.6

Weight: 93 lbs with standard battery
65 lbs with lithium battery

Sele 1.3. GoPETi tehnilised andmed [1]

Segwayl ei ole kõrge hinna (2015. a on ühiku müügihind 7829 €) [2], kaalu (Segway mass on võrdne 48 kg) ja vajalike juhtimisoskuste tõttu (sõitmiseks on vaja kehaga balansseerida) suurt efektiivsust võrreldes GoPET kolmerattalise tõukerattaga.

Scuddy hinnad algavad 4000 € [3], ent tõukeratta kontseptsioon ei võimalda suurema kaaluga pagasit transportida.

GoPETi müügihind USAs on 2500 \$ [1], selle importimine Euroopa Liidu riiki, arvestades tolli- ja aktsiisimakse, tõstab hinna mitmekordseks, Segway hinnatasemele. Samuti puudub praegu GoPETil Euroopa regioonis ametlik esindaja, mis muudab antud tõukeratta hoolduse ja remondi keerulisemaks. Käesoleva lõputöö põhiülesanne on pakkuda lahendus, mis on võrreldav aktuaalse parima lahendusega, mille abil saab suurendada laotöö efektiivsust, samas peab lõpptoode olema esteetilise välimusega ning võimalikult odava hinnaga. Järgmisena on esitatud võrdlustabel 1.1, kus on välja toodud praegu turul pakutavate variantide peamised omadused.

Tabel 1.1. Tõukeratta võrdlustabel [1][2][3]

	GoPET	Seagway	Scuddy
Mõõtmed	762x820 mm	480x630 mm	405x615 mm
Mass	57 kg	48 kg	27,5 kg
Max kiirus	25 km/h	20 km/h	16 km/h
Ühe laadimistsükli energia kulu	0,13 €	0,2 €	0,12 €
Sõiduulatus	30 km	38 km	30 km
Ametlik esindaja Eestis	-	Super Segway OÜ	-

Tabelist 1.1 võib järeldada, et erinevate transpordivahendite keskmine kiirus on 20 km/h, keskmine läbitavus on 30 km ja minimaalne transpordivahendi mass on 27 kg. Järgmisena uuritakse, kas Eesti ettevõtetel on selliste parameetritega transpordivahendi järele nõudlust, või saab vajalikke näitajaid parima tulemuse saavutamiseks korrigeerida.

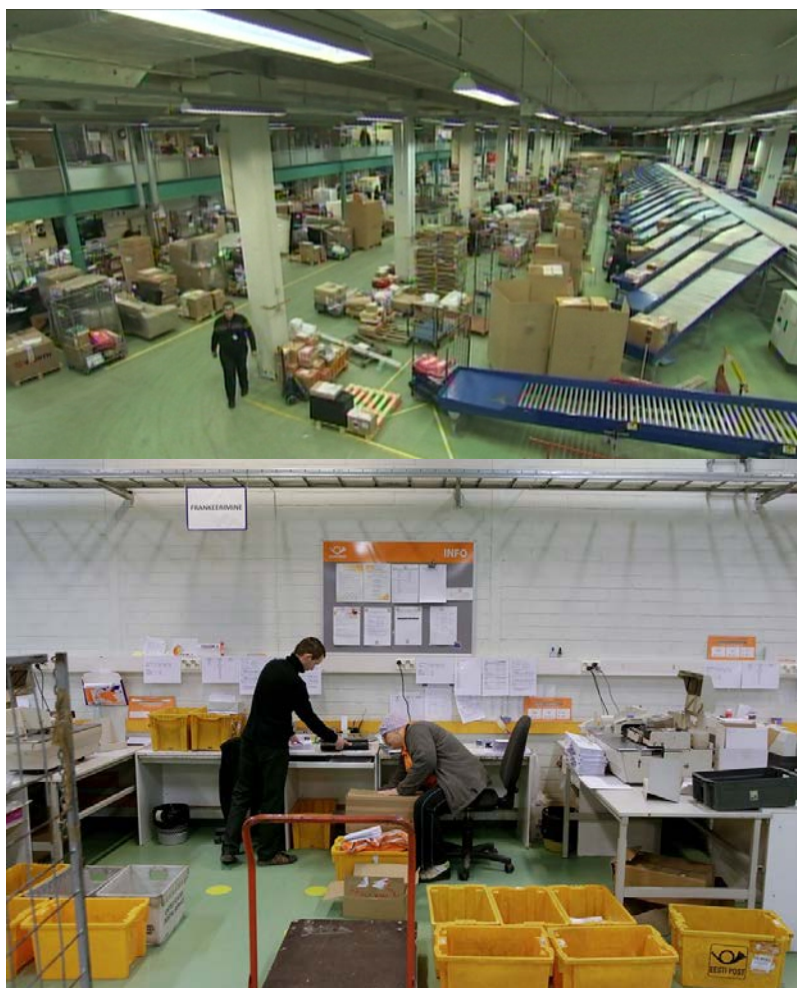
1.1 Eesti ettevõtete ja potentsiaalse kasutaja uuring

Täpse vajaduse väljaselgitamiseks Eestis uuriti mitmut tegutsevat suurettevõtet, mis võiksid kasutada antud transpordivahendit oma efektiivsuse tõstmiseks. Uuringu käigus külastati Mobeston OÜ-le kuuluvat Fixus autovaruosade kaupluse sorteerimisladu, AS Eesti Post Omniva sorteerimiskeskust ja ABB ASi komponentide ladu.



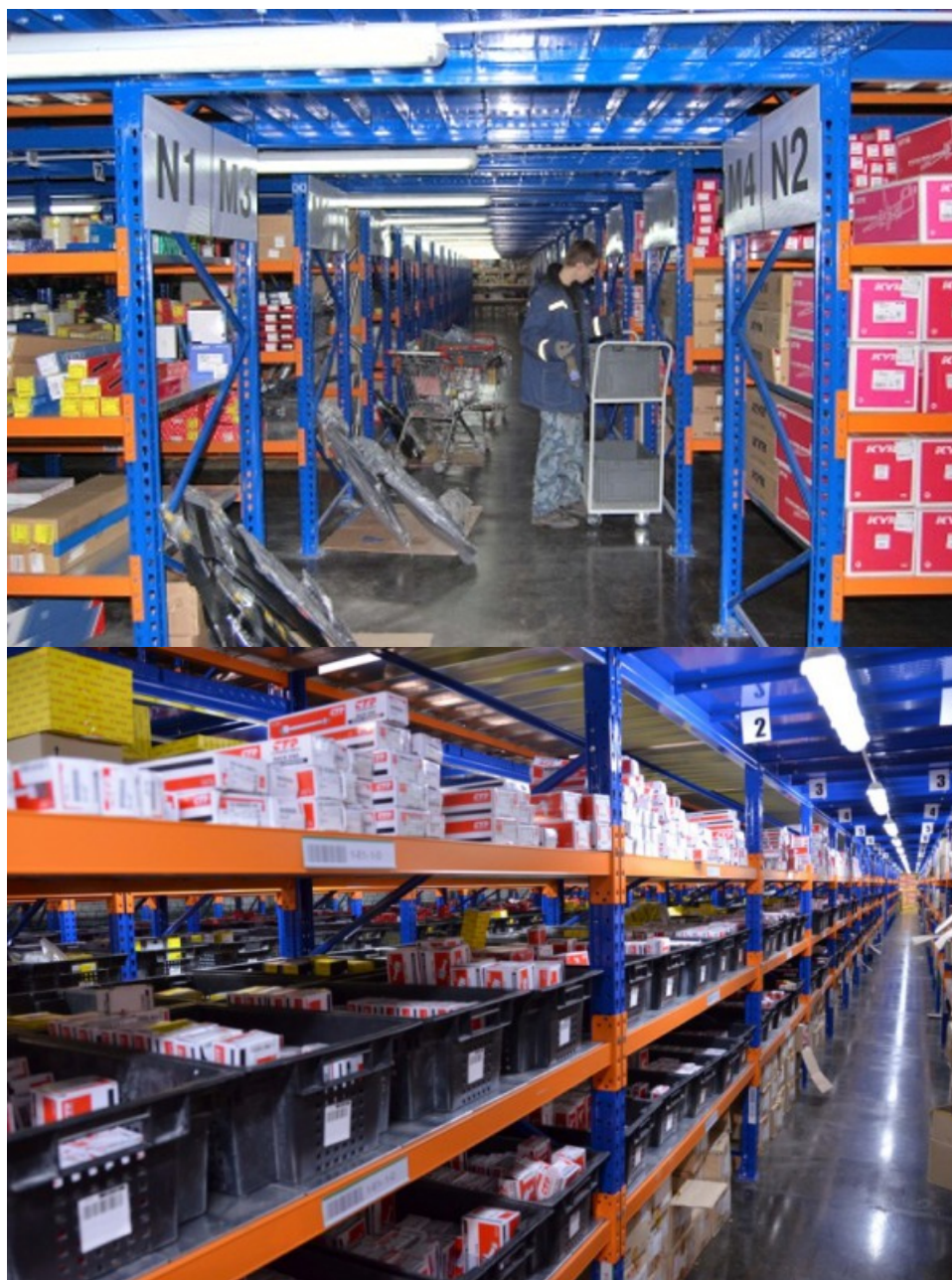
Sele 1.4. ABB valmistoodangu ladu

ABB valmistoodangu lao uuring näitas (vt Sele 1.4), et laotöötajad kasutavad kaupade transportimiseks kärusid, elektritõstukit kasutatakse kauba ülemistele riiulile paigaldamiseks ja mittegabariitsete objektide vedamiseks. Väiksed pakid sorteeritakse ja veetakse käsitsi.



Sele 1.5. Eesti Post AS Omniva Tallinna sorteerimiskeskus

Omniva Tallinna sorteerimislao töötajad kasutavad euro standardile vastavaid plastkonteinerid mõõtmetega 400x300x220 mm. Konteineri transportimiseks kasutatakse neljarattalisi kärusid. (vt Sele 1.5) Tavaliselt ei ületa ühe täis konteineri kaal 10 kg. Suurte objektide vedamiseks kasutatakse kahvelkärusid. Kuna standardiselt ei ületa ühe paki kaal 20 kg, motoriseeritud kahveltõstukit ei kasutata.



Sele 1.6. Fixus varuosade ladu

Fixuse autovaruosade laos kasutatakse neljarattalisi kärusid (vt Sele 1.6), võrreldes teiste ladudega ei võimalda antud lao ruumi kõrgus kasutada kahveltõstukit ega teisi suuri masinaid kauba vedamiseks ja tõstmiseks. Tavaliselt ei ületa ühe paki kaal 15 kg.

Kolme lao uuring näitas, et nende ladude õuealadel pole võimalik kasutada sise põlemismootoriga sõidukit. Standard gabariitmõõtmetega pakke veetakse tavaliselt käsitsi või käru abil. Raske pakendi kaal suurendab oluliselt teisaldamisaega. Väiketranspordi kasutamine võib oluliselt vähendada aega ja suurendada tootlikkust. Uuringuga selgitati välja järgmised aspektid, mis on esitatud tabelis 1.2, mille järgi saab teada, milliste funktsioonidega transpordivahendi järele on nõudlust. Tabelis on esitatud andmed maksimaalse pakendi massi ja mõõtmete kohta, mida saab üks inimene transportida. Suurema massi ja mittegabariitsete mõõtmetega pakid transporditakse raskema seadme abil ja neid ei vaadelda. Töötaja läbitud distants arvutati Omron 2.0 sammulugeja abil.

Tabel 1.2. Ladude oluliste parameetrite võrdlustabel

	Omniva	ABB	Fixus
Töötaja läbitud distants tööpäevas (km)	11,7	14,1	8,5
Ühe pakendi maksimaalne kaal (kg)	10	25	15
Pakendi maksimaalsed mõõtmed (mm)	400x300x220	430x375x311	570x200x200
Laos oleva kõige kitsama vahekäigu laius (mm)	720	1000	600
Põrandapinna maksimaalne kaldenurk	4°	1°	10°
Vaba liikumist takistavad objektid	-	-	-

Tabelist on näha, et võimalik maksimaalne käsitsi tõstetava pakendi suurus on 570x375x311 mm, tavaliselt paki mass ei ületa 25 kg, kõige kitsam koht laos on ruumide vahel olev ukseava lausega 600mm. Töötaja keskmine läbitud distants päevas on 11,5 km.

Üks töövahetus kestab uuritavatel ettevõtetel 8 tundi. Arvestades keskmist jalgsi läbitud distantsi päeva jooksul, võib eeldada, et inimese keskmine liikumiskiirus tööpäevas on 1,4 km/h. Sõites tõukerattaga vähemalt kiirusega 5 km/h saab suurendada ühe töötaja efektiivsust vähemalt kaks korda ja seetõttu saab vähendada sama ülesannet täitvate töötajate arvu. Võttes arvesse 2015. aasta II kvartali keskmist brutokuupalka 1082 €, võib ettevõtte ühe tõukeratta kasutamisega prognoositavalt säästa, arvestades lisanduvaid tööjõumakse, 17 372,64 €aastas. [4][5]

Järgmises peatükis selgitatakse elektrilise tõukeratta ideed, mis oli aluseks uuritava prototüübi projekteerimisel.

1.2 Prototüübi loomise tingimused

TTÜ elektrilise tõukeratta idee põhineb RayBike patenteeritud (vt Sele 1.8) 3-rattalisel tõukerattal (vt Sele 1.7). RayBike oli *start-up* idee, mis oli Eesti suurima äriideede konkursi „Ajujaht 2012“ võitja.

RayBike on uudse tehnilise lahendusega kolmerattaline tõukeratas, mida saab juhtida ühe käega ja millega edasiliikumiseks ei pea jalaga pidevalt lükkama.



Sele 1.7. RayBike'i pilt [6]

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau



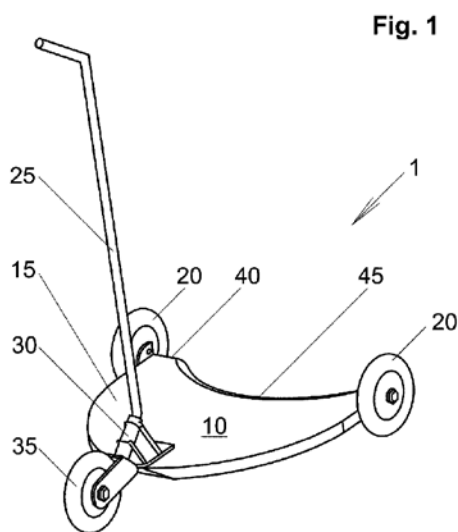
(43) International Publication Date
4 October 2012 (04.10.2012)

(10) International Publication Number
WO 2012/130598 A1

- (51) International Patent Classification:
B62K 3/00 (2006.01) *B62K 9/02* (2006.01)
B62K 5/02 (2006.01)
- (21) International Application Number: PCT/EP2012/054309
- (22) International Filing Date: 13 March 2012 (13.03.2012)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data: U201100027 30 March 2011 (30.03.2011) EE
- (71) Applicant (for all designated States except US): **RAY-BIKE OÜ** [EE/EE]; Kreegi 8, Kiili vald, Harju maakond, EE-75401 Kiili alev (EE).
- (72) Inventor; and
- (75) Inventor/Applicant (for US only): **SINISALU, Raino** [EE/EE]; Kreegi 8, Kiili vald, Harju maakond, EE-75401 Kiili alev (EE).
- (74) Agents: **TOOME, Jürgen** et al.; LASVET Patendibüroo OÜ, P.O. Box 3136, EE-10505 Tallinn (EE).
- (81) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of national protection available): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of regional protection available): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Continued on next page]

(54) Title: THREE-WHEELED COASTER



(57) Abstract: Present invention relates to a three-wheeled coaster (1), comprising a platform (10) with a support surface (15) for the user's feet and two coaxial rear wheels (20) and one front wheel (35) attached to the platform (10), said front wheel (35) is pivotable with the steering bar (25) relative to the platform (10) and the steering axle (30) of the steerable wheel (35) is inclined relative to the platform (10). The rear wheels (20) are attached to the platform (10) relative to the front wheel (35) so that the centre of the contact surface of the front wheel (35) on the support surface is situated on the vertex of an imaginary isosceles triangle and the corresponding sides of said triangle from that vertex pass through the corresponding centres of the contact surfaces of the rear wheels (20) and the angle (a) of the vertex of the triangle is between 44 and 71 degrees.

WO 2012/130598 A1

Sele 1.8. RayBike'i patent [7]

1.3 Prototüübi üldkirjeldus

RayBike'i analüüs näitas, et selline tõukeratas on mõeldud rohkem vaba aja veetmiseks kui igapäevaseks kasutamiseks töömasinaks. Väiksed gabariitmõõtmed ja elektrimootori puudus ei võimalda sellist tõukeratast erinevate ülesannete täitmiseks efektiivselt kasutada. RayBike'i alusplaat ei võimalda paigaldada lisavarustust pagasi vedamiseks, samuti piirab tõukeratta disain võimalust seda efektiivselt modifitseerida. Tallinna Tehnikaülikooli ehitatud elektrilise ajamiga kolmerattaline tõukeratas on gabariitidelt suurem (vt Sele 1.9) ning varustatud võimsa elektrimootoriga, mis muudab antud tõukeratta antud lõputöö jaoks heaks stardiplatvormiks.

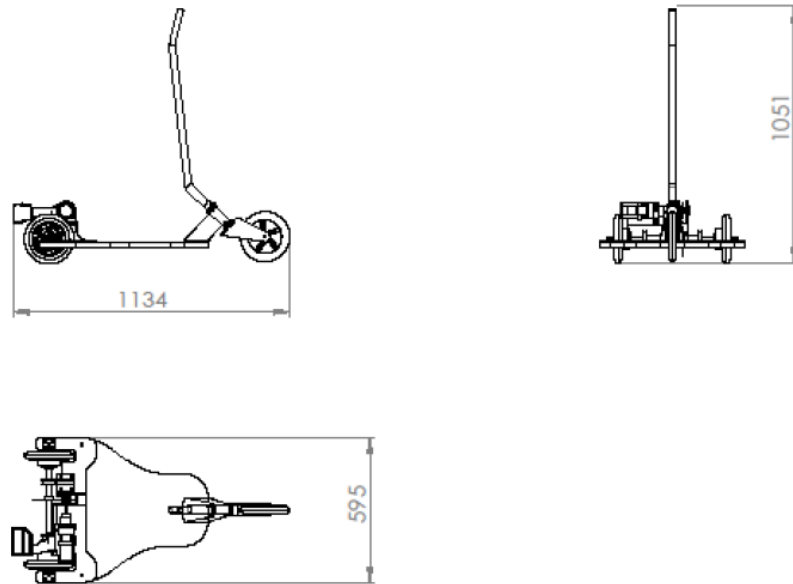
Antud prototüübi head kandevõimenäitajad, funktsionaalne jõuallikas, mida saab kasutada mitte ainult tõukeratta edasilikumiseks, ja võimalus liikuda inimeste lihasjõu abil läbisõidu suurendamiseks või aku tühjenemisel, teeb selle edasiarenduse heaks alusplatvormiks.

Eriõppe projekti ideeks oli valmistada kolmerattaline elektrisõiduk, mis kasutab mootorina akutrelli. Ratta üldkuju on analoog RayBike'ile, millelt on võetud ka esiratta iseloomulik paigutus kuid tagumine osa on ümberkujundatud, arvestades vajadust teha rattad veetavateks.

Ratta vedavaks elemendiks on akutrell, mis on komplektne ning mida on võimalik vajadusel kiirelt demonteerida ning kasutada teiste ülesannete täitmiseks.

Ülekanne toimub kettülekande abil, millega kantakse pöörlemine trelli otse tagasillale jäigalt kinnitatud hammasrattale. Diferentsiaali rolli täidavad mõlema ratta juurde võllile kinnitatud tirrid, läbi mille toimub rataste ringi ajamine.

Töö käigus tuleb kindlaks teha, kas antud prototüüp vastab kõikidele etteantud tingimustele, mis on selle puudused ja mida saab parendamiseks muuta.



Sele 1.9. Tõukeratta joonis [8]

1.4 Seadusandlus

Sisiterritooriumil Eesti Vabariigi liilusseadus ei kehti, ent liikumisel avalikel teedel tuleb vaadata, millised ohutusreeglid ja nõuded antud tõukerattale kehtivad. Esialgselt määratakse kindlaks, millisele sõiduki kategooriale antud tõukeratas vastab. Liiklusseadusest: [9]

jalgratas on vähemalt kahe rattaline sõiduk, mis liigub sellega sõitva inimese või inimeste lihasjõul pedaalide või käsiväntade-hoobade abil. Jalgratas võib olla varustatud ka elektrimootoriga, mille maksimaalne püsi-nimivõimsus ei ületa 0,25 kilovatti. Jalgrattaks ei loeta ratastooli, mis on ette nähtud liikumiseks puudega isikule;

liikurmasin on ratastel või roomikutel liikuv, teatud kindla töö tegemiseks ettenähtud mootorsõiduk, mille valmistajakiirus on suurem kui 6, kuid väiksem kui 40 kilomeetrit tunnis. Liikurmasinaks ei loeta auto alusel valmistatud eritöömasinat;

mootorsõiduk on mootori jõul liikuv sõiduk. Mootorsõidukiks ei loeta mootoriga jalgratast, pisimopeedi, maastikusõidukit, trammi ega sõidukit, mille valmistajakiirus on alla kuue kilomeetri tunnis;

pisimopeed on vähemalt kahe rattaline sõiduk, mille suurim kasulik võimsus sise põlemismootori korral või mille suurim püsi-nimivõimsus elektrimootori korral ei ületa ühte kilovatti ja valmistajakiirus ei ületa 25 kilomeetrit tunnis.

Kuna antud tõukeratta elektrimootori nimivõimsus ületab 250 W, seda ei saa seda tehniliste andmete tõttu liigitada jalgratta kategooriasse. Paremini sobiv klassifikatsioon on kolmerattaline pisimopeed, tõukeratta kasutamisel avalikult kasutataval teedel tuleb jälgida reegleid, mis on sellele liikurile ette antud. Järgmisena vaadeldakse lähemalt pisimopeedile kehtestatud nõudeid.

Nõuded pisimopeedile [10]:

- Helkur, mida kasutatakse liikuril, peab vastama majandus- ja kommunikatsiooniministri määrusega (§ 73 lg 11) kehtestatud tehnonõuetele (olema E- või e-sertifitseeritud).
- Juht on kohustatud liikuriga teel sõitma nii, et kõik rattad toetuksid pidevalt teepinnale.
- Liikuril peab olema töökorras signaalkell, ees valge ja taga punane ning mõlema ratta mõlemal välisküljel kollane või valge helkur, iseeneslikku liikumist takistav seade ning spidomeeter.
- Kahe rattalise liikuri suurim lubatud laius on 0,8 meetrit ning kolme ja enama rataste arvuga liikuri suurim lubatud laius on 1,25 meetrit. Liikuriga võib vedada üheteljelist kuni 50 kilogrammise täismassiga haagist.
- Lisaks peab liikuril põlema pimedal ajal või halva nähtavuse korral sõites ees valge ja taga punane tuli.

Praegune elektrilise tõukeratta kontseptsioon ei vasta kõigile etteantud nõuetele, et seda kasutada avalikel teedel. Töö käigus selgitatakse välja, millised muudatused on vaja teha, et saaks tõukeratast ohutult kasutada nii siseruumides kui ka avalikel teedel.

2 LIIKUMISE DÜNAAMIKA ANALÜÜS

Käesolev peatükk annab ülevaate tõukeratta kontseptsioonist, kuidas tõukeratas töötab, millised on koormuse piirid ja millised piirangud tõukeratta kasutamisel tekivad. Esmalt analüüsitakse tõukeratta dünaamikat.

Dünaamikaks nimetatakse mehaanika osa, milles uuritakse materiaalsete kehade liikumist neile rakendatud jõudude mõjul.

Tõukeratta analüüsi käigus on saadud järgmised andmed, mis on vajalikud arvutamiseks:

- Gabariitmõõtmed on 1134x595x1032 mm.
- Tõukeratta tühikaal on arvutustes 176 N.
- Ratta diameeter 0,2 m
- Ratta perimeeter 0,628 m
- Ülekannetes kasutatakse ees 16- ja taga 32-hambalist hammasratast, mis teeb ülekandearvuks 2.0.
- Pidurisüsteem asub esimesel rattal ja on kontrollitud pidurilingiga käepidemel.
- Gaasi võimsust reguleeritakse kiirenduslingi keeramisel, mis on ühendatud akutrelli kiirendusnupuga suhtes 2:1.

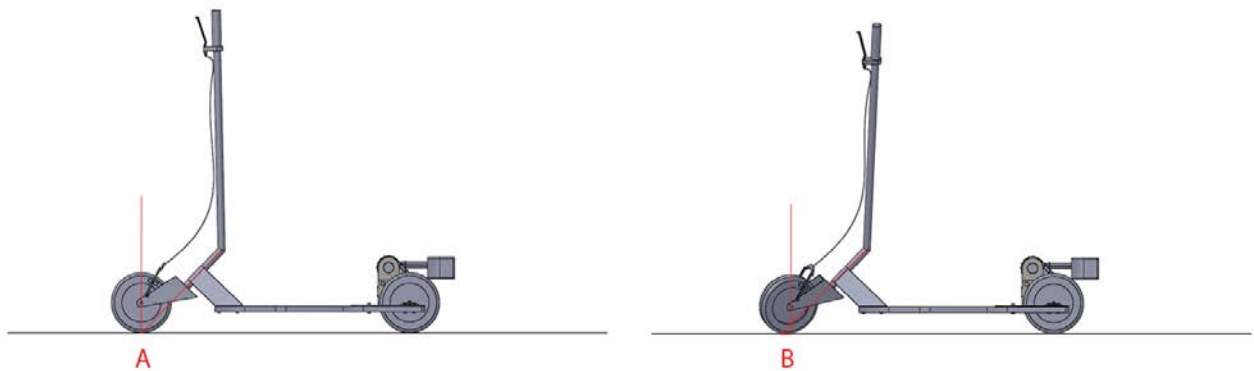
2.1 Juhthoova kasutamise mõju edasiliikumisele

Kuna elektriline tõukerattas paikneb RayBike'i tehnoloogiast, on sel järgmised sõiduomadused:

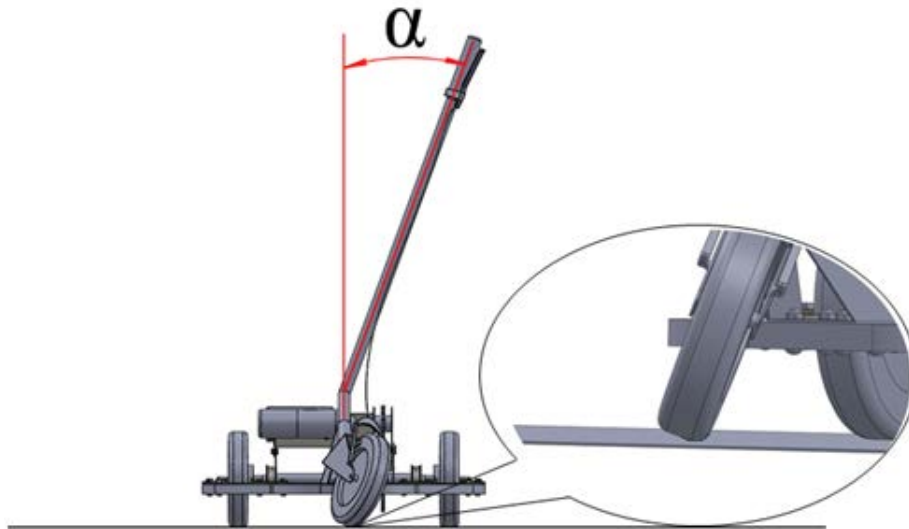
Tõukeratta edasiliikumiseks kasutatakse inimese lihasjõudu. TTÜ projekteeritud tõukerattal saab kasutada jõuallikana ka elektrimootorit. Sõidu ajal asetatakse jalad kõrvuti väikse vahega lauaplaadile. Juhtimishooba lükatakse tagant. Edasiliikumiseks ilma elektrimootori abita on vaja juhtimishooba vasakule ja paremale kallutada. Samuti on väga tähtis, et keharaskus sõidu ajal kanduks sellele jalale, kuspool paikneb juhtimishoob. See tähendab, et sõidu ajal kandub keharaskus

sisekurvi jalale. Liikumist suunab juhtimishooba liikumine ja juhi massikeskme liikumine tõukeratta platvormi suhtes.

Hoova pööramisel muutub esiratta järeljooks ja käändelje pikikalle. Otsesõidul järejooks A vertikaali ja käändelje vahel on võrdne nulliga (vt Sele 2.1), hoova pööramisel järejooks muutub positiivsemaks. Järejooksu muutumine soodustab tõukeratta liikumist, sellist efekti võib võrrelda rulluiskudega sõitmise põhimõttega. Antud lõputööl sellist efekti põhjalikult ei uurita, kuna peamise jõuallikana vaadeldakse elektrimootorit. Katsetamise ajal oli saadud hoova pööramise maksimaalne efektiivne amplituud α , mis on suurusega 25 kraadi. (vt Sele 2.2) Selle piiri ületamisel kaob edasiliikumist soodustav efekt ja tõukeratta saanud kiirus hakkab langema.



Sele 2.1. Tõukeratta järejooksu muutumine hoova pööramisel



Sele 2.2. Tõukeratta hoova efektiivne amplituud

2.2 Hoovõtu dünaamika

Tõukeratta dünaamikale peamiselt mõjuv faktor on mootor. Mootori valik sõltub kasutamistingimusest. Elektrimootoreid on eelistatud kasutada sisetingimustes, kuna see teeb vähe müra ja on keskkonnasõbralik. Tänu elektriajamiga sõiduki kasutamisele seatud rangetele keskkonnakaitseormidele on suur nõudlus, ja tõukeratta elektrimootori valik jõuallikaks on põhjendatud. Akutrelli valik on tingitud hea võimsuse ja kaalu suhtega võrreldes tavaelektrimootoriga. Tuleb arvesse võtma ka võimalus kasutada akutrelli teiste ülesanne lahendamisel ja akude laadimise võimalust sisehoovis, kus on olemas elektri pesad. Akutrelli iseloomustab suure jõudlusega kompaktne 4 polaarsusega elektrimootor, elektrooniline kiiruse reguleerimine, kiire akuvahetus, lühike akude laadimisaeg.

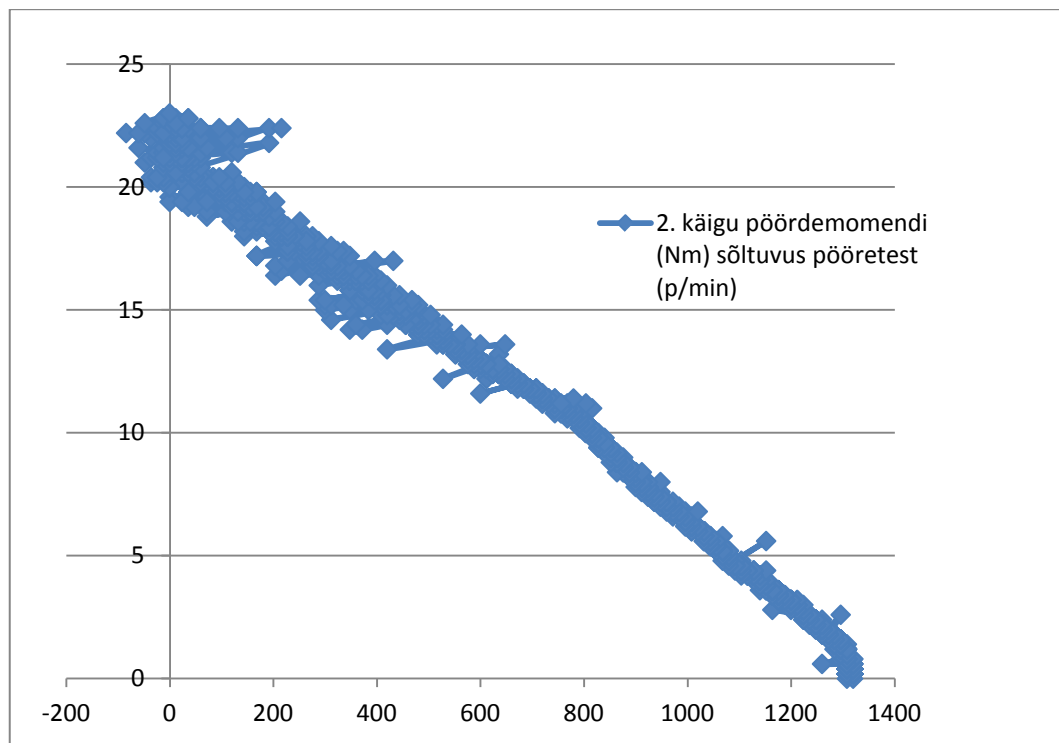
Tabelis 2.1 on toodud erinevate akutrellide peamised parameetrid, mida vaadeldakse tõukeratta jõuallika valimisel. Praegu pakutakse turul erineva hinnaklassi akutrelle, ent antud lõputöös vaadeldakse ainult läbiproovitud ja vastupidavaid variante, millel on vähemalt 3-aastane garantiid,

head võimsusenäitajad ja padruni kiiruse reguleerimise võimalus. Võrdluseks on võetud sarnaste tehniliste parameetritega akutrellid, mis on Eestis vabalt kättesaadavad. Aku mahtuvus on kõikidel trellidel 4 Ah, kõik trellid kasutavad liitiumioon akusid. Akutrelli põhinäitajad on tootja kataloogiandmed. Võrdluse eelistuseks on järgnev info: maksimaalne pöördemoment, maksimaalne võimsus, mass, hind.

Tabel 2.1. Akutrellide võrdlus [11][12][13]

	DeWalt DCD990M2	Bosch GSR 18 VE-2-LI	Makita DDF481RMJ
Maksimaalne pöördemoment (Nm)	80	85	54
Maksimaalne võimsus (W)	650	720	580
Mass (kg)	1,8	2,4	2,6
Hind €	515,00	602,99	452,00

Tabelist 2.1 on näha, et DeWalti akutrelli kaalu/võimsuse suhe on selline, et see on kolmest pakutavast variandist eelistatud antud tõukeratta jõuallikana kasutamiseks. Antud akutrelli suurim negatiivne faktor on kõrge hind, mis moodustab rohkem kui 50% tõukeratta omahinnast. Väljatoodud akutrelli eelistuseks on analoogidega võrreldes elektrimootori pikem elutsüklid. Metallist reduktor tagab masina vastupidavuse, harjadeta alalisvoolumootori (BLDC) tõhusus on kuni 57% kõrgem kui harjatud variandil. Tootja on lubatud elektrimootori resurssi vähemalt 30 000 tundi. Sellest järeldeb, et teisi variante pole mõtet antud töö seisukohast lähemalt vaadelda. Järgmisena arvutatakse valitud akutrelli väliskarakteristiku parameetrid.



Sele 2.3. DeWalt DCD990 akutrelli väliskarakteristik [14]

Mootori pöõrdemoment ja võimsus. Mootori momendi väärtused on võetud vastavalt akutrelli DeWalt kataloogi andmetele [11]. Mootori võimsuse ja momendi kõverad on saadud arvutatud elektrimootori väliskarakteristiku andmete järgi (vt Sele 2.3), mis on korraldatud ja konverteeritud arvutamiseks Excel programmi moodulisse. Võimsus on arvutatud, arvestades momendi väärtusi ning kasutades valemit 1.2 [15]

$$P = \frac{M \cdot \pi \cdot n_{p/s}}{60} \quad (1.2)$$

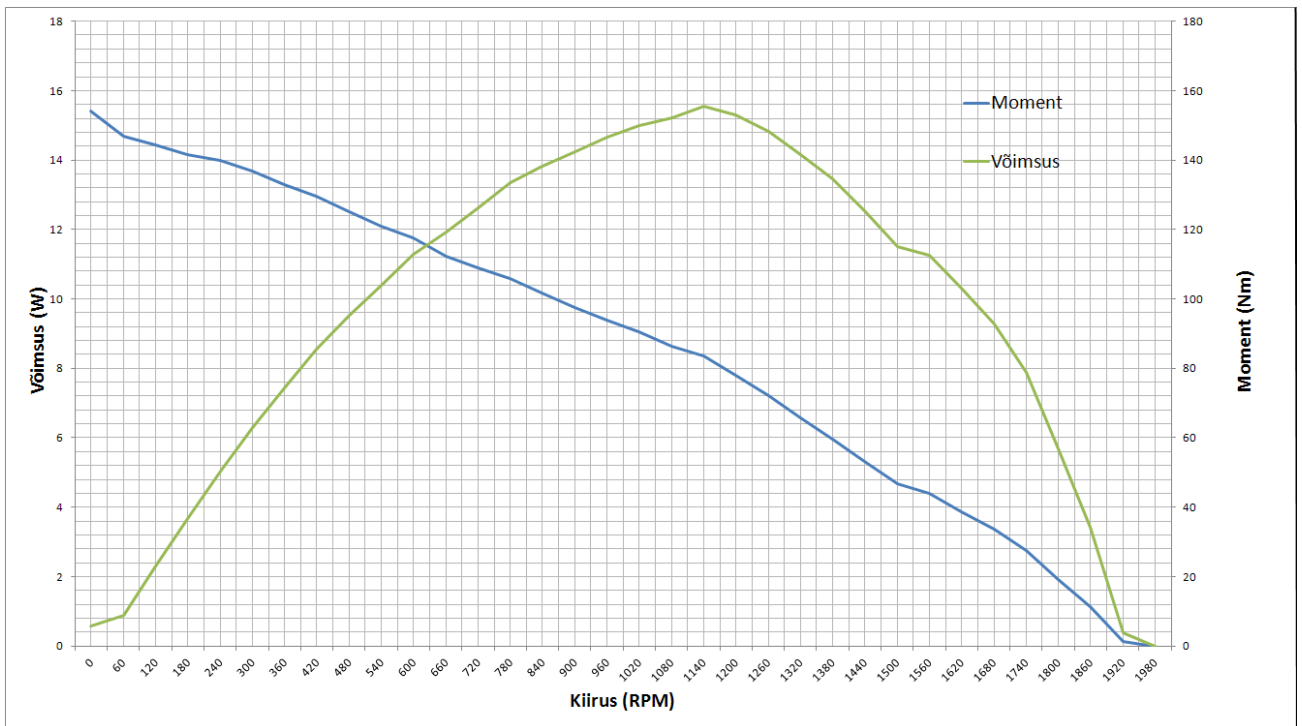
Kus,

P – võimsus, W

M – pöõrdemoment, Nm

$n_{p/s}$ – pöõrlemissagedus, p/s

Selel 2.4. on toodud DeWalt akutrelli iseloomustav graafik, mis põhineb Lisas 1 toodud arvutusele.



Sele 2.4. DeWalt DCD990 akutrelli võimsuse ja momendi karkteristikud

Teades akutrelli mootori väliskarakteristikut, saame teada tõukeratta veojõu, mis näitab, millist jõudu teatud kindlal kiirusel suudab tõukeratas arendada, kasutades nominaalvõimsust. Vojõu arvutamiseks on kasutatud valemit 1.3 [15].

$$F_{veoj} = \frac{P}{v_{m/s}} \quad (1.3)$$

Kus,

P – mootori võimsus, W

$v_{m/s}$ – kergliikuri liikumise kiirus, m/s

Teatud kindlal kiirusel on ühtlaseks sõiduks vajalik moment võrdne kogutakistuse ületamiseks vajaliku momendiga ja on arvutatav valemiga 1.4. Esitatud valem 1.4 on tuletatud käesoleva peatüki valemitest 1.2 ja 1.3. Selleks, et hiljem arvutada elektrikulu, on ühtlaseks sõiduks vajalik moment esitatud Lisa 2 tabelites ka protsentides – protsent on antud pöörlemissageduse maksimaalsest nominaalmomendist.

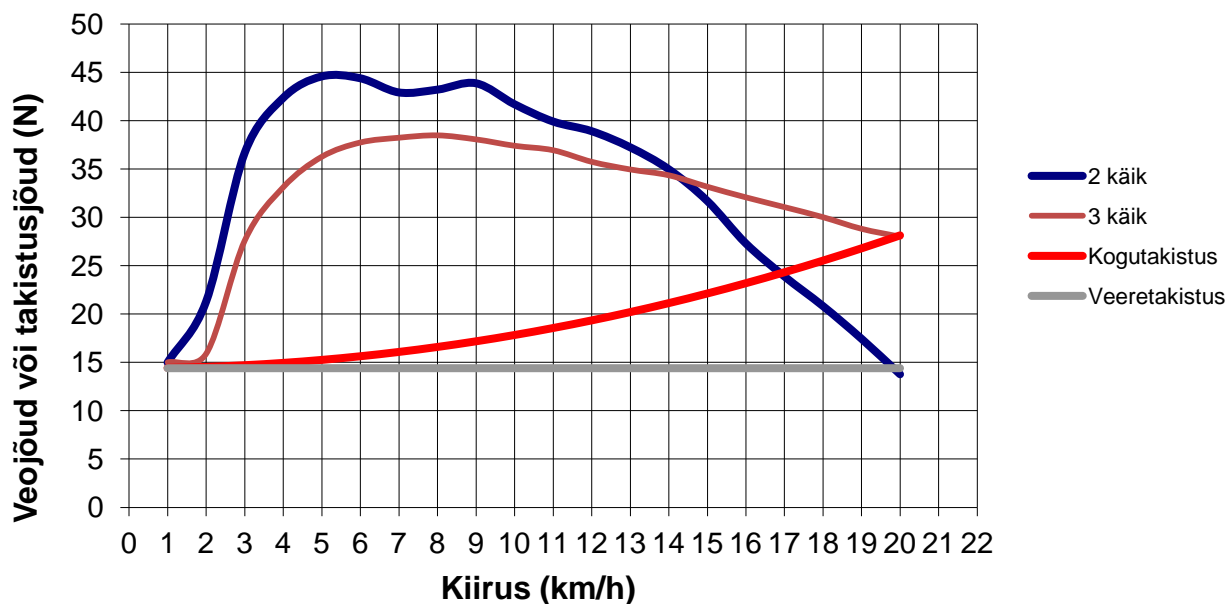
$$M_{sõit} = \frac{1}{2} \cdot \frac{F_{kogut} \cdot v_{m/s}}{\pi \cdot \eta_{p/s}} \quad (1.4)$$

Kus,

$v_{m/s}$ – kergliikuri liikumise kiirus, m/s

$\eta_{p/s}$ – võlli pöörlemissagedus suurimal võimsusel, p/s

Tõukeratta maksimaalne kiirus on piiratud akutrelli padrundi pöörlemissagedusega, ülekandearvuga ja tõukeratta massiga. Selel 2.5 on toodud erinevate käikude mootori võimsuse ja momendi kõverad, kui mootorit käitatakse nimivõimsusel, ülekandearv jääb samaks, tõukerattaga sõidetakse ühtlasel tasapinnal. Arvutused tehakse Excelis koostatud mooduli abil, mis on toodud Lisas 2.



Sele 2.5. Tõukeratta veo- ja takistusjõu karakteristikud

Selel 2.5 on näha veojõu ja takistusjõudude väärtused. Kogutakistus koosneb veeretakistusest ja õhutakistusest. Arvutuslikult on teist käiku kasutades suurim kiirus 17 km/h, kolmandal käigul on kiirus vastavalt 20 km/h. Katseliselt saanud maksimaalne kiirus kolmanda käiguga oli võrdne 20 km/h. Võrreldes laotransportiga, mille maksimaalne kiirus on tavaliselt 14...15 km/h, võib järeldada, et antud tõukeratta maksimaalse kiiruse parameetrid vastavad ülesannete täitmise nõuetele.

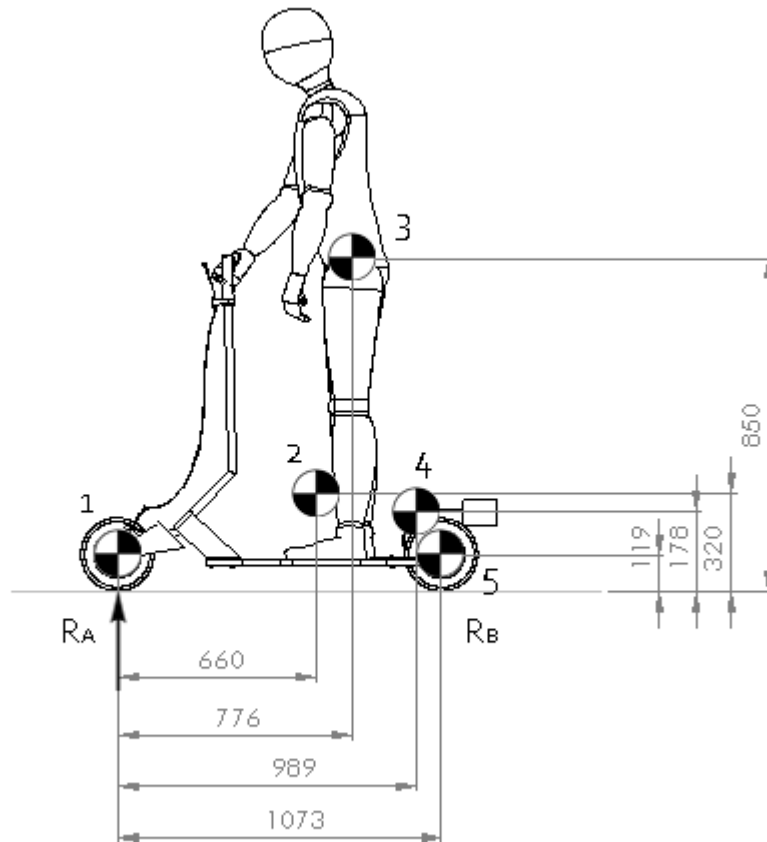
Teine aspekt on turvalisus ja järgmisena tuleb analüüsida, kas sellise kiirusega saab ohutumalt sõita.

2.3 Katsesõiduki hinnanguline mass ja kaalujaotus

Järgnevalt on toodud tõukeratta kaalujaotuse ja massikeskme arvutus. Tabelis 2.2 on näidatud tõukeratta erinevate komponentide massid, samuti on lisatud täiskasvanud juhi eeldatav kehamass. Täpsemad asukohad ja massikeskme arvutus on tehtud vastavalt esialgse kontseptsiooni skeemile (vt Joonis 2.1). Kontseptsiooniskeemil näidatud elementide massikeskme numbrid on üks-ühele vastavuses tabelis 2.5 toodud järjekorranumbritega.

Tabel 2.2. Tõukeratta komponentide massid

Nr	Nimetus	Mass (kg)
1	Esiratas koos pidurisüsteemiga	1,5
2	Tõukeratta raam	12,7
3	Sõidukijuht	90
4	Akutrell	1,8
5	2 x tagaratas	2



Joonis 2.1. Tõukeratta massielementide asukohad. 1 – esiratas, 2 – tõukeratas, 3 – sõidukijuht, 4 – akutrell, 5 – tagaratas

Järgnevalt on teostatud arvutused tõukeratta massikeskme leidmiseks. Aluseks on eeldus, et mistahes punkti ümber tekkivad momendid on omavahel alati tasakaalus $\sum M_x = 0$ [16]. Arvutustes jutumärkides kasutatavad numbrid on erinevate massikeskmeta asukohad, mille asukohamõõdud on võetud jooniselt 2.1 ja väärtused tabelist 2.2.

1. Toereaktsioonide arvutus. Tagaratta teljekoormus R_B :

$$\sum M_A = 0;$$

$$\begin{aligned} R_B &= \frac{"2" \cdot 0,660m + "3" \cdot 0,776m + "4" \cdot 0,989m + "5" \cdot 1,073m}{1,073m} \\ &= \frac{12,7 \cdot 0,660 + 90 \cdot 0,776 + 1,8 \cdot 0,989 + 2 \cdot 1,073}{1,073m} = 82,1 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Toereaktsioonide arvutus. Esiratta teljekoormus R_A :

$$R_A = 108,0kg - R_B = 108,0kg - 82,1kg = 25,9 \text{ kg}$$

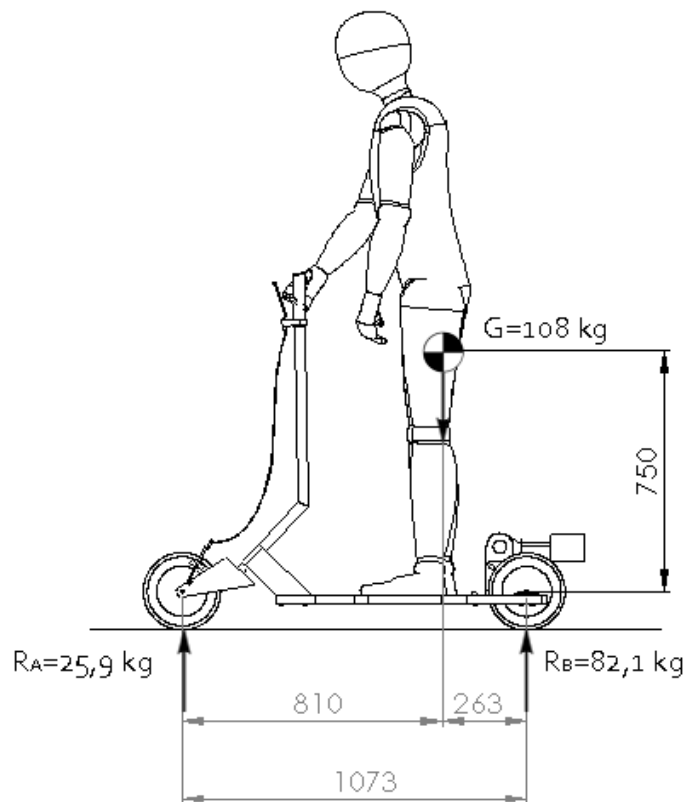
3. Massikeskme kaugus esiteljest:

$$L_{esitelg} = \frac{R_B \cdot 1,073m}{108kg} = \frac{82,1kg \cdot 1,073m}{108kg} = 0,81m$$

4. Massikeskme kõrgus maapinnast:

$$\begin{aligned} L_{kõrgus} &= \frac{("1" + "5") \cdot 0,119m + "2" \cdot 0,320m + "3" \cdot 0,850m + "4" \cdot 0,178m}{108kg} \\ &= \frac{3,5kg \cdot 0,119m + 12,7kg \cdot 0,320m + 90kg \cdot 0,850m + 1,8kg \cdot 0,178m}{108kg} \\ &= 0,75m \end{aligned}$$

Joonisel 2.2 on toodud tõukeratta massikeskme asukoht koos juhiga ja teljekoormused. Nagu näha asub massikeskme küllaltki kergliikuri tagaosas. Oluliselt hakkab selle asukohta mõjutama see, kui juht muudab oma sõidupositsiooni, samuti sõltub massikeskme kõrgus sõidujuhi kehakujust. Tabelist 2.2 võetud andmetega arvatud katsesõiduki mass koos juhiga tuleb hinnanguliselt 108 kg, esitelje koormus u 26 kg ja tagatelje koormus u 82 kg.



Joonis 2.2. Prototüübi hinnanguline kaalujaotus ja raskuskeskme asukoht

2.4 Juhitavus

Antud peatükk annab ülevaade tõukeratta juhitavusomadustest, selgitatakse välja, milline on minimaalne pöörderaadius ja millise maksimaalse kiirusega saab turvaliselt pöördeid läbida tõukerattaga ümberpaiskumise hetkeni.

Kriitiline nurk, millega saab turvaliselt sõita ja järsult pidurdada, eeldades, et juht ei kuku tõukerattalt. Kriitilise nurga parameeter, mis on arvutatud katseliselt (vt Sele 2.6), on suurusega 28 kraadi.

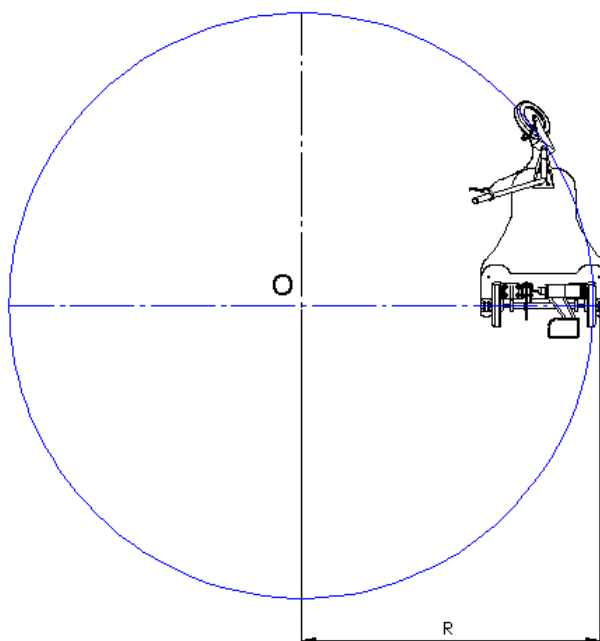
Kuna juhtimishoob on vabalt liikuv, tuleb arvestada, et juht ei tunne sõidu ajal kriitilist nurka, probleemi lahendusena on pakutud integreerida hoova kinnitusele laager koos piirajaga. Kriitilise nurga saavutamisel hoob enam vabalt edasi ei liigu, vaid tuleb rohkem jõudu rakendada, selline efekt aitab juhil aru saada, kas ta ületab kriitilise nurga hoova liikumisel või mitte.



Sele 2.6. Hoova kriitiline nurk

Tõukeratta minimaalne pöörderaadius (R) arvutatakse katseliselt (vt. Sele 2.7). Siledal pinnal märgitakse tsenter (O), mille ümber pööratakse tõukeratast, esimene katse tehakse koos juhiga tõukeratta peal, teine katse tehakse, kui juht seisab ratta kõrval ja pöörab tõukeratast käega, kolmas katse tehakse, kui juhthoova amplituud on võrdne kriitilise nurgaga, mis on arvatud katseliselt (vt Sele 2.6). Katsetamisel on saadud järgmised tulemused:

- 1 katse: $R_1=1380$ mm, kui juht on tõukeratta peal ja esiratas on keeratud maksimaalse võimaliku pöördenurgaga
- 2 katse: $R_2=920$ mm, kui tõukeratast pööratakse käega, juht seisab kõrval
- 3 katse: $R_3=2960$ mm hoova pööramisel suurusega $\beta=28$ kraadi



Sele 2.7. Tõukeratta minimaalse pöörderaadiuse skeem

Tõukeratta ohutul kasutamisel tuleb arvestada ka kriitiline kiirusega ümberpaiskumise võimaluse seisukohast. Suurel kiirusel järsult juhthooba kallutades, sõites ümber ootamatult teele sattunud takistuse, võib tõukeratta stabiilsus olla otsustava tähtsusega. Tuleb kindlaks määrata kriitiline kiirus, mille juures tõukeratas ei paisku järsul suunamuutusel ümber. Kriitiline kiirus on arvutatud valemiga 1.7 [17]

$$V_{\ddot{u}} = \sqrt{\frac{agRsina}{h}} \quad (1.7)$$

kus,

$V_{\ddot{u}}$ – kriitiline kiirus ümberpaiskumise tekke seisukohast, m/s

R – pöörderaadius, m

a – kaugus massikeskmest esiteljeni, m

h – massikeskme kõrgus, m

g – raskusjõud

α – kriitiline nurk

Eeldades, et juhthoob ei ületa pööramisel kriitilist nurka (vt Sele 2.6), leitakse maksimaalne lubatud ohutu sõidukiirus:

$$V_{\ddot{u}} = \sqrt{\frac{0,81 \cdot 9,81 \cdot 2,96 \cdot \sin 28^{\circ}}{0,75}} = 3,71 \frac{m}{s} = 13,35 \text{ km/h}$$

Kiirusega 13,35 km/h saab tõukerattaga läbida kurvi raadiusega 2,96 m, eeldades, et juht pöörab hooba lubatud amplituudiga. Tuleb arvestada inimliku faktoriga, et reaalsed andmed võivad olla erinevad, sõltuvalt juhi kogemusest, tema pikkust ja sõiduasendist. Maksimaalne kiirus on soovitatav piirata, sest sõitmisel kiirusega 20 km/h suureneb oht kukkuda tõukerattalt. Pakutakse välja piirata maksimaalne kiirus kuni 14 km/h. Ülekandearvu muutumisega maksimaalse kiiruse vähendamiseks tekib probleem tõukeratta järsu kiirendusega. Pakutav variant on piirata kiirendusnupu võimsust, mida saab reguleerida kiirenduslingi keeramisel. Akutrellil on vaja piirata gaasivõimsus 49%-ni, et saavutada maksimaalne kiirus 14 km/h teise käiguga. Gaasilingi ja akutrelli nupu uue ühendamise suhe tuleb võtta 4:1. Selliselt on lahendatud järsu kiirenduse ja maksimaalse lubatud kiiruse saavutamise tekkiv probleem.

2.5 Pidurdusdünaamika

Antud peatükis analüüsitakse tõukeratta pidurdusomadusi. Tõukeratas on varustatud esipiduriga ja tuleb kindlaks teha, kas sellest piisab ülesande täitmiseks.

Pidurdusteed kond sõltub pidurite rakendusteedkonnast ja aeglustusteedkonnast. Kõige efektiivsem pidurdusjõud saavutatakse kõikide rataste pidurdamisel, kuna tõukerattal pidurdatakse ainult esirattaga, arvutatakse mõlema pidurdusviisi väärtused ja võrreldakse neid omavahel.

Valem (2.2) määrab minimaalse pidurdusteedkonna, kasutades ära täis rehvide haarduvust, mida on võimalik saavutada kõikide rataste pidurdamisel [17]

$$S = V_0 \left(t_0 + \frac{t_1}{2} + \frac{V_0 \delta}{\varphi_x g} \right) \quad (2.2)$$

Kus,

δ – pöörleva massi koefitsient

φ_x – pikisidestustegur ratta rehvi ja teekatte vahel

g – raskuskiirendus

Kasutades pidurdamisel ainult esiratast, väljendatakse pidurdusteed kond valemi 2.3 abil [17]:

$$S = V_0 \left(t_0 + \frac{t_1}{2} \right) + (L - \varphi_x h) \frac{V_0^2 \delta}{2\varphi_x g b} \quad (2.3)$$

Kus,

V_0 – kiirus pidurdamise alustamise hetkel

δ – pöörleva massi koefitsient

t_0 – reageerimise aeg

t_1 – aeg, mille jooksul aeglustumine suureneb nullist kuni antud väärtuseni

h, b – massikeskme koordinaadid

L – pikkus esiratta keskmest tagaratta keskmeni

φ_x – pikisidestustegur ratta rehvi ja teekatte vahel

g – raskuskiirendus

Arvutustes on vaja leida ka tõukeratta rataste inertsmoment, mis leitakse valemi 2.4 abil [18]

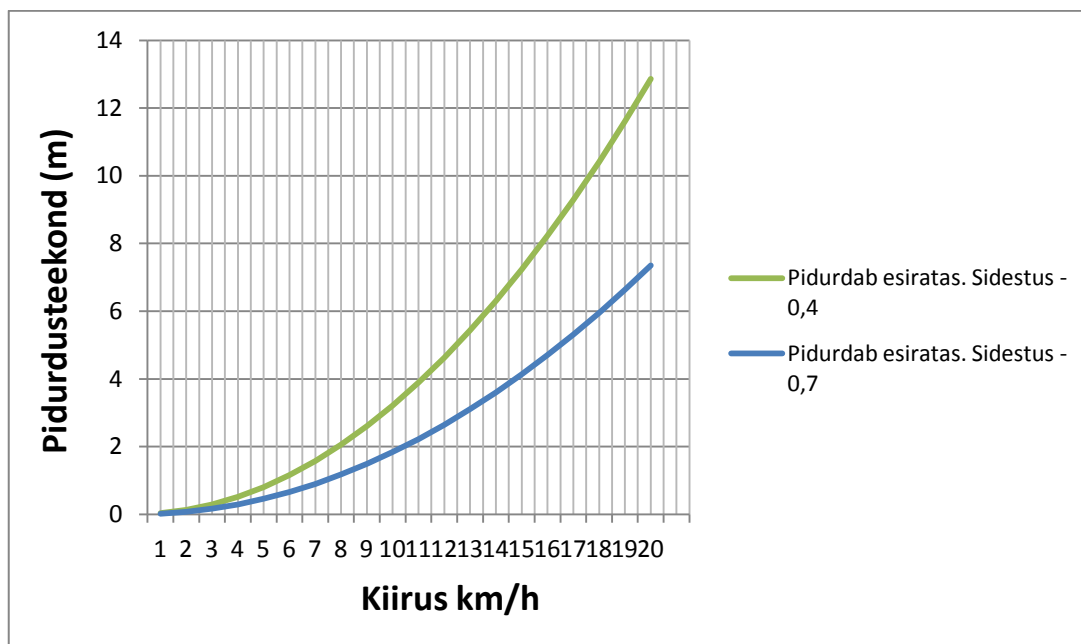
$$J = \frac{mR^2}{2} \quad (2.4)$$

Kus,

m – ratta mass, kg

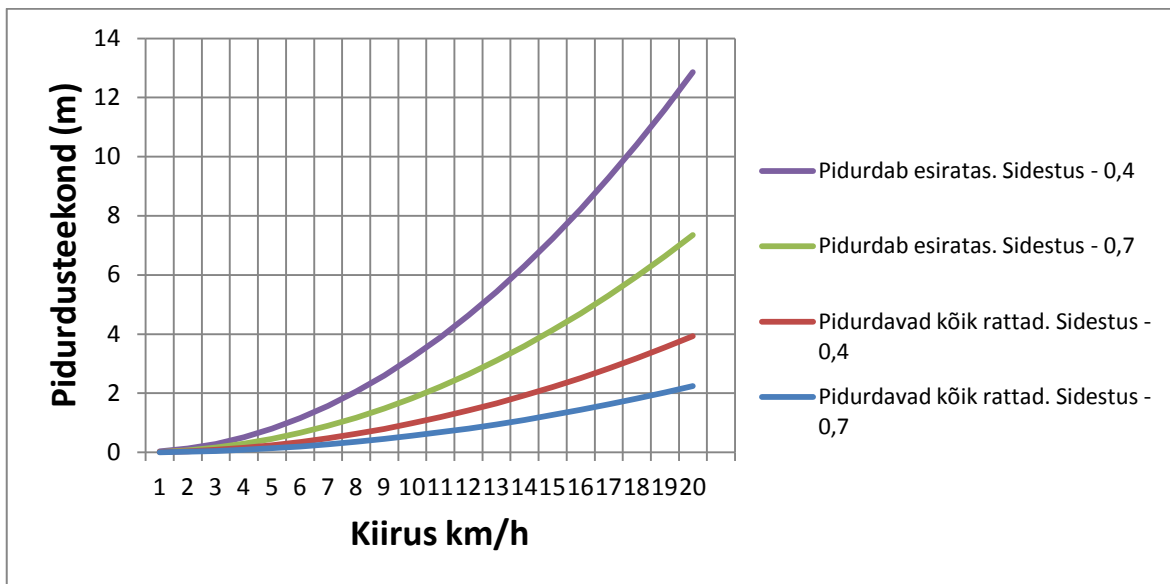
R – ratta raadius, m

Tulemused on arvutatud Exceli arvutusmoodulis (vt Lisa 3) ja esitatud graafiliselt, kus on näha pidurdusteede sõltuvus algkiirusest sõltuvalt pikisidestusteguritest ratta rehvi ja teekatte vahel. Sele 2.8 näitab pidurdusteede erinevusi kuival ja märjal teekattel, hõõrdeteguriteks μ on võetud 0,7 ja 0,4.



Sele 2.8 Pidurdusteede graafik kuival ja märjal asfaldil

Järgmisena vaadeldakse olukorda, kui kõik rattad on varustatud piduritega.



Sele 2.9. Pidurdusteeekonna graafik kuival ja märjal asfaldil

Selel 2.8 ja 2.9 on näha, et kasutades ainult esimese ratta pidurdussüsteemi, suureneb pidurdusteeekond maksimaalsest kiirusest peatuseni 8m võrra võrreldes kõikide rataste pidurdamisega märjal ja 5m võrra kuival tasapinnal. Pidurdamisel ainult esirattaga tuleb arvestada piduriklotside kiirema kulumisega. Avalike teede kasutamisel ja lisakaalu vedamisel on parimate tulemuste saavutamisel soovitatav varustada tõukeratas kõikide rataste pidurdussüsteemiga, kuid tuleb arvestada, et kogukaal ja eseme omahind suureneb.

2.6 Aerodünaamika

Tõukeratta läbisõit sõltub nii kiirusest kui ka juhi sõidupositsioonist. Väiksematel kiirustel ei mängi kogutakistus suurt rolli, kuid kiiruse kasvamisega võib väiksem lauppind oluliselt läbisõidule mõjuda. Selles peatükis arvutatakse tõukeratta lauppind.

Tõukeratta mõjuvate takistusjõudude arvutamiseks on toodud järgmised valemid: veeretakistuse valem 1.5 [19] ja aerodünaamilise takistuse valem 1.6 [19]. Kogutakistuse suurus on võrdne nende mõlema summaga. Kuna aerodünaamiline takistus suureneb kiiruse kasvades, siis tuleb kogutakistus arvutada eraldi erinevatel liikumiskiirustel.

$$F_{veere} = \mu_{veere} \cdot m_{kogu} \quad (1.5)$$

Kus,

μ_{veere} – veeretakistuse koefitsient (sõidukitel tavaliselt vahemikus 0,013...0,015)

m_{kogu} – kogumass, kg

$$F_{aero} = C_D \cdot A \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^2 \quad (1.6)$$

Kus,

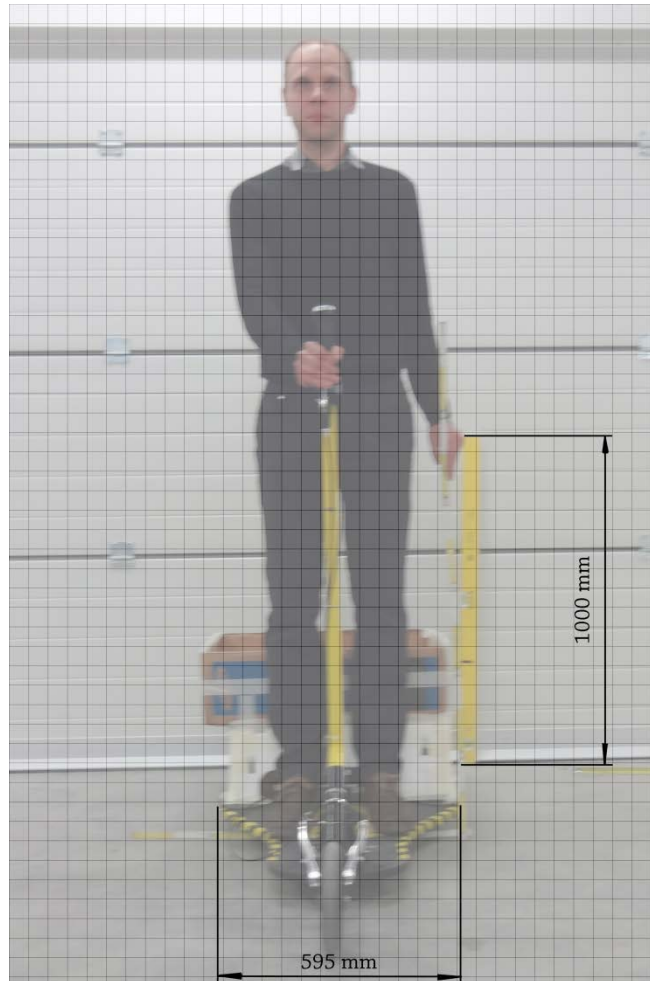
C_D – õhutakistustegur

A – lauppindala, m²

ρ – õhutihedus ($\rho=1,202$ kg/m³)

V – tõukeratta kiirus õhu suhtes m/s.

Sõiduki lauppind on üks oluline faktor sõiduki aerodünaamikas, lauppinda teades saame arvutada tõukeratta aerodünaamilise takistusteguri ja vaadata, kas sõitja positsiooni muutmisega saab läbisõitu suurendada.



Sele 2.10. Tõukeratta eestvaade koos juhiga

Arvutatud tõukeratta lauppind koos juhiga on võrdne $1,06 \text{ m}^2$ (vt. Sele 2.10). Pildil on näha, et lauppind sõltub rohkem inimese kehakujust, sest tõukeratta madalprofiil ei anna suurt takistusjõudu, lisavarustus on peidetud 50% ulatuses juhi selja taga. Juhil laupinna suurus istuvas asendis sõitmisel on arvutatud katseliselt ja on võrdne $0,38 \text{ m}^2$.

2.7 Autonoomsus

Liitium-ioon akutrelli aku võimaldab tänu mahtvusele kasutada akutrelli tõukeratal jõuallikana. Selles peatükis arvutatakse, kui kaua saab ühe täislaaditud ja 80% laaditud akuga sõita aku täieliku tühjenemiseni.

Tõukeratta läbisõit 4 Ah akuga on arvutatud valemi 2.1 abil. Toodud valem on tuletatud toetudes liikumisarvutuste põhitõdedele [20]. DeWalt akutrelli Li-ioon akud pingega 18 V ja mahtvusega 4 Ah on võrdne 70,56 kWh. Läbisõit arvutatakse Exceli moodulis (Lisa 4.1, 4.2) ja esitatakse graafiliselt (Sele 2.11)

$$S_{max} = \frac{E_{aku} \cdot v_{m/s} \cdot 60}{E_t \cdot 1000} \quad (2.1)$$

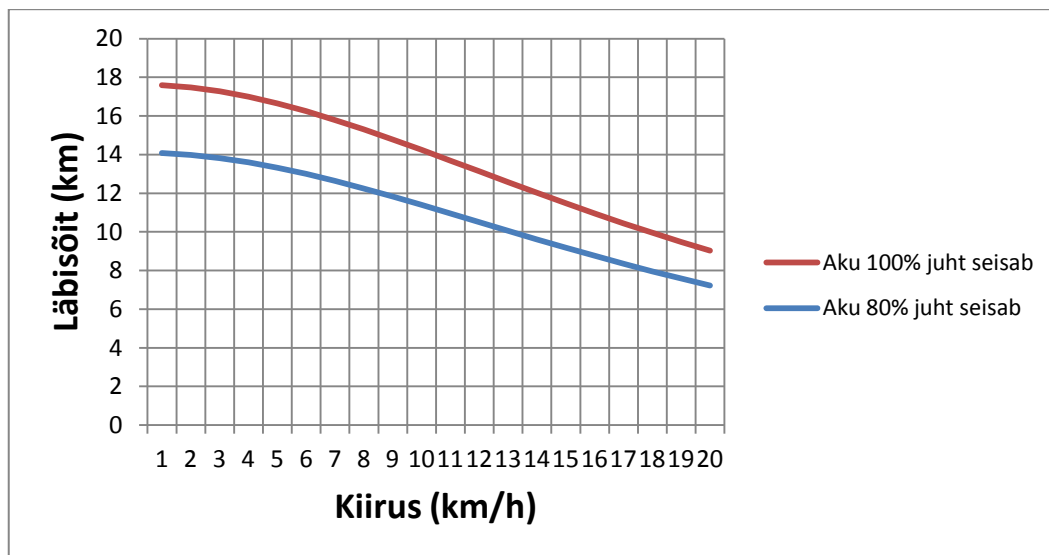
Kus,

S_{max} — tõukeratta maksimaalne läbisõit konstantsel kiirusel (km)

E_{aku} — aku energia (kWh)

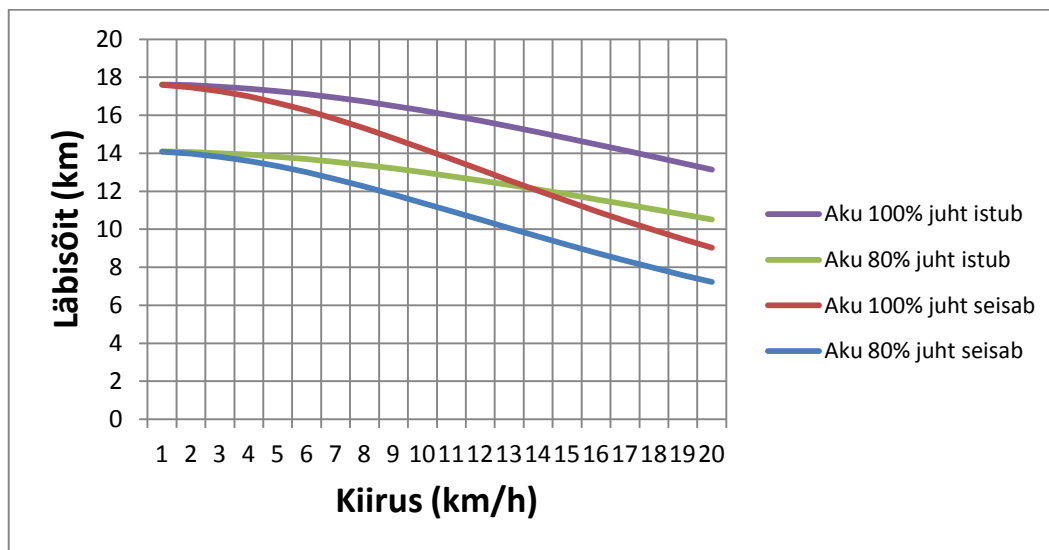
E_t — tõukeratta efektiivsus (Wh/km).

Selel 2.11 on näha, et maksimaalsel kiirusel saab läbida 9 km, kasutades 100% laaditud akut, ja 7,5 km, kasutades 80% laaditud akut. Maksimaalne läbisõit saavutatakse madalatel kiirustel. Läbisõitu saab suurendada tõukeratta jalaga tõukamisega, läbisõidu pikkus sõltub hoova liikumise amplituudist ja intensiivsusest, mis on antud tõukeratta kasutajatel erinev.



Sele 2.11. Võrdlusgraafik: läbisõidu sõltuvus kiirustest, kasutades 80% ja 100% laaditud akut (Juht seisab tõukerattal)

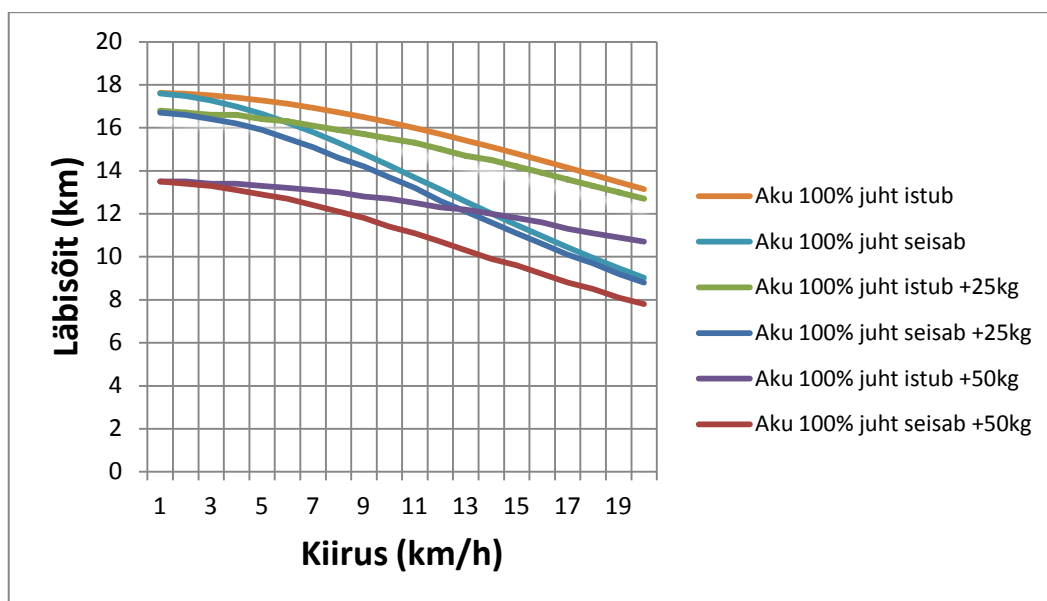
Järgmisena analüüsitakse kas sõidupositsiooni muutmine mõjutab tõukeratta sõiduomadusi. (vt Sele 2.12)



Sele 2.12. Läbisõidu sõltuvus juhi sõidupositsioonist ja aku laetusest

Graafikul on näha, et laupinna vähendamisel suureneb läbisõit keskmisel 4 km võrra suurematel kiirustel, mis on hea näit. Kiirusel kuni 5 km/h sõidupositsiooni muutmine ei anna lisaefekti.

Selel 2.13 on näidatud tõukeratta läbisõidu sõltuvus kiirusest erinevate raskuste vedamiseks, lisamassi väärtusteks on võetud 25 ja 50 kg.



Sele 2.13. Maksimaalne läbisõit lisamassiga arvestades

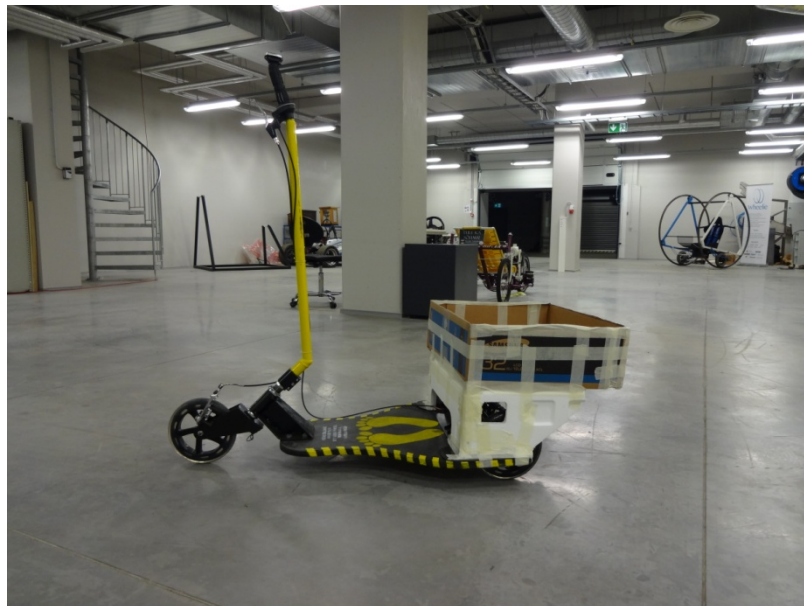
Järeldused:

Selel 2.11, 2.12, 2.13 on näidatud tõukeratta maksimaalne läbisõit konstantsel kiirusel, kui kasutatakse akutelli akut kuni täieliku tühjenemiseni. Tabeleid võrreldes on näha, et kiirustel kuni 5 km/h ei anna sõidupositsiooni muutmine lisaefekti, kuna aerotakistuse jõud on madal. Kiiruse kasvades, eeldades, et juht istub, saab läbisõitu võrreldes seisva juhiga suurendada kuni 4 km sõites maksimaalse kiirusega. Sellest järeldub, et sõidupositsiooni muutumise võimalus teeb tõukeratta kasutamise võimaluse oluliselt efektiivsemaks ja juhile mugavamaks. Lisakaalu kaasa võttes, arvestades, et juht seisab sõiduajal maksimaalsel kiirusel läbisõidu suurus ei erine rohkem kui 1,5 km. Kuna kiiruse kasvades väheneb oluliselt läbitud teekonna pikkus, kõige efektiivsem sõita keskmistel kiirustel 10...14 km/h, sest et läbisõidu ja kiiruse erinevuse suhe ei saa liiga suur.

Eeltoodut arvestades võib järeldada, et peatükis 2.5 pakutud variant, piirata juhi turvalisuse suurendamiseks tõukeratta maksimaalset kiirust kuni 14 km/h, on mõistlik.

2.8 Sõidumugavus ja ergonoomika

Sõidumugavuse kontrollimiseks valmistati gabariit-makett (vt Sele 2.14), et saavutada võimalikult parim lisavarustuse kuju, mis ei takista juhi vaba liikumist ja mugava sõiduasendi võtmist.



Sele 2.14. Lisavarustuse gabariit-makett

Lisavarustuse kasti suuruse projekteerimisel tuleb arvestada, et selle gabariitmõõdud ei ületaks tõukeratta laiust, samuti on arvesse võetud tagaülendi pikkust. Lõpptulemusena on kasti mõõdud vähendatud, et vältida tõukeratta tahapoole ümberminekut.

Tõukerattaga kauba vedamisel eeldatakse, et edasiliikumiseks kasutatakse akutrelli, aga tuleb arvestada ka sellega, et inimene saaks vajadusel ratast võimalikult mugavalt jalaga tõugata. Tõukamise ajal aitab projekteeritud lisavarustuse madal profiil võtta juhil iseloomulikku sõiduasendit. Samuti tuleb arvestada, et juht võib kogemata jalaga kasti ja porikaitset puudutada. Et

vältida vigastusi (vt Sele 2.15), peavad kastinurgad olema võimalikult ümara kujuga, pehmenemise paigaldus tuleb arvestada projekteerimisel olulistekontaktpunktidega.



Sele 2.15. Juhi jalgade loomulik asend tõukamisel

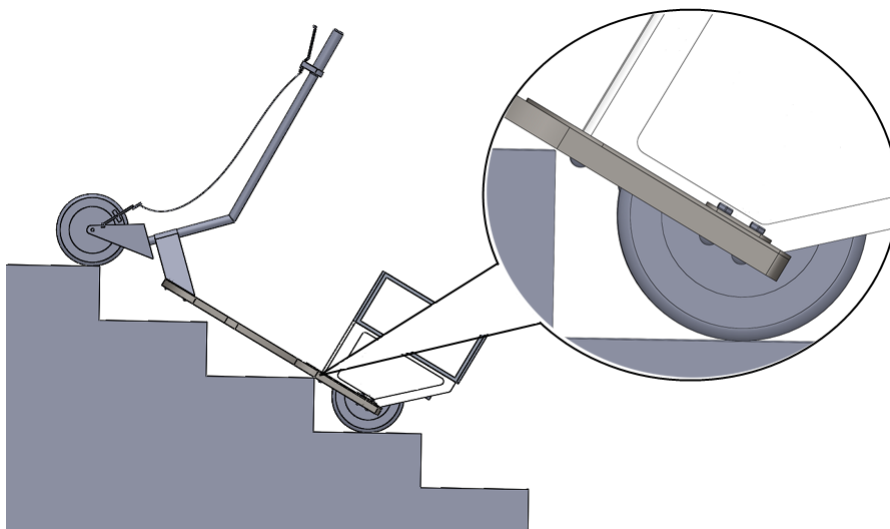
Tõukeratta liikumisel on oluline teekatte seisund. Kui teekate on löökauke, muhke, künniseid täis siis on parem kasutada suruõhuga täidetud rattaid. Kui tõukerattaga sõidetakse keskkonnas, kus põrandal võib olla metallist hõõvlilaaste, metallitükke, traati, naelu, klaasikilde jms, siis on parem kasutada täiskummist rehve. Antud töö käigus vaadeldakse täiskummist rehve, kuna need olid etteantud prototüüpi algses varustuses ja sisehoovi liikumisel on nende kasutamine põhjendatud.

Üks oluline aspekt on tõukeratta takistuse ületamine. Kuna raskust koos pakiraamiga ja veetava kaubaga ei ole tavainimesele jõukohane tõsta, lohistatakse tavaliselt tõukeratas üle takistuste. Tõukeratta kliirens võimaldab ületada takistused kuni kõrgusega 200 mm. Peaprobleemiks on tõukeratta algses konstruktsioonis alumised kuuekandilise peaga kinnituspõlendid, mis takistavad alumisel plaadil vabalt treppil liikuda. (vt Sele 2.16).



Sele 2.16. Tõukerattaga tavakõrgusega trepiastme ületamine

Probleemi lahendamiseks on pakutud variant kasutada polte DIN 7380 standartiga sise-6-kant ümarpeaga [21]. Nende poltide kasutamine võimaldab tänu poldi pea profiilile tõukerattal üle astme libiseda. (vt Sele 2.17)



Sele 2.17. Tõukerattaga trepist üles ronimise, kasutades iit tüüpi poldi 3D-mudelit

2.9 Maksimaalne lubatud koormus tõukeratta platvormile

Kasutades antud liikurit kauba vedamiseks, tuleb määrata maksimaalne lubatud koormus ehk suurim kaal, mida tõukeratta platvorm kannab murdumishetkeni. Tavaliselt saab inimene omal jõul transportida raskust vahemikus 15...25 kg. Selle lisakaaluga tuleb arvestada antud liikuri kasutamistingimuste kavandamisel. Järgmisena arvutatakse, kas tõukeratta alusplaat kannatab inimest massiga 90 kg koos pagasimassiga kuni 50 kg purunemiseta, ja mis on maksumaalne lubatud massipiir. Arvutamiseks kasutatakse staatilisel painutamisel tõmbetugevuse arvutamise valemit [22]:

$$\sigma_w = \frac{3}{2} \cdot \frac{3P_{max} \cdot l}{b \cdot h^2} \quad (1.1)$$

Kus,

σ_w – materjali tõmbetugevise piir staatilisel painutamisel, Mpa;

P_{max} – maksimaalne koormus, N;

l – esi- ja tagaratta kinnituspunktide vahe, mm;

b – alusplaadi laius, mm;

h – alusplaadi kõrgus, mm;

Tõukeratta alusplaatvormi arvutatud suurused on järgmised: b – 595 mm, h – 20 mm, l – 605 mm

Materjalide tehniliste omaduste kataloogis on [23] märgitud MDF-plaadi piir on staatilisel painutamisel võrdne 20 Mpa. Pannes antud väärtused valemisse 1.1, on saadud tulemus, et maksimaalne koormus tõukeratta vineeralusplaadile on võrdne 1748,4 N ehk 178,2 kg-ga. Sellest järeldub, et tõukerattaga saab 90 kg inimene koos 50 kg kaubaga ohutult sõita, mis on täiesti piisav antud lõputöös püstitatud ülesande täitmiseks. Tuleb meeles pidada, et maksimaalne lubatud koormuse piiri ületamine purustab plaadi. Kuna 50 kg pagasi mass on võetud varuga, tuleb tõukeratta kasutusjuhendis kindlad reeglid kehtestada, et antud sõiduvahendil maksimaalne kandevõime ei tohiks ületada 140 kg.

3 PROTOTÜÜBI ARENDUS

Selleks, et antud liikuritega saaks kaasa võtta pagasit, tuleb projekteerida selle jaoks sobilikud lisavarustuse elementid. Käesolev peatükk annab ülevaate potentsiaalsetest lisavarustuse kontseptsioonidest, mis peavad vastama etteantud nõuetele. Esmalt leitakse lisavarustuse elementide üldine kuju 3 prototüübi alusel, mis on projekteeritud erineva lähenemisviisiga. Pärast valitakse kõige sobilikum variant ja hakatakse projekteerima lisavarustuse lõplikku kuju.

Koostude ja detailide CAD projekteerimiseks kasutatakse programmi SolidWorks 16.2. Selle programmiga tehakse ka vajalikud töö- ja koostejoonised, mille alusel saab detailid valmistada.

3.1 Parema lahenduse otsing

Sellises peatükis on näidatud prototüüpide kolm 3D-mudelid, mis on loodud erineva lähenemisviisiga, et leida kõige efektiivsem hinna, kaalu ja valmistamise variant, mis vastab järgmistele nõuetele:

Nõuete loetelu:

Tõukeratta lisavarustuse projekteerimisel peavad olema täidetud järgmised kriteeriumid:

- Tugev ja kerge disain
- Valmistamiseks vajalikud materjalid on vabalt saadaval
- Võimalikult madal omahind
- Lubatud pagasi mass peab olema mitte vähem kui 20 kg
- Veetava kauba mõõtmed peavad olema vähemalt 400 x 300 mm
- Kergesti eemaldatav ja paigaldatav
- Kasutada võimalikult vähem abitööriistu
- Olema tõukerattal turvaliselt kinnitatud
- Olema vastupidav väliste ilmastikutingimuste ja äärmuslike temperatuuride suhtes
- Kogu lisavarustuse mass peab olema 6 kg piiril
- Eelarve 200 eurot

Üks võimalikest lahenditest parandada tõukeratta teelpüsivust, on masskeskme madalamaks tegemine. Pakikasti raamile tuleb lisaks projekteerida sadula kinnitus, et juht saaks liikuda istuvas seisundis. Juhtimismugavuseks tuleb arvestada sellega, et hoova pikkust peab olema võimalik sõltuvalt juhi asendist (seisev või istuv) muuta.

3.1.1 Esimene prototüüp

Esimese prototüübi projekteerimise eesmärk oli vaadata tõukeratast kui valmistoodet, millele ei saa muudatusi teha. Kõik kinnituspunktid peavad jääma samaks. Eeliseks oli see, et kogu lisavarustuse süsteemi saaks lihtsalt eemaldada tööriistu kasutamata või ühe tööriista abil, ja akutrelli akudele oleks lihtne ligipääs.

Projekteeritud lisaseadme konstruktsiooni toetusjalad on fikseeritud 2 poldiga alusplaadile, mis võimaldab kogu lisavarustuse konstruktsioonil vabalt liikuda ainult ühe telje suhtes, seda saab pöörata lisahinge abil.

Kast on projekteeritud ümarast võrktraadist, mis on painutatud etteantud kujudega ja keevitatud kokku TIG-keevitusega. Ülejäänud komponendid on laserlõigatud lehtmetailist. Porikaitse valmistatakse klaasfiibrist.



Sele 3.1. Prototüübi nr 1 3D-mudel

Esimese prototüübi (vt Sele 3.1) lisavarustuse arvatud kogumass on võrdne 7,95 kg-ga, kasutades detailide valmistamiseks järgmisi materjale:

- S235 EN 10025 Lehtmetallist valmistatud kinnitused, tugijalad, kasti alumine kinnitusraam.
- S235 EN 10025 Metalltraadist valmistatud korv
- Klaasfiibrist valmistatud akutrelli kaitseelement

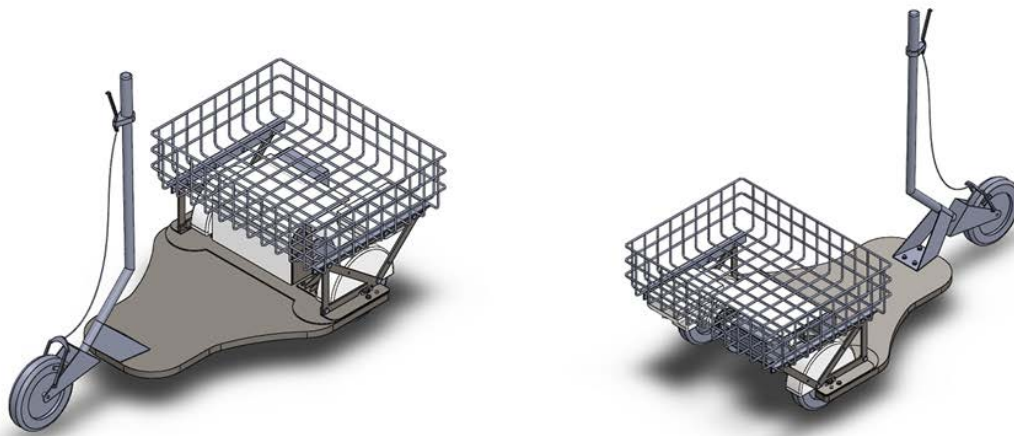
Projekteeritud mudeli analüüs näitas, et porikaitse efektiivsus on liiga madal, praegune tõukeratta kontseptsioon ei võimalda kaitsta täielikult toiteallikat. Parema ratta ja akutrelli vahe on liiga väike, et lisakaitseelement nende eraldamiseks nende vahele panna. Tootmisprotsess läheb liiga keeruliseks ja kalliks, et rakendada seda etteantud tingimustega. Kaks kinnituspunkti ei ole piisav raami jäikfikseerimiseks, kogu konstruktsiooni jäikus on liiga madal. Korvi traatide paksus ei anna piisavat jäikust selle efektiivseks kasutamiseks.

3.1.2 Teine prototüüp

Teise prototüübi projekteerimisel oli arvesse võetud eelmise prototüübi puuduseid. Antud prototüübi projekteerimisel on juba arvestatud tõukeratta esialgsete puudustega, mis on antud ülesande täitmiseks parandatud. Akutrelli positsioon on nihutatud, mis annab piisavalt kliirensit, et katta tagumine parempoolne ratas. Akutrelli kinnituspunktid on ümberprojekteeritud võimalikult madalale, arvestades komponentide massi hoidmiseks. Komponenti nihutamine kaasneb veovõlli ja alusplaadi ümberprojekteerimisega, samuti tuleb tõukeratta platvormi muuta vedava osa juures.

Kasti alla on integreeritud kinnituskoht akulaadija vedamiseks. Raami kinnituspunktid jäävad samaseks esimese prototüübi variantiga, hingede asemel lisatakse fikseeritud kinnituskohad. Ratta kaitsmed valmistatakse klaasfiibrist.

Teise prototüübi lisavarustuse arvatud kogumass on võrdne 7,12 kg, mis on 0,83 kg vähem kui esimesel prototüübil.

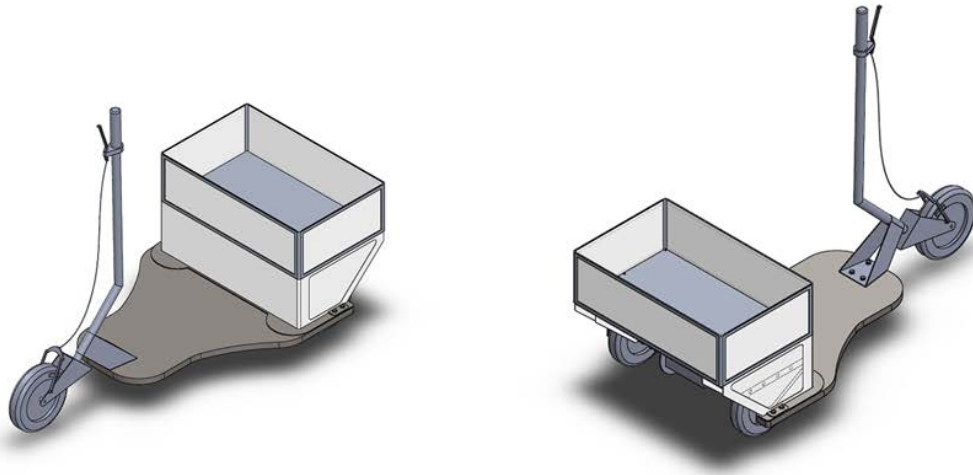


Sele 3.2. Prototüübi nr 2 3D-mudel

Teise lahenduse mudeli analüüs näitas, et ratta porikaitse efektiivsus on oluliselt suurem võrreldes esimese prototüübiga, aga valmistamise tehnoloogia ei võimalda neid odavalt teha, tuleb leida muu lahendus. Raami projekteerimisel selgitati välja, et praegune kontseptsioon ei sobi tugevusarvutuste jaoks, järgmisel variandil projekteeritakse raam toruprofiilist. Korv-kasti valmistamise tehnoloogia läheb liiga keeruliseks ja tootmisprotsess on aeganõudev, kasti disain ei võimalda vedada turvaliselt väikseid objekte, kuna võivad võrguaukudest välja kukkuda.

3.1.3 Kolmas prototüüp

Kolmanda prototüübi modeleerimisel oli arvestatud esimese kahe lahendi võimalike puuduste. Metallkorv-kasti mass ja gabariidid ei võimalda kasutada kontseptsiooni koguefektiivsust. Kolmas pakutav variant eeldab, et pakikast on tehtud kahest materjalist: teras-karkass ja ABS-plastist küljed. Selline kontseptsioon aitab vähendada lisavarustuse kogukaalu ja tagada piisav tugevus, et olla praktiline. Toruraami disain eeldab, et konstruktsioon on vastupidav. Rattakaitsmest tuleb loobuda, et säästa tootmiskuludelt ja lihtsustada valmistamistehnoloogiat, ka analüüs näitas, et ei ole nõuet kaitsta ratast täisulatuses, kui jõuallika komponendid on mustuse ja niiskuse eest juba kaitstud.



Sele 3.3. Prototüübi nr 3 3D-mudel

Kolmanda projekteeritud prototüüpi arvatud lisavarustuse kogumass on võrdne 6,56 kg, mis on 1,39 kg väiksem kui esimesel ja 0,56 kg väiksem kui teisel variandil.

Kolmanda prototüübi analüüs näitas, et kinnine kast on võrreldes võrk-kastiga parem, kuna kasti täiskinnine põrand täidab ülesannet, kaitstes liikuvaid ja elektrilisi komponente ülevalt niiskuse ja muude elementide eest, mis võivad jõuallikat kahjustada. Ka esteetilisest seisukohast on selline disain sobilikum. Akulaadija kinnitusest tuli loobuda, sest element ei ole piisavalt kaitstud, ja eemaldamisel tekib raskusi, kui on kinnitatud kasti külge altpoolt. Soovi korral võib laadijat vedada kastis koos transportitava kaubaga. Toruraam on võrreldes lehtmetailist valmistatud raamiga tugevam ja võimaldab vedada ohutult suurt raskust. Uue projekteeritud kaitse komponentide valmistamise hind on võrreldes eelnevate variantidega odavam.

3.1.4 Hinnang prototüüpidele

Järgnevalt on hinnatud kõigi kolme eelnevalt välja toodud prototüübi plusse ja miinuseid. Eelkõige on välja toodud tugevused ja nõrgad küljed funktsionaalsuse seisukohast. Tulemused esitatakse tabelina ning hinnatakse 5-pallisüsteemis. Punktid ühest viieni on omaduste hindamiseks jaotud nii, et hinne „1“ märgib tähtsuselt kõige halvemat ja hinne „5“ parima kaaluga kriteeriumi. Tulemusest võetakse aritmeetilised keskmised, ning valitakse kõige sobivam lahendus arvestades saadud punkte. Hinded on esitatud võrdlustabelis 3.1.

Tabel 3.1. Lisavarustuse projekteerimist mõjutavad tegurid

	Lahendus 1	Lahendus 2	Lahendus 3
Tootmise keerulisus	2	3	4
Kompaktne konstruktsioon	5	5	4
Kogukaal	2	3	4
Paigaldamise mugavus	4	3	3
Koormustaluvus	1	2	4
Elektriliste ja liikuvate komponentide kaitsmine	2	5	5
Tootmise hind	1	2	3
KOKKU	17	23	23

Erinevad projekteeritud mudelid näitasid, et ei ole ideaalset lahendust. Tuleb leida kompromiss kahe peamise faktori, funktsionaalsuse ning valmistustehnoloogia lihtsuse vahel. Et saavutada maksimaalne funktsionaalsus võimalikult väikeste tootmisressursside abil, tuleb valida kõige sobivam lisavarustuse ülesehitus ehk kontseptsioon.

Materjali valikul lähtutakse asjaolust, et kast ise peab kindlasti kaaluma vähem kui 4 kg, mis erinevatel tootjatel jääb samade gabariitmõõtude piiresse, sest käesolevas töös projekteeritud lisavarustuse kogukaal peab jääma 6 kg piiril.

Järgnevas loetelus on välja toodud peamised töö käigus ilmnunud murekohad võrreldes algkontseptsiooniga:

- Akutrelli ja hammasratta paigutus ei võimalda paigaldada rattakaitsmeid
- Jõuallika liikuvad osad (hammasratas, kett) on avatud ja võivad kahjustada juhi
- Hoova vaba liikumise amplituud on liiga suur
- Gaasi regulaatoril on lõtk sees ja gaasi vajutamise suhe on liiga suur, järsul gaasiandmisel võib juht rattalt kukkuda



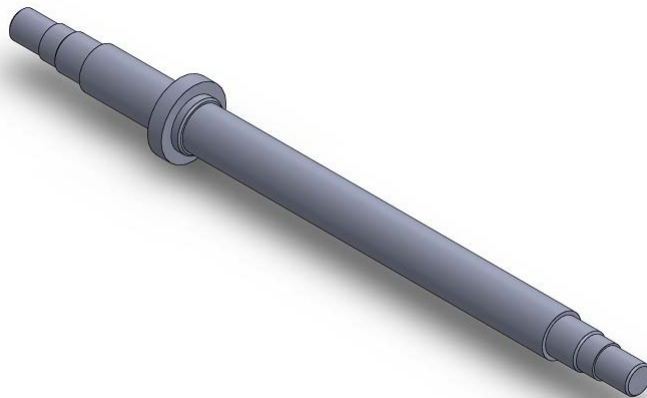
Sele 3.4. Komponentide algne paigutus

Toiteallikas on paigaldatud liiga palju paremale poole (vt Sele 3.4) ja seetõttu ei ole seda võimalik täielikult niiskuse ja pori eest kaitsta. Toiteallikas tuleb nihutada 40 cm võrra keskme poole, selle ülesande täitmiseks tuleb uuesti projekteerida järgmised komponendid:

- alumine võll
- akutrelli kinnitused
- alumine metallkinnitusplaat
- MDF-alusplaat

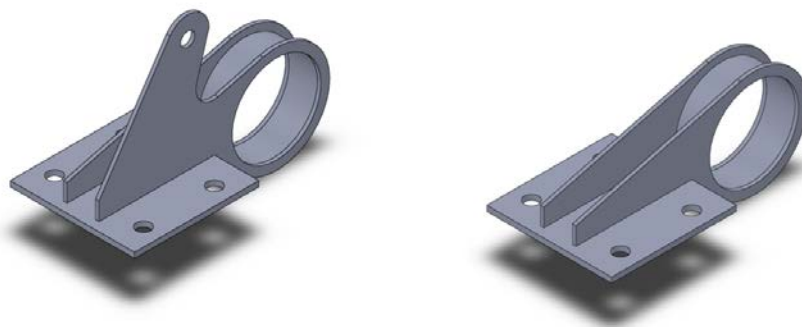
Komponentide joonised on toodud Lisas 8.1, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5. Komponentide tootmiskulud ei ole arvestatud lisavarustuse hinna sisse, ent nende valmistamise hind arvutatakse välja ja lisatakse katsetava prototüübi modifitseerimise maksumusele, et hinnata oleva projekti kasumlikkust.

Uus alumine võll (vt Sele 3.5) treitakse S235 EN 10210-1 standardile vastava terase ümartoruprofiilist.



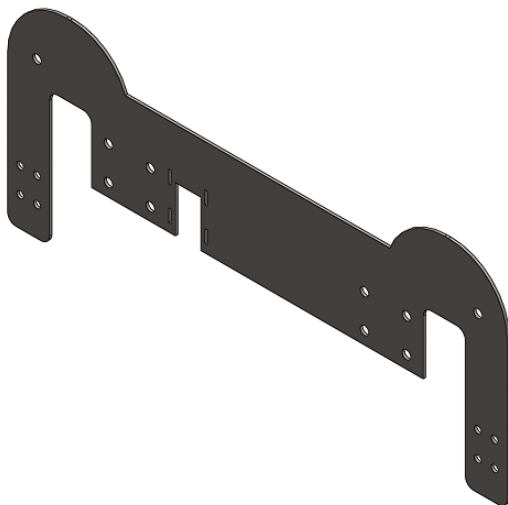
Sele 3.5. Alumise võlli 3D-mudel

Akutrelli alumised kinnitused (vt Sele 3.6) on koostedetailid, mis valmistatakse laserlõigatud EN 1.7218 standardile vastava lehtmetailtoorikutest paksusega 2 mm, mis on keevitatud kokku TIG-keevitusega.



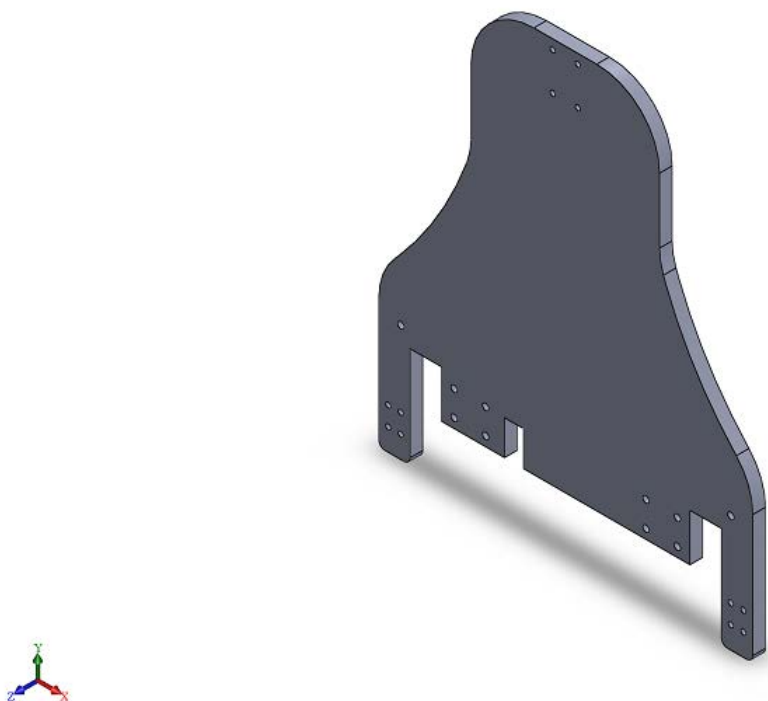
Sele 3.6. Akutrelli alumiste kinnituste 3D-mudel

Tõukeratta uus alumine agregaatide kinnitusplaat (vt Sele 3.7) valmistatakse S235 EN 10210-1 3 mm paksusega lehtmetailist.



Sele 3.7. Tõukeratta alumise kinnitusplaadi 3D-mudel

Alumise kinnitusplaadi uus kontseptsioon eeldab, et MDF-alusplaat modifitseeritakse samuti. (vt Sele 3.8) Uuel lahendusel valitakse samasugune tooriku materjal, mis oli pakutud analüüsitaval tõukerattal. MDF on eelistatud teiste komposiitmaterjalide ees tänu väiksemale omahinnale ja lihtsama valmistamistehnoloogiale.



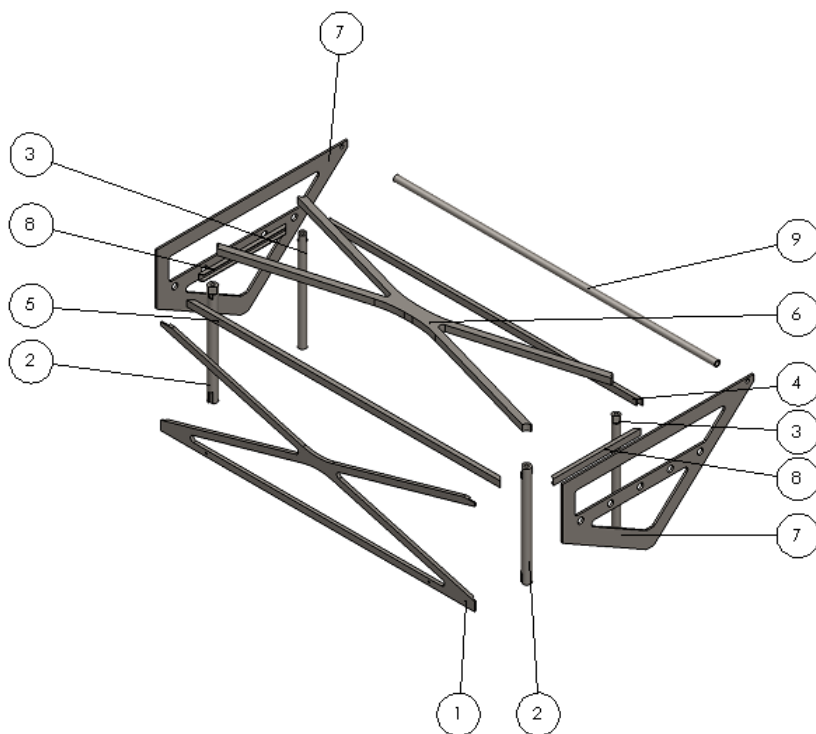
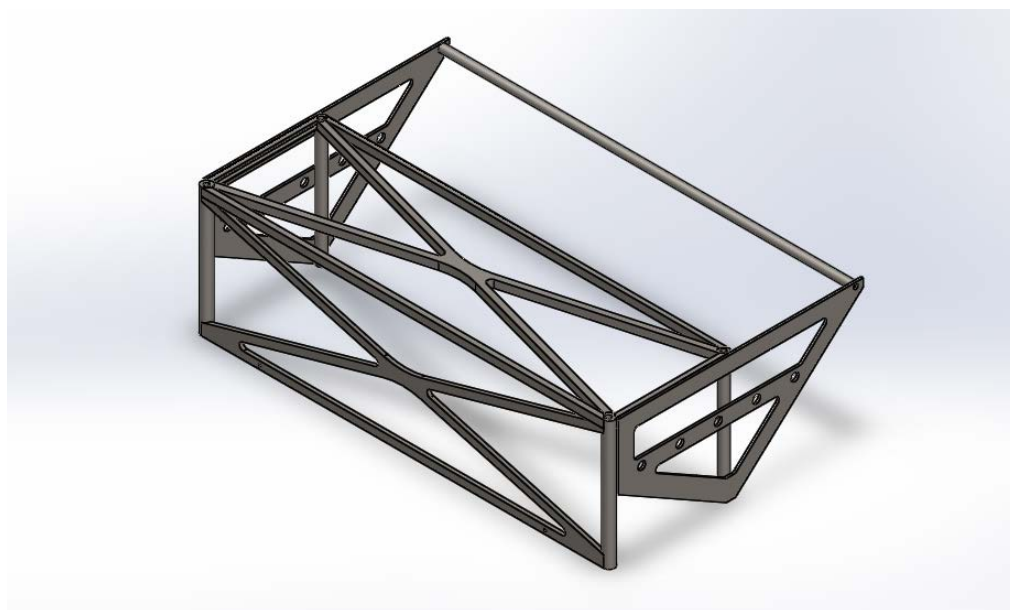
Sele 3.8. Tõukeratta MDF-alusplaadi 3D-mudel

3.2 Lisavarustuse projekteerimine

Eelmine peatükk näitas, kuidas peaks tõukeratas koos lisavarustusega välja nägema, sellistest andmetest projekteeritakse lisavarustuse osad, arvestades tingimuste ja kasutusteguritega. Esimesena hakatakse projekteerima toruraami, teisena kasti ja viimasena juhiistet.

3.2.1 Toruraami projekteerimine

Toruraami projekteerimisel arvestatakse sellega, et raam peab olema piisavalt tugev, et kannatada juhi kaalu koos veetavate kaupadega. Raam valmistatakse metall toru-, U- ja nelikanttoru-profiilidest ja keevitatakse kokku TIG-keevitusega. Keerulisema kujuga raami osad lõigatakse laserlõikusega lehtmetailterasest. Raam koosneb 13 komponendist (vt Sele 3.9) ja raami arvutatud kaal on 3,14 kg, kui kasutada P295GH EN10028-2 standardile vastavat teras. Raam kinnitub tõukeratta alusplaadile 4 poldiga, mis keeratakse toetusjalgade sisse tõukeratta alusplaadi alumiselt poolelt. Toetusjalad (nr 2, 3) lõigatakse ümartoruprofiilidest, freesitakse vajaliku kuju saatmiseni ja keermestatakse. Detail nr 7 valmistatakse lehtmetailterasest. Detail nr 9 valmistatakse ümartoruprofiilist. Ülejäänud komponendid on valmistatud U-toruprofiilidest. Pärast kokkupanemist kaetakse toruraam värvikihiga, et takistada roostetamist ja anda esinduslik välimus. Värvitoon valitakse kliendi soovil.



Sele 3.9. Toruraami 3D-mudel ja koosteskeem

3.2.2 Pakiraami kasti projekteerimine

Antud lõputöö käigus otsustati projekteerida kast iseseisvalt, sest et ei ole võimalik leida sobivat valmistoodetud varianti antud ülesanne lahendamiseks.

Kasti küljed ja alus valmistatakse laserlõigatud P295GH EN10028-2 standardile vastava terasest. Kasti põranda lehtmetsalli paksus on 3 mm ja kasti seinad lõigatakse 2,5 mm paksusega lehtmetsallist. Pärast need keevitatakse kokku TIG keevitusega. Kastiseinade siseosad valmistatakse ABS-plasti lehest, mille paksus on 1,5 mm. Plastik ja metall komponendid pannakse kokku ja liimitakse kahekomponentse LOCTITE EA 9309.3NA AERO kontaktliimiga. (vt Sele 3.10) Loctite liimi valik on tingitud liimi headest sidestusomadustest.

LOCTITE EA 9309.3NA AERO

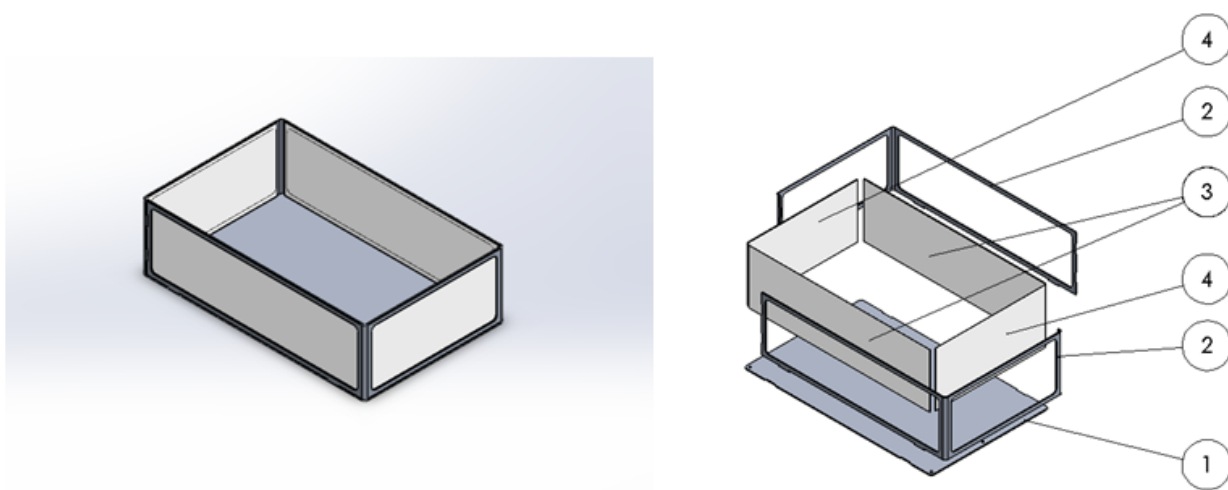
(Known as Hysol EA 9309.3NA)

LOCTITE® EA 9309.3NA™ AERO Toughened two part adhesive with excellent peel strength. Contains glass beads for bondline control.

Documents	Technical Information
% Elongation @ Break	10
Compressive Strength (MPa @ 25°C)	31
Compressive Strength (psi @ 77°F)	4500
Key Characteristics	Viscosity: Medium Viscosity, Toughened, Peel Strength: High Peel Strength
Mix Ratio	100 : 22 by Weight
Number of Components	2 Part
Storage Temperature (°C)	25
Storage Temperature (°F)	77

Sele 3.10. LOCTITE EA 9309.3NA AERO spetsifikatsioon [24]

Valmistatud kasti põrandapind on 543x340 mm ja seina kõrgus on 157 mm. Kasti arvutatud kogukaal on 2,25 kg. Kasti komponentide õigesse asendisse panemisel on olemas pesad. Terve konstruktsioon koosneb 7 detailist: kastialus (nr 1), kastiseina karkass (nr 2), kastiseina küljed (nr 3, 4). (vt Sele 3.11) Ühe või enama komponenti rikkumise korral saab seda eraldi vahetada. Kastialusel on olemas 4 kinnituspunkti, mis võimaldavad seda turvaliselt fikseerida pakiraamidelt ja soovi korral eemaldada ühe tööriista abil. Veetava kauba maksimaalsed mõõtmed on 535 x 332 mm, mis rahuldab etteantud tingimusi. Kui tõukerattal kasutada istet, siis veetava paki maksimaalne kõrgus on piiratud kasti seina kõrgusega.



Sele 3.11. Kasti 3D-mudel ja koosteskeem

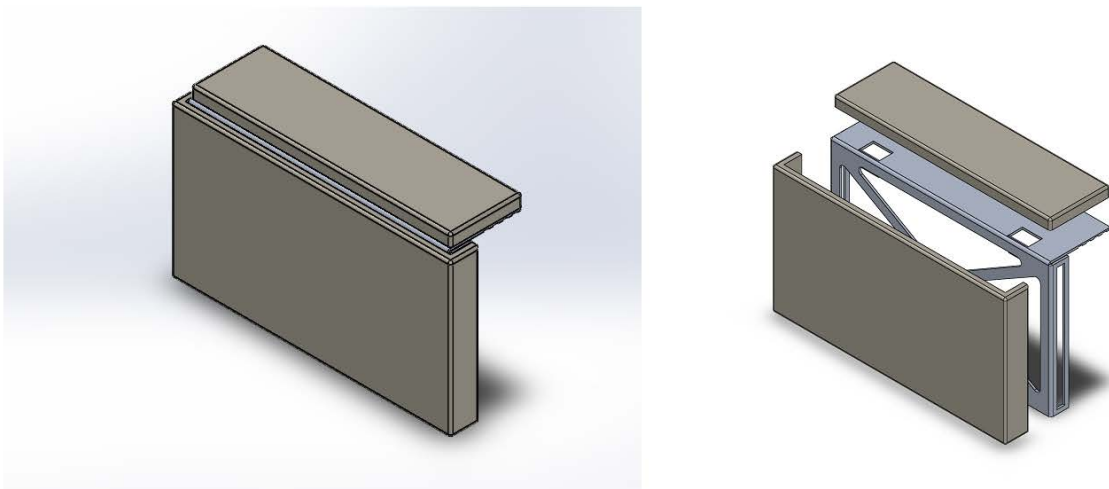
3.2.3 Tõukeratta istme projekteerimine

Tõukeratta istme raam lõigatakse laserlõikusega 3 mm P295GH EN10028-2 lehtmetsallterasest ja painutatakse etteantud kohtadel õige kuju saamiseni. Kontaktpunktid keevitatakse TIG keevitusega, seejärel kaetakse raam värvikihiga. (Sele 3.12) Istmeraam kinnitub lisavarustuse toruraamile poltidega. Kinnituspoldid valitakse nii, et oleks võimalik kasutada üht tööriista kõikide komponentide kokkupanemisel ja mahavõtmisel.



Sele 3.12. Istmeraami 3D-mudel

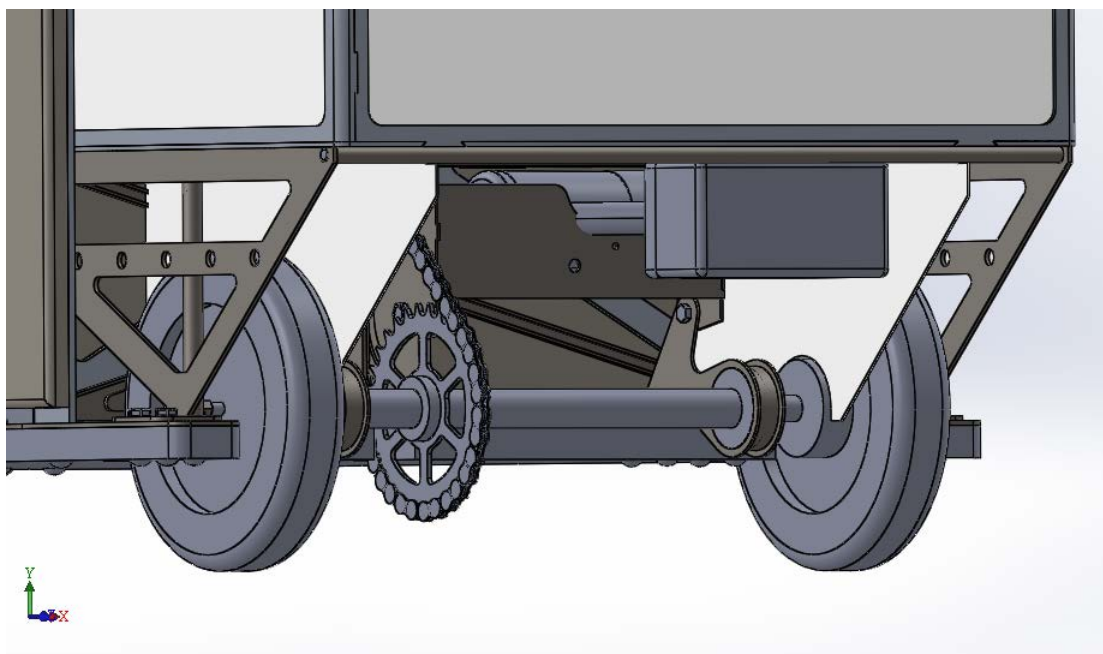
Istmeraamile paigaldatakse penoplastist pehmenduspadjad, mis on kaetud kunstnahaga. (vt Sele 3.13) Penoplasti valik on selgitatud materjali odava hinna ja väikse massiga. Algne variant oli kasutada jalgrattal istet, mille saab kinnitada tõukeratta projekteeritud istmekinnitusesele, ent esteetilise välimuse ja mugavuse tõttu otsustati sellest variandist loobuda. Istme komponentide arvutatud mass on 2,02 kg.



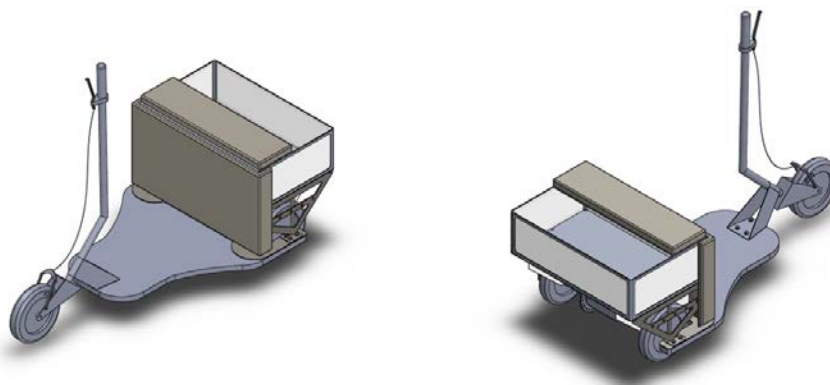
Sele 3.13. Istme komponentide 3D-mudel ja koosteskeem

Kuna pakutud lisavarustuse konstruktsioon ei võimalda praeguste kontseptsiooniga paigaldada lisakäepidet, et tõukeratas üles tõmmata, tuleb arvutada ka pinged ja deformatsioon kõige loomulikumal kohal, kui juht tahab kasutada ratast tõstmisel.

Lisavarustuse disaini lõplikul analüüsil selgus, et väline porikaitse ei oma suurt efektiivsust, kuna elektrimootori komponendid on kaitstud niiskuse eest seestpoolt paigaldatud kaitse plaatidega (vt Sele 3.14), liikuvad osad on kaitstud eespool istmega. Välimine kaitse mängib rohkem esteetilist rolli, aga kuna antud lõputöös on maksimaalne detailide valmistamise hind piiratud, tuleb sellisest variandist loobuda, et säästa kulud, see omakorda aitab vähendada kogukaalu. Lõplik projekteeritud 3D-mudel on näidatud Seel 3.15.

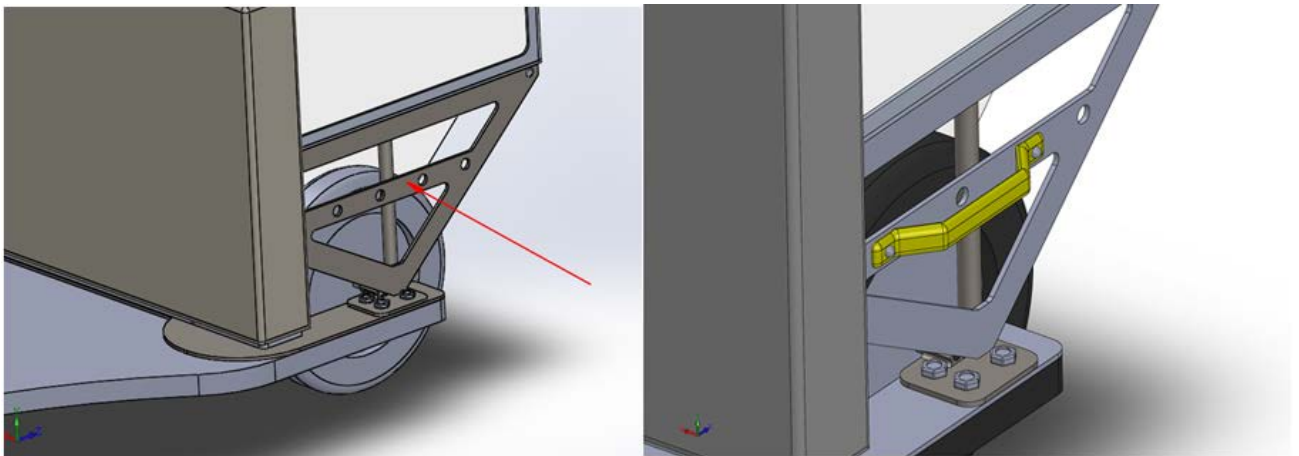


Sele 3.14. Tõukeratta sisemise porikaitse elemendi 3D-mudel



Sele 3.15. Lisavarustusega tõukeratta lõplik 3D-mudel

Sõidutakistuse, mille kõrgus on rohkem kui 200 mm, ületamiseks on soovitatav tõsta tõukeratast kahekesi, kasutades käepideme, mis on võimalik paigaldada küljetoetusplaadile. Käepideme parem paigaldamise koht on tähistatud noolega. (vt Sele 3.16)



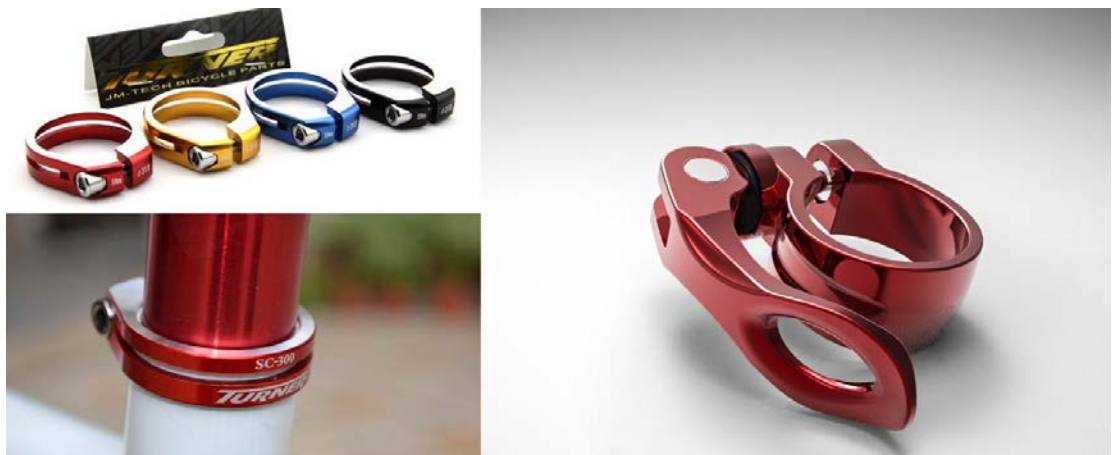
Sele 3.16. Tõukeratta käepide paigalduskoht

3.2.4 Lisavarustuse paigaldamisega seotud muudatused

Tõukeratta uus kontseptsioon eeldab, et juht istub sõiduajal (vt Sele 3.17), selleks et sõit oleks ohutum ja mugavam, on vaja ümber ehitada juhthoob. Istumise ajal on loomuliku käeasendi saavutamiseks soovitatav juhtimishoova pikkust vähendada, samas kui juht seisab, peaks juhthoob olema pikem. Probleemi lahenduseks on pakutud asendada tavahoob teleskoophoovaga ja fikseerida liikuvad osad klambriga, nagu kasutatakse tavaliselt jalgratastel (vt Sele 3.18). Klambri disain hõlbustab juhthoova pikkuse kiiret muutmist tööriista kasutamata ja komponentide turvalist fikseerimist.



Sele 3.17. Juhi sõiduasend istudes



Sele 3.18. Fikseeritavad toruklambrid [25]

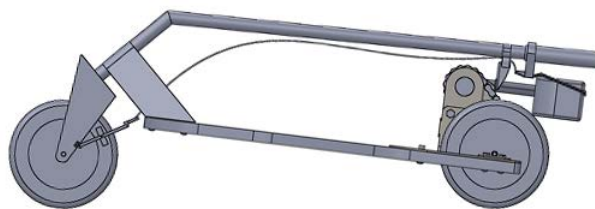
3.2.5 Tõukeratta transportimine

Vajaduse korral saab tõukeratast transportida omal jõul või autoga. Juhthoova pööramise amplituud võimaldab seda pöörata nii, et see ei takistaks tõukeratta auto pakiruumi laadimisel ega mahatõstmisel. Peamise probleemi, et juhthoob pole „transpordi asendis“ fikseeritud, lahendamiseks soovitatakse kasutada Thule kinnitusrihmasid, millel on kiire lukustusvõimalus (vt Sele 3.19) ja mida kasutatakse jalgratta kinnitamisel auto peal. Tootja on määratletud, et antud rihm kannatab ohutult kuni 40 kg kaalu, mis on tõukerattal kasutamiseks mõistlik, arvestades, et tõukeratta mass koos lisavarustusega ei ületa 30 kg. Esmalt oli idee paigaldada tõukerattale lehtmetailist projekteeritud kinnituskronstein. Väga keerulise disaini ja valmistamistehnoloogia tõttu otsustati sellisest variandist loobuda. Üks oluline aspekt on Thule pakutava variandi suhteliselt odav hind ja uue elemendi kättesaadavus purunemise korral.



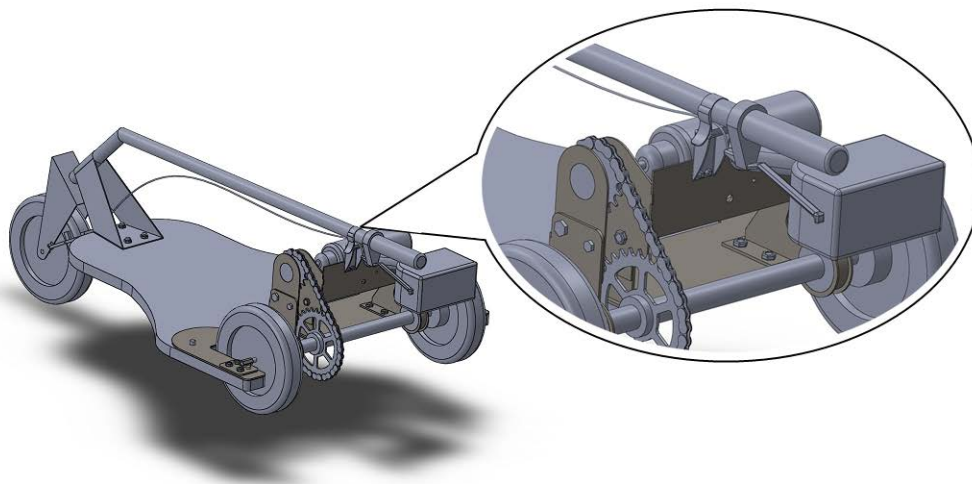
Sele 3.19. Thule kinnitusrihm [26]

Transpordiasendis tõukerattal on järgmised gabariitmõõdud: 1064x595x387 mm. Tavalise sedaankerega sõiduauto pagasiruumi mõõdud on minimaalselt 1500x1000x500 volditud istmetega, seega on antud tõukeratast võimalik probleemideta transportida enamustel tänapäeval müügis olevate sõiduautodega. Tõukeratta juhthoova transpordiasend on näidatud Seel 3.20.



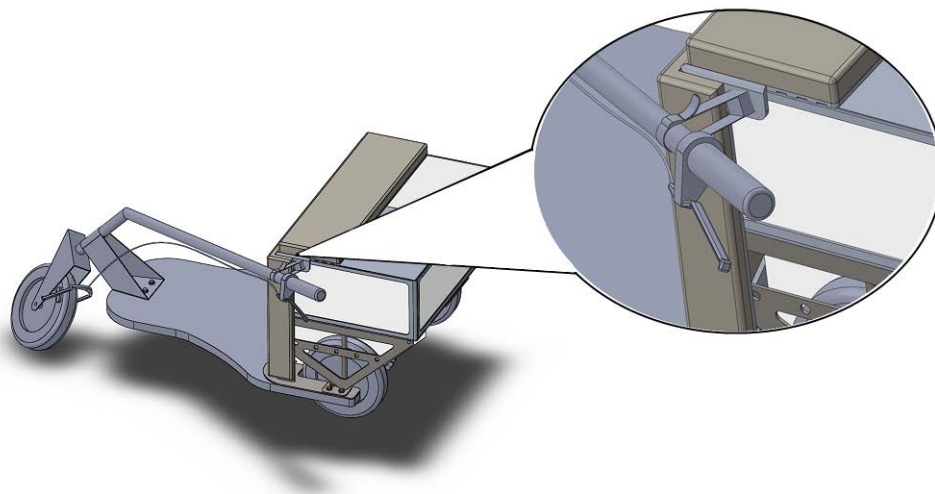
Sele 3.20. Tõukeratta juhthoova positsioon „transpordi asendis“, 3D-mudel

Kinnitusrihma fikseerimiseks tõukerattal on projekteeritud kinnitus, mis kinnitatakse tõukeratta raamile poltidega, vajaduse korral seda saab eemaldada. Tõukeratta juhthoova fikseerimise printsiip on näidatud Selet 3.21.



Sele 3.21. Juhthoova fikseerimine rihmaga tõukerattal, 3D-mudel

Lisavarustuse paigaldus vähendab oluliselt juhthoova parema fikseerimisasukoha leidmist. Autoga transportimisel saab lisavarustuse tõukerattalt maha võtta, ent väiksemate takistuste ületamisel on lisavarustuse mahavõtmine ebamugav, tuleb projekteerida juhthoova kinnituselement ka lisavarustuse peale. Kõige sobilikum koht fikseerimiselementide paigaldamiseks on istmeraam. Juhthoob fikseerub rihmaga istme raami küljele. Tõukeratta juhthoova fiksatsiooniprintsiip on näidatud Selet 3.22. Thule kinnitusrihmade kasutamise eelis on väike kaal, tugev ja lihtne konstruktsioon. Samuti ei takista se sõidu ajal liikumist ega tekita lisamüra, võrreldes metallist valmistatud kinnituselementidega.



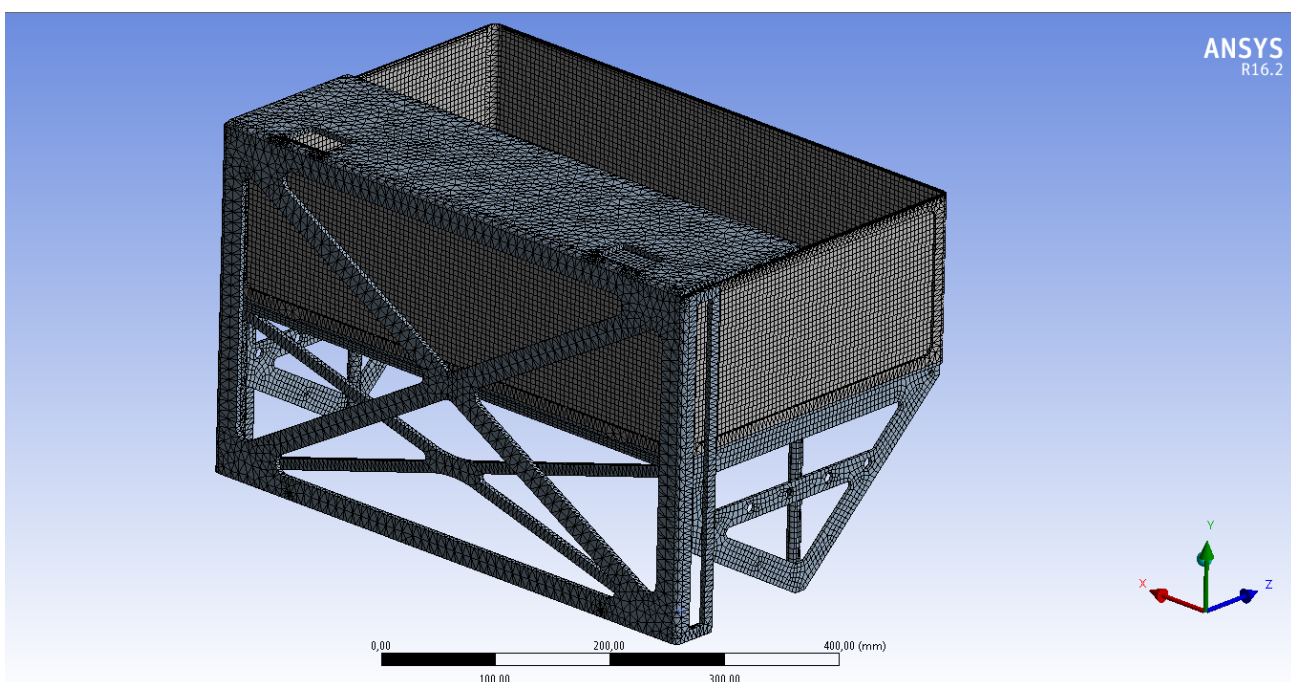
Sele 3.22. Juhthoova fikseerimine rihmaga tõukerattal koos paigaldatud lisavarustusega, 3D-mudel

3.2.6 Projekteeritud lisavarustuse tugevusanalüüs

Kasti kinnituselemendid läbivad tugevusanalüüsi, et selgitada välja, millised võivad olla kitsaskohad ja mida saab probleemi lahendamiseks parandada. Tugevusarvutuste tegemiseks kasutatakse ANSYS 16.2 tarkvara. Tugevusanalüüsi tegemiseks on vaja paika panna kaks põhiparameetrit: materjali omadused ning koormused. Materjali omadustest on siinkohal tähtis teada just mehaanilisi omadusi.

Tugevusanalüüsi tegemiseks peab teadma täpselt materjali omadusi, et saada aru, kui suured pinged võivad viia materjali purunemiseni. Voolavuspiir on materjali tugevusnäitajatest see suurus, mida ületades on deformatsioonid materjalis jäädavad ehk materjal deformeerub. Deformatsiooniga detail on samaväärne purunenud detailiga. Veel on vaja tugevusanalüüsiks täpselt teada, milline on detaili funktsionaalsus, et analüüsi tehes kasutataks õigeid ühendusviise ja piiranguid. Pingete kõrval on väga oluline ka detailide läbipaandumine. Et tulemuseks oleks võimalikult kerge detail, peab kasutatav materjal olema väga hea massi-tugevuse suhtega.

Analüüsi esimene ülesanne on detailide materjali määramine. Kui materjal on määratud, defineeritakse võrgustiku omadused (ingl k *Mesh*). Pingete tekkimise kohas on otstarbekas teha võrgustik tihedam – see muudab tulemuse täpsemaks. (vt Sele 3.23)



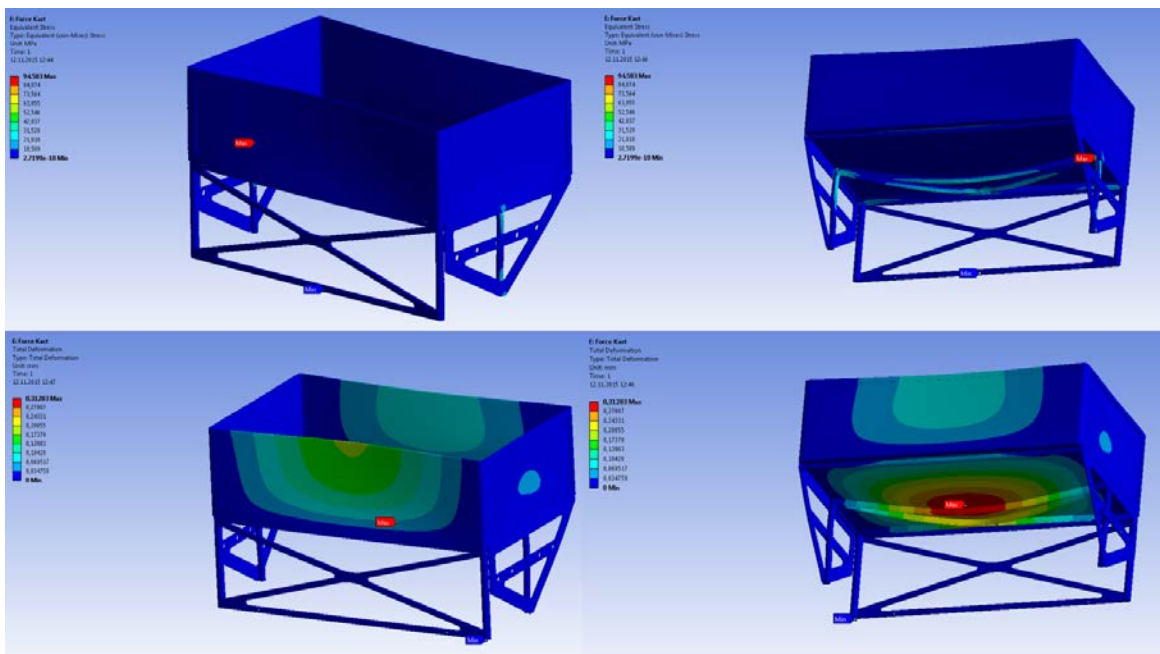
Sele 3.23. Analüüsitava objekti võrgustiku näide

Kuna tegemist on koostedetailidega, siis kõigepealt rajatakse tingimused, kuidas detailid ja nende komponendid on omavahel seotud. Näiteks ühe detaili otsapind on kontaktis teise detailiga. Seejärel rakendatakse jõud soovitud pinnale ja arvutatakse tulemused, koormuse mõjumissihid on esindatud Tabelis 3.1. Maksimaalne koormuse väärtus on võetud 980 N.

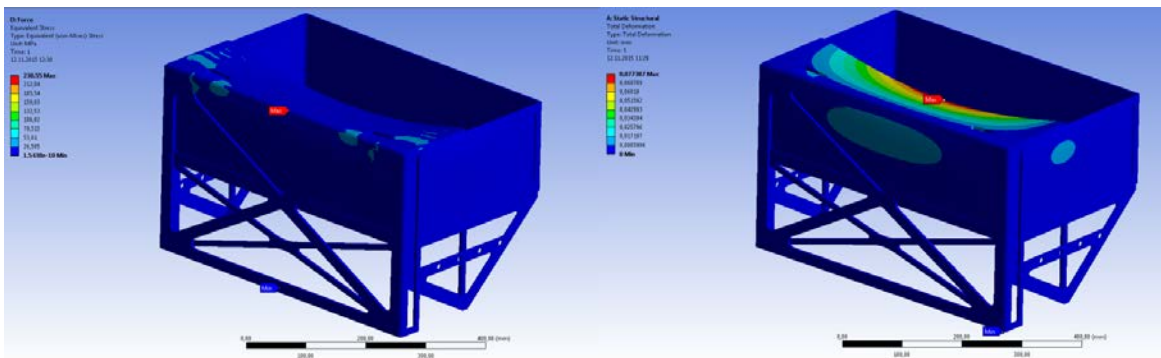
Tabel 3.1. Koormuse mõjumise sihid

Element	Mõjumise sihid		
Toruraam	X	Y	Z
Iste	X	-	Z
Kasti põrand	-	-	Z
Kasti seinad	X	Y	Z

Tugevusanalüüsi esimeseks sammuks on maksimaalsed pinged lisavarustusel 94,58 Mpa. Deformatsiooni suurus on maksimaalselt 0,31 mm suurune. (vt Sele 3.24)



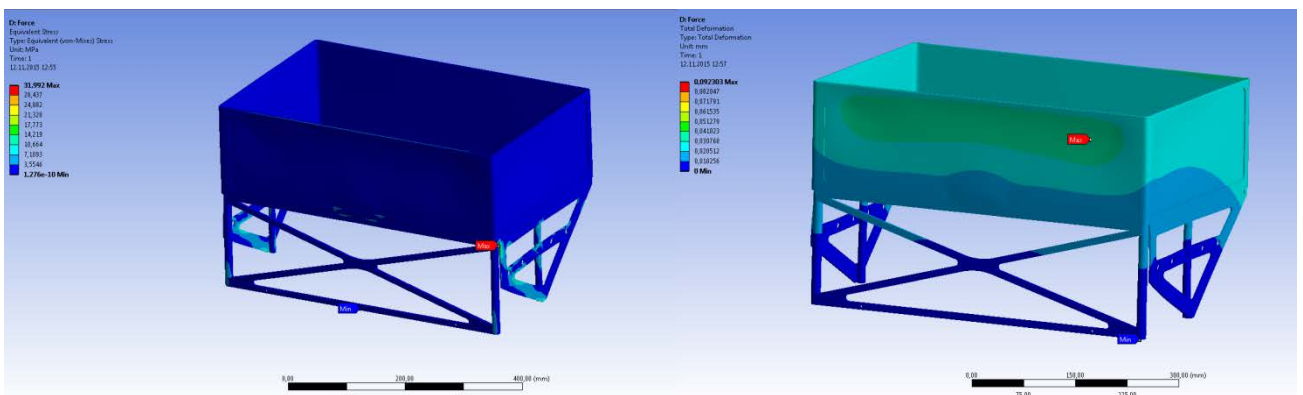
Sele 3.24. Ekvivalentsed sisepingete ja deformatsioonide koormuskeem esimesel katsel



Sele 3.25. Ekvivalentset sisepingete ja deformatsioonide koormusskeem teisel katsel

Tugevusanalüüsi teiseks sammuks on maksimaalsed pinged lisavarustusel 238,55 Mpa. Deformatsiooni suurus on maksimaalselt 0,08 mm suurune. (vt Sele 3.25). Maksimaalsete pingete tekkimise asukoht on iste raami juhi istumise koht.

Tugevusanalüüsi kolmandaks sammuks on maksimaalsed pinged lisavarustusel 31,99 Mpa. Deformatsiooni suurus on maksimaalselt 0,09 mm suurune. (vt Sele 3.26). Kuna sellel koormusel deformeeruvad kohad ei ühti suurte pingete asukohaga siis järeldatakse, et tegemist on elastse deformatsiooniga.



Sele 3.26. Ekvivalentsete sisepingete, pingete ja deformatsioonide koormusskeem koostel

Järeldused:

Arvutuste järgi peab toruraam erinevate koormusjuhtudele vastu. Esialgne oletus, et kasutada tuleks laserlõigatud komponente, ei pidanud paika. Tugevusarvutuste käigus selgus, et piisava tugevuse annab 10x20x2 U-profiilidest, 140 mm ümarprofiilidest ja 3 mm lehtmetailist valmistatud toruraam. Pleki paksuse suurendamisega suureneb ka märgatavalt kogu lisavarustuse mass, mis ületab ette antud massi piiri 1,81 kg võrra, aga see on üks oluline kriteerium, et konstruktsioon oleks vastupidav.

Kuna pakutud lisavarustuse konstruktsioon võimaldab praeguste kontseptsiooniga paigaldada lisa käepide, et tõukerattas üles tõmmata, tuleb arvutada ka pinged ja deformatsioon kõige loomulikum kohal, mis juht hakkab kasutada ratta tõstmisel. Käepide kinnitus plaat võimaldab üles tõmmata kuni 100 kg kaalu, mis on täiesti piisav arvestades et tavaline inimene ei saa tõsta kaalu, mis ületab seda väärtust. Lisavarustusel võivad tekkida kuni 239 Mpa suurused pinged. Kui vaadata materjali algandmeid [27] siis sealt võib välja lugeda, et P295GH EN10028-2 terase voolavuspiir on 295 Mpa. See aga tähendab, et oht materjali deformatsiooniks antud juhul on madal. Lisavarustusel tekib seega $295/239 = 1,23$ kordne varutegur.

3.2.7 Võimalikud uued kontseptsioonid

Võib vaadata mitmeid võimalusi, kus pagasiraam on valmistatud eri materjalidest (plast, teras, komposiitmaterjalid), arvestades ka hinna, kaalu ja tugevusega.

Kasti asemel võib kasutada erinevate tootjate pakutavaid sahtleid ning kaste. Üks variantidest on kasutada tugevdatud niiskuskindlaid sahtleid ettevõttelt Peli. Parim sobilik variant on kasutada mudelit „CL1713-0403 Single Lid Case“ (vt Sele 3.27)



Sele 3.27. CL1713-0403 Single Lid Case pilt [28]

Tänu väikesele kaalule ja tugevale konstruktsioonile sobib pakutud variant etteantud projekteerimistingimustega. Oluline aspekt on see, et kasti saab eemaldada ja kasutada eraldi tööriistade ja muu kauba vedamiseks. Tugev käepide parandab mugavust töökeratta tõstmisel, kui sahtel on kinnitatud raamile. Kõrge hinna tõttu antud varianti käesolevas lõputöös ei vaadelda.

3.2.8 Nõuded juhi ja sõitja varustusele

Töökeratta kontseptsioon eeldab, et seda kasutatakse sisetuningimustes, ent võivad tekkida olukorrad, kus on vaja liikuda avalikel teedel. Töökeratta avalikel teedel kasutamisel tuleb kohaldada järgmised muudatusi, et liikur vastaks Eesti Vabariigis mopeedi kategooria sõidukile esitatud nõuetele [29]

Nõuded juhi ja sõitja varustusele ning sõidukile:

- Teel jalgrattaga, tasakaaluliikuriga ja pisimopeediga sõitmisel peab alla 16-aastane juht kandma kinnirihmatud jalgratturikiivrit. (§ 31 lg 1)
- Teel jalgrattaga ja pisimopeediga sõitmisel peab alla 16-aastane sõitja kandma kinnirihmatud jalgratturikiivrit. (§ 30 lg 6)
- Jalgratturikiiver peab vastama standardi EVS-EN 1078 «Kiivrid jalgratturitele ja rulade ning rulluiskude kasutajatele» nõuetele. (§ 11 lg 3)

Pisimopeedi varustusele on kehtestatud täiendav nõue, et pisimopeedil peavad olema helkurid ees ja taga, olenemata sellest, kas kasutatakse tulesid või mitte. Selliselt välistatakse olukord, kus pimedal ajal või halva nähtavuse korral tulede rikke korral ei ole pisimopeed teistele liiklejatele nähtav. Punase helkuri kasutamisel taga on juht pimedal ajal või halva nähtavuse korral paremini nähtav, mis vähendab talle otsasõidu ohtu. Kollase kodarahelkuri asemel võib kasutada ka valget helkurit.

Kuna seaduses ei ole reglementeeritud, millisel kaugusel maapinnast peavad taga- ja esihelkur paigaldatud olema ja millise kujuga need peavad olema, on pakutud välja kasutada universaalseid ümaraid helkureid (vt Sele 3.28).



Sele 3.28. Võimalik helkurite paigalduse lahendus

Antud lõputöös soovitatakse kasutada ümaraid valgeid, kollaseid ja punaseid helkureid peegelduspinna läbimõõduga 77 mm, mis on enam pakutav variant ning on kättesaadav enamikus spetsialiseeritud poes.

3.2.9 Võrdlus teiste liikuritega

Kõige lähedasem avalikel teedel kasutatav liikur, mis on keskkonnasõbralik ja sarnaste gabariitmõõtmetega on kolmerattaline jalgratas nii elektrimootoriga kui ka ilma. (vt Sele 3.29)



Tehniline info

- Jalgratta laius: 75 cm
- Jalgratta pikkus: 175 cm
- Jalgratta kaal: 28 kg
- Korvi mõõtmed 45x56x29cm
- Tootjamaa: Taiwan
- Max kasutaja kaal: 120kg



Sele 3.29. Kolmerattaline jalgratas ja elektrimootoriga varustatud jalgratas [30][31]

Järgmisena on toodud võrdlustabel oluliste parameetritega.

Tabel 3.2. Kolmerattaliste liikurite võrdlustabel [30] [31]

	Elektriline tõukeratas	Kolmerattaline jalgratas	Kolmerattaline elektrijalgratas
Liikuri mass (kg)	25,8	28	33
Vedav mass (kg)	150	120	130
Maksimaalne kiirus (km/h)	20	9	20
Hind (€)	-	470	1290

Kolme erineva kontseptsiooni analüüs näitas, et elektriline tõukeratas on konkurentsivõimeline teiste liikuritega ja sellel on mitmeid eeliseid võrreldes konkureeriva sõiduvahendiga:

- 20 kg suurem kandevõime.
- tõukeratta kasti disain võimaldab vedada väiksemaid objekte kui traatkorviga, mis on pakutud kolmerattalisel jalgrattal.
- Väiksem mass võrreldes kolmerattalise jalgrattaga.

Tõukerattal on ka puuduseid, väiksema ratta raadius ei võimalda kasutada tõukeratast ebahütlasel pinnasel, suurema kõrguse sõidutakistuse ületamine võib olla problemaatiline. Vähemalt kaks korda kõrgem hind kui elektriajamiga varustatud jalgrattal. Järgmisena analüüsitakse, kus saab efektiivselt projekteeritud kontseptsiooni kasutada välitingimustes ja selgitatakse potentsiaalsed kasutajad avalikel teedel.

3.2.10 Muude kasutamisevõimaluste määramine

Muu kasutusvaldkonna analüüsil oli tehtud uuring Eestis olevate ettevõtete seas, mis kasutavad sarnased liikureid linnasõidus. Uuringus selgus, et praegu puudub Eestis puudub antud transpordiliik linnasõidus kõrge hinna tõttu, ent pikas perspektiivis võiks antud transpordivahendit vaadelda kui keskkonnasäästlikku abivahendit. Eestis puudub välitingimustes tõukeratta pidevaks kasutamiseks võimalus mittesobiliku teekatete ja ilmastikutingimuste tõttu. Järgmisena vaadeldi teistes Euroopa riikides kasutatavaid liikureid, mille saaks asendada tõukerattaga. Kõige sobilikum variant on

kasutada antud liikurit posti vedamiseks Saksamaal. Kõige parem potentsiaalne kasutaja on postivedamisega tegelev ettevõtte Deutsche Post, mis kasutab posti vedamiseks välitingimustes jalgrattaid ja kärusid (vt Sele 3.30). Hea teekate ja paremad ilmastikutingimused annavad potentsiaali tõukeratta arendusele selles valdkonnas. Elektriajamiga varustatud tõukerattaga saab oluliselt säästa posti vedamiseks kulutatavat aeg võrreldes tavakäru ja jalgratta kasutamisega. Arvestades inimese keskmist kõndimiskiirust 3 km/h, ja tavajalgratta keskmine sõidukiirus 7 km/h, võib tõukerattaga sõites vähendada keskmise kiirusega 10 km/h ajakulu kuni 40%.

Oluline aspekt, millega tuleb arvestada, on ettevõtte soov kasutada kallimaid, kuid parimaid variante.



Sele 3.30. Deutsche Posti kasutatav transport [32]

3.2.11 Kasutamisiirangud

Kuna tõukeratta kontseptsioon ei ole otseselt projekteeritud, vaid võimaldab seda siiski kasutada ka välitingimustes, sest elektrilised komponendid on niiskuse eest piisavalt kaitstud. Peaprobleem tõukeratta kasutamisel, arvestades antud töö eeltoodud riskivähendamise kriteeriume, on võimalus, et juht võib kogemata vigastada ennast ja teisi. Tuleb kindlaks määrata kasutaja vanusepiirang, minimaalne liikuriga sõitmiseks vajalik sõiduoskus ja muud tegurid, mis võivad mõjutada tõukeratta ohutut kasutamist.

Liiklusseaduse olulise täiendusena on laste ohutust silmas pidades kehtestatud nõue, et alla 16-aastased lapsed peavad teel jalgrattaga ja pisimopeediga sõites kandma kinnirihmatud, standardile EVS-EN1078 vastavat jalgratturikiivrit. Sellise kohustuse lisamise eesmärk on vähendada noorte jalgratta ja pisimopeediga sõitjate peavigastusi.

Vanusepiirang ja juhiloa omamise nõue on esitatud ka pisimopeedijuhile, millega samasse kategooriasse on liigitatud ka vaadeldav tõukeratas. 14–15-aastane pisimopeedijuht peab omama jalgratturi juhiluba.

Lahenduseks on pakutud piirata antud tõukeratta kasutamisoigus alla 14-aastasele kasutajale. Üks võimalikest alternatiividest on vähendada noortele juhtidele tõukeratta mootori võimsust ja maksimaalset kiirust kuni 7 km/h.

Kuna noored kasutajad hakkavad tõenäolisemalt kasutama antud tüüpi liikurit vaba aja veetmiseks, on üks võimalik edasiarendus, projekteerida väiksemate mõõtmetega tõukeratas, mis on varustatud väiksema võimsuse ning odavama akutrelliga. Väikese võimsuse tõttu ei suuda juht antud tõukerattal saavutada ohtlikku sõidukiirust ning madalam hind muudab antud liikuri kasutusala laiemaks.

3.2.12 Prototüübi sertifitseerimine

Kui vaadelda tõukeratta kontseptsiooni müüdava tootena, peab antud toode läbima sertifitseerimisprotsessi. Vastavustunnistust on vaja nendele kaupadele või teenustele, mis mingil määral võivad mõjutada keskkonnakaitse-, inimese tervise- ja ohutusnõudeid. Tõukeratast võib vaadata suurema ohu allikana, mille väärkasutamine võib kahjustada antud liikuri juhti. Euroopa Liidus valmistatud tooted peavad olema CE-märgistusega sertifitseeritud.

CE-märgistus näitab, et toode vastab nimetatud õigusaktiga esitatud nõuetele ja selle puhul on järgitud õigusaktis sätestatud toote nõuetele vastavuse tõendamise korda. Toote nõuetele vastavust tõendab õigusaktis sätestatud juhtudel vastavussertifikaat, vastavusdeklaratsioon või vastavusmärk.

CE-märgistuse paigaldamine enne toote turule laskmist ja kasutuselevõttu on kohustuslik kõigile Euroopa Liidu liikmesriikides toodetavatele, turustatavatele või kasutatavatele toodetele, mis

võiksid kahjustada isikute ohutust, tervist, vara või keskkonda ning millele on sellest tulenevalt õigusaktiga esitatud kindlad nõuded.

Antud prototüübi sertifitseerimise protsessi võib teostada Euroopa Liidus tunnustatud asutuste abil, ja selleks tuleb valmistada vähemalt kaks test-prototüüpi.

4 MAJANDUSLIK ARUANNE

Käesolevas peatükis arvutatakse välja lisavarustuse omahind, kasutades arvutustes reaalseid kuluallikaid ja nende maksumusi. On välja töötatud tabel, mille järgi on võimalik hinnata detailide ja protsesside maksumusi.

Toote omahinna arvutamisel kasutatakse valemit [33]:

$$C_U = C_M + C_L + OH \quad (4.1)$$

Kus,

C_U - toote omahind (€tk)

C_M – materjali maksumus (€tk)

C_L – tööjõu maksumus (€tk)

C_U – tootmise üldkulud (€tk)

Tootmise maksumust arvestatakse tavaliselt kas kogutoodangu (C_p) või üksiku toote omahinna (C_U) järgi. Hinna määramisel arvutatakse kulutusi kolmes põhilises kategoorias: materjali-, tööjõu- ja üldkulud. Vaatamata sellele, et iga toote või tooterühma jaoks on oma kindlad juhised, mistüüpi kulutused tuleb ühte või teise kulukategooriasse lisada, on ettevõtetel küllalt suur vabadus toote liigi ja erinevate kuluartiklite määramiseks. Toote omahinna eesmärk on väljendada tootmises kasutatud ressursside maksumust, mille abil ettevõtte juhid saavad hinnata ja kujundada toote hinnapoliitikat.

4.1 Projekteeritud toote maksumus

Tabel 4.1. Kuluaruanne lisavarustusele 100 ühiku tootmises ja prototüüpi modifitseerimisele

Lisavarustuse Valmistamise omahind

Materjal	Kasutusala	Ühiku hind	Hulk	Ühik	Kordaja	Maksumus (€)
Lehtmetall 3,0x1250x2500 / 3,125 m ² DC01	Detail 1.003.1	73,98	100	tk	0,03	251,53
Ümartoruprofiil 14x4x1000 P295GH	Detail 1.001.1	13,41	100	m	0,32	422,42
Ümartoruprofiil 12x3x1000 P295GH	Detail 1.001.2	6,78	100	m	0,32	213,57
U-profiil 6x10x2 P295GH	Detail 1.002.1	3,13	100	m	0,29	91,65
U-profiil 6x10x2 P295GH	Detail 1.002.2	3,13	100	m	0,52	162,76
U-profiil 7x10x2 P295GH	Detail 1.002.3	2,85	100	m	1,61	459,71
U-profiil 10x10x2 P295GH	Detail 1.005.1	3,76	100	m	0,98	368,48
U-profiil 10x20x2 P295GH	Detail 1.005.1	3,24	100	m	0,06	18,79
U-profiil 6x10x2 P295GH	Detail 1.004.1	3,13	100	m	1,62	507,37
Ümartoruprofiil 10x2x1000 P295GH	Detail 1.006.1	4,69	100	m	0,54	251,85
Lehtmetall 3,0x550x350 / 0,1925 m ² 6061-T6	Kasti Alus	24,34	100	tk	1,00	2434,00
Lehtmetall 2,5x880x320 / 0,2816 m ² 6061-T6	Kasti külg	37,48	100	tk	1,00	3748,00
ABS Plastik leht 1,5x530x1000 / 0,530 m ²	Kasti Sein	46,17	100	tk	1,00	4617,00
Lehtmetall 3,0x650x500 / 0,325 m ² 6061-T6	Iste	49,65	100	tk	1,00	4965,00
Penoplast EPS	Padi	2,70	100	m2	1,00	270,00
Kunstnahk	Padi	13,20	100	m2	1,00	1320,00

Protsess

CNC 3d-freesimine	Komponentid	36,00	100	tund	0,20	720,00
Puurimine	Toetus jalad	0,60	100	tk	4,00	240,00
Keermestamine	M6x1,5	0,40	100	tk	4,00	160,00
Keermestamine	M8x1,5	0,45	100	tk	2,00	90,00
Keermestamine	M10x1,5	0,50	100	tk	2,00	100,00
TIG Keevitus	Komponentid	30,00	100	tund	1,30	3900,00
Laserlõikus	Komponentid	50,00	100	tund	0,75	3750,00
Liimimine	Kast	12,00	100	m2	3,00	3600,00
KOKKU						32662,13
Ühe komplekti						326,62

Prototüüpi modifitseerimise hind

Materjal	Kasutusala	Ühiku hind	Hulk	Ühik	Kordaja	Maksumus (€)
Lehtmetall 3,0x1250x2500 / 3,125 m ² DC01	Komponentid	73,98	1	tk	0,42	31,07
Lehtmetall 2,0x1250x2500 / 3,125 m ² DC01	Komponentid	50,05	1	tk	0,08	4,00
Ümarteras 50x500 P295GH	Alumine võll	7,77	1	tk	1,00	7,77
MDF plaat 600x700	Alusplaat	8,68	1	m2	0,68	5,90
Laserlõikus	Komponentid	50,00	1	tund	0,30	15,00
CNC Treimine	Alumine võll	45,00	1	tund	0,50	22,50
TIG Keevitus	Komponentid	30,00	1	tund	0,40	12,00
SISEKUUSKANTPOLT 8.8 ZN ISO 4762 DIN 912	Iste	1,18	1	tk	2,00	2,36
SISEKUUSKANTPOLT PEITPEA ISO 1891-8.2 D 6x30	Kast	0,52	1	tk	4,00	2,08
KUUSKANTMUTTER DIN 934-8/10/12 ISO 403	Iste, kaitse	0,16	1	tk	6,00	0,96
SEIB ISO 7089 DIN 125 M3	Iste, kaitse	0,23	1	tk	6,00	1,38
KINNITUSNURK ZN	Kaitse	0,40	1	tk	4,00	1,60
SISEKUUSKANTPOLT ÜMARPEA 10.9 ZN ISO7	Toruraam	0,40	1	tk	2,00	0,80
SISEKUUSKANTPOLT ÜMARPEA 10.9 ZN ISO7	Toruraam	0,64	1	tk	2,00	1,28
SISEKUUSKANTPOLT ÜMARPEA 10.9 ZN ISO7	Toruraam	0,91	1	tk	2,00	1,82
Toru klamber TURNER SC-300	Hoog	19,98	1	tk	1,00	19,98
KOKKU						130,51

Tabel 4.1 on koostatud Microsoft Excelis. Toote maksumus koosneb kahest tegurist: materjali maksumus ja detaili tootmise üldkulud.

Otsestele materjalikuludele lisanduvad kaudsed kulud, mis lisanduvad toote omahinna arvutamisel materjali maksumusele. Nendeks kuludeks on erinevad materjali töötlemistehnoloogiat, mille abil valmivad pooltooted või kliendile müüdav lõppdetail. Käesolevas lõputöös toodetava lisavarustuse puhul on kaudseteks kuludeks CNC-freesimine, laserlõikus, liimimine ja TIG-keevitamine. Ruukki Laser 420C lõikemasina maksimaalne lõikekiirus on 300 mm/min [34].

Ühe töödeldava detaili kogu joonpikkus on 9061,9 mm. Lehtmetallterasest toorikute lõikamine koos ettevalmistusajaga võtab aega 45 minutit. CNC-freesimisel freesitakse 4 detaili kahes paigutuses. Ühe detaili operatsiooni- ja abiajad kokku on 3 minutit. Nelja detaili CNC-töötlemine võtab aega 12 minutit. Arvestades freesingi tunnihinnaks 36 € on ühe detaili freesimine hinnaks 1,80 € Kuna lisavarustuse paigaldus nõuab tõukeratta kontseptsioonis muudatuste tegemist, arvutatakse ka tõukeratta muudetud detailide omahind. Ühe uue töödeldava komplekti kogu joonpikkus on 3583 mm. Lehtmetallterasest toorikute lõikamiseks koos abiaegadega kulub 18 minutit. TIG-keevituse kiirus on 1,5 mm/s, ühe komplekti keevitamise kogupikkus on 1240 mm, mis võtab 24 minutit koos abiajaga, et detailid kokku keevitada.

Ühe uue lisavarustusega tõukeratta arvutatud omahind 100 tõukeratta tootmisel on võrdne 972,12 € kasutades jõuallikana DeWalt akutrelli. Ühe lisavarustuse komplekti omahind on võrdne 326,62 € ainult tõukeratta omahind akutrellita on võrdne 193,82 € (vt Lisa 5, 6). Hind võib kallimaks kujuneda, kui kasutada teisi valmistamismeetodeid ning materjale. Antud tõukeratta müügihind sõltub mitmest faktorist, peamiselt soovitud kasumimarginaalist. Soovides saavutada 60%-lise kasumi, arvestades püsi- ja muutuvkulusid, korrutame omahinna 2,5ga, et saada teoreetiline müügihind, mis on võrdne 2430,00 €

4.2 Teoreetiline kilomeetri hind ja tõukeratta töökindlus

Üks oluline kriteerium isikliku transpordivahendi valimisel on selle kilomeetrihind. Ettevõtte vaatavad masinapargi kujundamisel peamiselt seda, et masin oleks vastupidav ning odav kasutada. Tõukeratta kilomeetri hinna arvutamisel tuleb arvestada ka antud liikuri amortisatsiooni kulude, päevase läbisõidu ja kasutamistingimustega. Päevane laotöötaja läbitud distants on arvatud kolme uuritava objekti keskmisena (vt Tabel 1.2) mis on võrdne 11,5 km. Ühe täislaaditud akuga saab sõita kuni 13 km keskmise kiirusega 11–12 km/h. Li-ioon aku täislaadimisel tarbitakse 0,65 kWh, arvestades laadija elektrienergia kadudega. Kwh hinnaks on võetud 0,45 € [35] Ühe aku laadimistsükli hind on võrdne 0,29 € Arvatud kilomeetri hind on 0,03 €

Tõukeratta teoreetilise töökindluse arvutamiseks on vaja teada järgmiseid parameetreid: akude, elektrimootori, kuullaagrite, rehvide ja keti elutsükli pikkust. Tootja garanteeritud elektrimootori eluaeg on 30 000 tundi täiskoormusel, Li-ioon akude garanteeritud mahtuvuse säilivus on 2000 tsükli. Muude komponentide eluaeg sõltub tootja antud tehnonõuetele, kuna antud prototüübi teistel komponentidel puudub markeering, on raske prognoosida nende elutsükli pikkust. Sarnaste tõukerastega võrdlemisel võiks eeldada, et minimaalne tõukeratta eluaeg on pideval kasutamisel vähemalt 2 aastat.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärkideks oli Tallinna Tehnikaülikooli konstrueeritava elektriajamiga varustatud tõukeratta analüüs, modifitseerimine ja lisavarustuse projekteerimine, et see oleks konkurentsivõimeline, keskkonnasõbralik ja säästlik abivahend, mis võimaldab parandada ettevõtte efektiivsust. Lisavarustuse projekteerimise eeldusteks oli ette antud tehnilistele nõuetele vastamine. Töö koostamisel keskenduti lisavarustuse projekteerimisel kolmele prioriteetsele kriteeriumile: lisavarustuse väike mass, kasutamismugavus ja võimalikult madal valmistamishind.

Lõputöö on pannud aluse turu ja tõukeratta kontseptsiooni uuringule, et saada ettekujutust, millised detailid tuleb modifitseerida, et pakkuda paremat lahendust. Lõputöös käsitletakse etappe, mis tootearenduse seisukohast on vajalikud lisavarustuse projekteerimiseks ning analüüside ja arvutuste läbiviimiseks.

Tõukeratta dünaamika analüüs näitas, et antud tõukerattaga on võimalik turvaliselt sõita kiirusega kuni 14 km/h, ja ühe täislaaditud akuga läbida kuni 15 km sõites keskmise kiirusega. Kasutades sõitmiseks maksimaalset kiirust (20 km/h) on arvutuslikuks sõiduulatuses kuni 9 km. Sõidupositsiooni muutumisega läbitud distantsi saab pikendada kuni 4 km võrra. Pagasi kaasavõtmisel maksimaalse massiga 25 kg väheneb läbisõit vähemalt 2 km võrra. Prototüübi pidurdussüsteemi analüüs näitas, et ainult ühest pidurdavast rattast piisab, et tõukeratast oleks võimalik peatada. Lisavarustuse paigaldus eeldab tõukeratta varustamist pidurdussüsteemiga kõikidel ratastel. Esipiduritega varustatud tõukeratta pidurdustekond maksimaalsest kiirusest täieliku peatumiseni on võrdne 7 m kuival teekattel sidestusteguriga 0,7. Kõikide rataste pidurdamisel saab pidurdustekonna pikkus väheneda kuni 5 m võrra. Märjal teekated on pidurdustekonnad kasutades pidurdussüsteem kõikidel ratastel parem 9 m võrra.

Järgnevalt valmistati gabariit-makett ja tehti katsed lisavarustuse gabariitmõõtmete leidmiseks ja parema ergonoomika saavutamiseks. Esialgsete arvutatud andmete järgi oleks pidanud kast olema mõõtmetega 600x600x250 mm. Testimise käigus leiti, et selliste mõõtmega kasti ei ole võimalik paigaldada, kuna kasti kõrgus takistab mugavalt tõukerattaga sõita ja tõukeratta kontseptsioon ei võimalda ohutult paigaldada selliste mõõtmetega kasti. Katseliselt oli leitud kõige parema variandina kasutada kasti mõõtmetega 543x340x158 mm, mis on piisav, et vedada turvaliselt

väikeseid esemeid massiga 25 kg, mis oli üks antud lõputöös seatud kriteeriumeist. Sellest infost lähtuvalt koostati esimene 3D-joonmudel SolidWorks CAD-programmi kasutades. Selle mudeli eesmärk oli esialgse kuju loomine. Järgmisena koostati erinevate lahenduste 3D-mudelid, millest valiti parim lahendus, lähtudes hinna ja tootmisprotsessi parimast tulemusest. Projekteerimisel selgus, et ei ole võimalik valmistada lisavarustuse väikese massi ja tugeva konstruktsiooniga komponente, arvestades, et need oleksid vabalt kättesaadavad ja madala hinnaga. Arvutatud lisavarustuse lõplik lahenduse komponentide mass on 7,81 kg, mis on 1,81 kg suurem, kui planeeritud 6 kg piir, aga see on sellegipoolest hea tulemus. On tekkinud probleeme kasti disaini valimisega. Praegu ei ole Eesti turul sobivat varianti, mis vastaks kõikidele nõuetele, erinevatel müügil olevatel kastidel on püstitatud ülesande täitmiseks ebasobivad mõõdud või ebamugav konstruktsioon. Kõige sobilikum variant on kasutada tugevdatud Peli sahtleid, ent nende hind on oluliselt suurem kui antud töös planeeritud eelarve ning need sahtlid ei ole vabalt kättesaadavad, vaid tuleb ette tellida. Seetõttu otsustati projekteerida kast iseseisvalt. Projekteeritud kasti valmistamise omahind on 2 korda väiksem kui ostetud Peli tootel. Eelarve summat silmaspidades on mõistlikum kasutada projekteeritavat kasti.

Istekoha projekteerimisel oli algseks ideeks kasutada tavajalgrattaistet. Töö käigus selgus, et sellise istme kasutamine on ebamugav kasutajale ja istme kinnitust ei ole võimalik paigaldada nii, et see oleks hea fikseerimisvõimalusega, atraktiivse disainiga ja odava hinnaga. Selle asemel projekteeriti uus istmekontseptsioon, mis on autori arvates mugavam kasutada ja odavam toota. Projekteeritava lisavarustuse analüüs näitas, et tuleb teha muudatusi tõukeratta algses kontseptsioonis, et efektiivselt rakendada uusi lisaseadmeid. Tuleb uuesti projekteerida kuni 60% tõukeratta elemente.

Lisavarustuse majandusliku analüüsi tulemusena selgus, et etteantud lisavarustuse hinna piires, mis on võrdne 200 € ei saa valmistada detaile nii, et need vastaksid tugevusnäitajale ja oleksid mugavad kasutajale, kasutades materjale, mis on kergesti kättesaadavad. Lisavarustuse arvutatud omahind on võrdne 326,62 € mis ületab etteantud hinna 126,62 € võrra, sellele hinnale lisanduvad ka prototüübile vajalike muudatuste tegemise kulud, et lisavarustust oleks võimalik paigaldada ja tõukeratas oleks kasutamiskõlblik. Arvutatud hind tõukeratta modifitseerimisele on 130,51 € Ühe uue elektrilise tõukeratta arvutatud omahind koos lisavarustusega on võrdne 972,12 € Müügihind sõltub tootja soovitud kasumimarginaalist, ent enamasti on see võrdne kahekordse omahinnaga, mis teeb tõukeratta müügihinnaks vähemalt 2000 €, mis on üsna suur summa, ent on odavam, kui praegu turul olev parim pakutav variant. Projekteeritava lahenduse rentaabluuse saavutamisel tuleb müüa

vähemalt 100 ühikut aastas. Parem alternatiiv on arendada antud kontseptsiooni teistes Euroopa riikides, kuna Eestis ei ole projekti alustamiseks piisavalt huvitatud ettevõtteid.

Tõukeratast saab peamiselt kasutada kinnistes hoovides, millel on tasased teekatted, on madala niiskusega ja varustatud elektripesadega. Rataste suurus ei võimalda kasutada tõukeratast pidevalt ebahühtlasel pinnal, kuna kliirens on liiga madal, samuti tuleb arvesse võtta juhi sisetunne pideva madala sagedusega vibratsiooni tõttu.

Potentsiaalse kasutaja vanusepiirangu analüüs näitas, et antud liikuriga ei ole soovitatav sõita alla 16-aastastel juhtidel. Mootori suur võimsus ja maksimaalne kiirus võivad kogemata põhjustada juhi vigastustega lõppevaid õnnetusi. Alla 16-aastastele juhtidele on soovitatud projekteerida väiksema mootori ja piiratud, kuni 7 km/h lõppkiirusega tõukeratas.

Autori arvates on lõputöö tulemused head. Leitud tehniline lahendus on vastupidav ja kasutab võimalikest valmistamistehnoloogiatest kõige odavamat. Lisavarustuse disain on esteetiline ja kõik komponendid saab lihtsasti eemaldada ainult üht tööriista kasutades. Lõpplahendus vastab kõikidele püstitatud eesmärkidele, välja arvatud tootmishind, kuid etteantud maksimumhinna piires ei ole võimalik teisi kriteeriume täita.

Kuna antud tõukeratta kontseptsioon on 2015. aasta seisuga ainulaadne, vaadates teise konkureeriva liikuri müüginäitajaid Euroopa riikides, võib eeldada, et antud kontseptsiooni edasiarendamine on mõistlik ja liikur on tulevikus suure potentsiaaliga keskkonnasõbralikuks transpordivahendiks kujunemisel.

SUMMARY

The objectives of this master's thesis focus on the Tallinn University of Technology designed kickbike analysis, making improvements and new component development to make this product competitive on the market. The work focused on the preparation of three key criteria for the new design of accessories: low weight, good ergonomics and lowest possible manufacturing cost.

Thesis begins with a comprehensive study of a base concept to give an idea of which components should be modified to provide a better solution. Thesis deals with the steps that are necessary in terms of product development and design enhancements, analyzes and calculations carried out.

Scooter dynamics analysis showed that driving this three-wheeled kickbike it is possible to safely achieve a maximum speed of 14 kilometers per hour, and drive maximum range of 15 kilometers using a single fully loaded battery. Driving constantly with a maximum speed of 20 kilometers per hour reduces mileage to 9 kilometers. Changing driving position can help increase mileage up to 4 kilometers. If driver is carrying 25 kilograms luggage, mileage drops minimum by 2 kilometers.

The prototype braking system analysis showed that using only one wheel equipped with braking system is enough to effectively stop scooter, however, when driving with luggage it is desirable to equip all wheels with braking mechanism for better results and slower brake pad wearing. Stopping distance from maximum speed to a complete stop, on dry road with 0,7 coefficient of friction, is 7 meters using just front wheel brakes. Using all-wheel braking system, the braking distance can be reduced by up to 5 meters of the total stopping distance. On wet roads using all-wheel-braking distance can be reduced up to 9 meters.

Next, mock tests were carried out for the necessary accessories and overall dimensions to achieve better ergonomics. At first luggage compartment had dimensions of 600x600x250 mm. During the testing, it was found that the dimensions of the box cannot be installed because the height of the box prevents from comfortable pushing the scooter and primary design does not allow for a safe installation of such dimension box. Experimentally the best solution was found to use the box with the dimensions of 543x340x158 mm, which is sufficient to safely carry small objects up to 25 kg, which was one of the criteria of this master's thesis. Drawn up on the basis of this information, the

first prototype was designed in SolidWorks 3D CAD program. This model was designed to represent overall design of the components. Next, various solutions were designed, and comparing the final results the best solution was chosen. The analysis of the components design showed that it is not possible to develop solid construction with a small mass, given that used material is easily available and have a low price. Calculated accessories components total weight is 7.81 kg, which is higher than the planned limits by 1.81 kg, but it's still a good result. The most suitable option on the market is to use a reinforced box from Peli manufacturer instead of designed box, but their price is significantly higher than the planned budget for this work, and they are not freely available. Designed box manufacturing cost is two times less than Peli product.

The initial idea of seat design was to use the bicycle seat, but this type of seat is inconvenient for the user and the installation can not be done easy, also manufacturing seat mount is very costly. Instead, a new concept for the seat was designed, which is cheaper to produce and has better ergonomics. Analysis showed that the installation of new accessories requires making changes to the original concept of a scooter, in order to effectively implement the new peripherals. It is necessary to re-design up to 60% of the kickbike components.

Accessory analysis revealed that the predetermined value criteria, which is equal to €200 cannot be met. Calculated costs for options is equal €26,62, which exceeds a predetermined maximum value over €26,62 this price is added to the necessary prototype modifications for making installment possible. Prototype re-design cost is €30,51. One new electric kickbike manufacturing cost price, calculated with the additional equipment is €72,12, which is not the most affordable option, but is capable for competition of the same class compared to other mobile machinery. Sale price depends on the manufacturer's request, but usually it is equal to two times the cost price that makes the scooter sales price of at least €2000, which is quite large. At least it is required yearly to produce and sell a minimum of 100 units to make this project successful. This kickbike comparison with similar transportation vehicles showed that powerful electrical engine and luggage compartment giving more options for the user to not only for driving, but also as a utility vehicle for various purpose.

The results of the thesis the author's opinion is good. The technical solution is found using the most durable and less expensive manufacturing techniques possible. Product design has aesthetic

appearance and possesses all the components that can be easily removed using only one tool. The final solution meets all the goals set with the except for the cost of production, but the predetermined maximum value is not able to satisfy the other criteria. Since 2015 this kickbike conception is unique and compared to competitive solutions on the market can hold a great potential to be environmentally friendly transportation in the future.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. MyGoPet koduleht [WWW]
<http://mygopet.com/> (20.08.2015)
2. Segway koduleht [WWW]
<http://www.bluesupersegway.ee/#!/facilities/c66t> (20.08.2015)
3. Scuddy koduleht [WWW]
<http://scuddy.de/index.php/de/> (20.08.2015)
4. Eesti statistikaameti koduleht [WWW]
<https://www.stat.ee/90614/> (20.08.2015)
5. Eesti palgakalkulaator 2015
<http://www.raamatupidaja.ee/palgakalkulaator> (20.08.2015)
6. Raybike koduleht [WWW]
<http://www.raybike.com/> (20.08.2015)
7. Three-wheeled coaster WO 2012130598 A1 Patent [WWW]
<http://www.google.com/patents/WO2012130598A1?cl=en> (20.08.2015)
8. Salumäe, V., Polma, M., Pärtel, O.E., Raudla, R., Rõõm, K. Tallinna Tehnikaülikooli, Elektriratas, eriõppe projekt. 2014
9. Majandus- ja kommunikatsiooniministri 13.06.2011. a määruse nr 42 „Mootorsõiduki ja selle haagise tehnonõuded ning nõuded varustusele”, 5lk. [WWW]
http://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1170/9201/4012/MKM42_lisa5.pdf (20.08.2015)

10. Nõuded jalgratturile, pisimopeedi ja tasakaaluliikuri (segway) juhile [WWW]
<http://www.mnt.ee/liiklusseadus2011/?q=node/4> (20.08.2015)
11. DeWalt DCD990M2 Tehnilised andmed [WWW]
<http://www.dewalt.ae/en/powertools/productdetails/catno/DCD990M2/info/specifications/>
(20.08.2015)
12. Bosch GSR 18 VE-2-LI Tehnilised andmed [WWW]
<https://www.tooriistamaailm.ee/akutrell-kruvikeeraja-bosch-gsr-18-ve-2li-4-0-ah>
(20.08.2015)
13. Makita DDF481RMJ Tehnilised andmed [WWW]
<https://www.tooriistamaailm.ee/akutrell-makita-ddf480rmj> (20.08.2015)
14. Akutrelli deWalt pöördemomendi katsemõõtmiste tulemused TTÜ elektrimasinate laboratooriumis 2014.
15. Rämmal, H- Tallinna Tehnikaülikooli, Automootorid loengumaterjalid. 2009
16. Гагкуев, А. Ермакович . Формирование устойчивости и поворачиваемости трицикла на стадии проектирования. 2010
17. Тедеев, В. Ботазович. Расчет движения трицикла при автотехнической экспертизе дорожно-транспортных происшествий. 2011
18. Luppin, J. Tallinna Tehnikaülikooli MEA5420 Sõidukite Liikumisteooria loengumaterjalid. 2013
19. Kõiv, R. Tallinna Tehnikaülikooli, Autod II loengumaterjalid. 2008
20. Fabian Fogelberg. Solar Powered Bike Sharing System with Electric Bikes. Göteborg, Sweden 2014

21. Tööriistade ja kinnitusvahendite jäe- ja hulгимüük [WWW]
<http://www.balticbolt.ee/> (20.08.2015)
22. ДРЕВЕСИНА. Метод определения предела прочности при статическом изгибе ГОСТ 16483.3-84 [WWW]
<http://www.wood.ru/ru/lpsmeh.html> (20.08.2015)
23. Технические характеристики плит МДФ MDF, ДСП, ЛДСП, ХДФ HDF, OSB ОСП Kronospan Russia Кроноспан Россия [WWW]
http://dsp-mdf.ru/printable.php?show_aux_page=7 (20.08.2015)
24. LOCTITE EA 9309.3NA AERO Technical Information [WWW]
<http://www.henkelna.com/product-search-1554.htm?nodeid=8806185861121> (20.08.2015)
25. Ultra light Bicycle Seat Post Clamp Seat Tube Clamp [WWW]
<http://www.aliexpress.com/item-img/Ultra-light-Bicycle-Seat-Post-Clamp-Seat-Tube-Clamp-CNC-MTB-Mountain-Bike-Seatpost-Camping-31/32345934863.html#> (20.08.2015)
26. Thule koduleht [WWW]
<https://www.thule.com/> (20.08.2015)
27. Kuumvaltsitud terasplaadid, -lehed ja -rullid [WWW]
<http://www.ruukki.ee/~media/Estonia/Files/Steel-products/Ruukki-kuumvaltsitud-teras-tootmisprogramm.pdf> (20.08.2015)
28. Peli Products koduleht [WWW]
<http://www.pelican.com/us/en/product/pelican-hardigg-single-lid-cases/flat/hinged-lid/CL1713-0403/> (20.08.2015)
29. Mootorsõiduki ja selle haagise tehnonõudedning nõuded varustusele [WWW]
https://www.riigiteataja.ee/aktivilisa/1160/6201/1008/MKM42_lisa3.pdf (20.08.2015)

30. Kolmerattaline jalgrattas [WWW]
<http://www.itak.ee/toode/jalgrattad/kolmerattaline-jalgratas-hi-ten/> (20.08.2015)
31. Elektrijalgrattas [WWW]
<http://ebike.ee/tootekataloog/elektrijalgrattad/11E4> (20.08.2015)
32. Deutsche post koduleht [WWW]
<https://www.deutschepost.de> (20.08.2015)
33. Karjust, K. MET0150 Production Engineering, Cost Engineering loengumaterjalid
34. Ruukki Products koduleht [WWW]
<http://www.ruukki.ee/> (20.08.2015)
35. Sõltumatu elektrihinna võrdlusportaal [WWW]
<http://www.elektrihind.ee/> (20.08.2015)
36. FH Vorarlberg - Vorarlberg University of Applied Sciences: Modeling of a Motorcycle (2009)
37. Luppin, J. Tallinna Tehnikaülikooli, MEA5420 Sõidukite Liikumisteooria – Aerodünaamika loengukonspekt
38. Luppin, J. Tallinna Tehnikaülikooli, MEA5420 Sõidukite Liikumisteooria – Auto teelpüsivus ja juhitavus loengukonspekt
39. Kõiv, R. Tallinna Tehnikaülikooli, MEA5683 Autod II – Liikumise dünaamika loengukonspekt

Akutrelli väliskarakteristiku andmed					Korraldatud andmed						
Võimsus	3 käik		2 käik		Võimsus	3 käik			2 käik		Võimsus
	Moment	pöörd. p/m	Moment	pöörd. p/m		Võimsus	Moment	pöörd. p/m	Moment	pöörd. p/m	
0	15,4	0	19,6	0	0	5,87	15,40	0	20,60	0	7,75
2,88	14,4	12	20,6	12	4,12	8,83	14,68	60	19,76	60	11,83
5,92	14,8	24	19,4	24	7,76	23,01	14,44	120	19,12	120	30,55
8,88	14,8	36	19,2	36	11,52	36,80	14,16	180	18,12	180	47,06
11,68	14,6	48	19,2	48	15,36	50,37	14,00	240	17,20	240	61,91
14,8	14,8	60	20,4	60	20,4	62,90	13,68	300	16,12	300	73,98
17,76	14,8	72	18,8	72	22,56	74,34	13,28	360	14,92	360	83,46
20,44	14,6	84	19,6	84	27,44	85,50	12,96	420	14,56	420	96,02
23,36	14,6	96	19,6	96	31,36	95,14	12,52	480	14,44	480	109,67
26,28	14,6	108	19	108	34,2	103,87	12,08	540	13,48	540	115,82
27,2	13,6	120	18,6	120	37,2	112,85	11,76	600	12,72	600	121,96
30,8	14	132	18,6	132	40,92	119,11	11,24	660	12,24	660	129,72
35,04	14,6	144	18	144	43,2	126,18	10,88	720	11,60	720	134,50
36,4	14	156	18,4	156	47,84	133,54	10,60	780	10,80	780	136,02
39,76	14,2	168	17,2	168	48,16	138,14	10,16	840	9,72	840	132,09
42	14	180	18,4	180	55,2	142,48	9,76	900	8,32	900	121,38
45,44	14,2	192	18,2	192	58,24	146,62	9,40	960	7,24	960	112,86
47,6	14	204	16,4	204	55,76	150,03	9,04	1020	6,28	1020	104,18
50,4	14	216	16,6	216	59,76	152,02	8,64	1080	5,24	1080	92,12
53,2	14	228	17	228	64,6	155,48	8,36	1140	4,12	1140	76,55
55,2	13,8	240	17,8	240	71,2	152,85	7,80	1200	3,16	1200	61,90
58,8	14	252	16,4	252	68,88	148,27	7,20	1260	2,04	1260	41,82
59,84	13,6	264	17	264	74,8	141,63	6,56	1320	0,84	1320	17,98
62,56	13,6	276	16,8	276	77,28	134,65	5,96	1380	0,00	1380	0,00
65,28	13,6	288	15,4	288	73,92	125,52	5,32	1440	0,00	1440	0,00
68	13,6	300	15	300	75	115,11	4,68	1500	0,00	1500	0,00
70,72	13,6	312	14,6	312	75,92	112,58	4,40	1560	0,00	1560	0,00
71,28	13,2	324	16,2	324	87,48	103,15	3,88	1620	0,00	1620	0,00
73,92	13,2	336	15,2	336	85,12	92,66	3,36	1680	0,00	1680	0,00
76,56	13,2	348	14,2	348	82,36	78,87	2,76	1740	0,00	1740	0,00
79,2	13,2	360	14,4	360	86,4	56,75	1,92	1800	0,00	1800	0,00
81,84	13,2	372	14,2	372	88,04	34,21	1,12	1860	0,00	1860	0,00
84,48	13,2	384	15	384	96	3,77	0,12	1920	0,00	1920	0,00
83,16	12,6	396	15,4	396	101,64	0,00	0,00	1980	0,00	1980	0,00
88,4	13	408	14,8	408	100,64						
89,6	12,8	420	13,4	420	93,8						
90,72	12,6	432	14,8	432	106,56						
93,24	12,6	444	14,6	444	108,04						
94,24	12,4	456	14,4	456	109,44						
98,28	12,6	468	14,4	468	112,32						
99,2	12,4	480	14	480	112						
100,04	12,2	492	14	492	114,8						
100,8	12	504	14	504	117,6						
104,92	12,2	516	13,6	516	116,96						
105,6	12	528	12,2	528	107,36						
108	12	540	13,6	540	122,4						
110,4	12	552	13,2	552	121,44						
112,8	12	564	13,2	564	124,08						
111,36	11,6	576	13	576	124,8						
113,68	11,6	588	12,6	588	123,48						
116	11,6	600	11,6	600	116						
118,32	11,6	612	12,2	612	124,44						
114,4	11	624	12,4	624	128,96						
118,72	11,2	636	12,4	636	131,44						
123,12	11,4	648	12,2	648	131,76						
121	11	660	12	660	132						
123,2	11	672	11,8	672	132,16						
125,4	11	684	11,8	684	134,52						
125,28	10,8	696	11,6	696	134,56						
127,44	10,8	708	11,6	708	136,88						
129,6	10,8	720	11,2	720	134,4						
131,76	10,8	732	11,2	732	136,64						
131,44	10,6	744	10,8	744	133,92						
131,04	10,4	756	10,8	756	136,08						
135,68	10,6	768	10,6	768	135,68						
137,8	10,6	780	10,6	780	137,8						
137,28	10,4	792	10,2	792	134,64						
136,68	10,2	804	10	804	134						
138,72	10,2	816	9,8	816	133,28						
138	10	828	9,4	828	129,72						
140	10	840	9,2	840	128,8						
139,16	9,8	852	8,8	852	124,96						
141,12	9,8	864	8,4	864	120,96						
143,08	9,8	876	8,4	876	122,64						
145,04	9,8	888	8,2	888	121,36						
144	9,6	900	7,8	900	117						
145,92	9,6	912	7,6	912	115,52						
144,76	9,4	924	7,6	924	117,04						
146,64	9,4	936	7,2	936	112,32						
145,36	9,2	948	7	948	110,6						
150,4	9,4	960	6,8	960	108,8						
149,04	9,2	972	6,6	972	106,92						
150,88	9,2	984	6,6	984	108,24						
149,4	9	996	6,2	996	102,92						
147,84	8,8	1008	6	1008	100,8						
153	9	1020	6	1020	102						

Vool (V)	18
Mahtuvus (Ah)	4

Mmop	Mopeedi kaal	176	N
Mjuht	Juhi kaal	784	N
M	Kogukaal (Mopeed + juht)	960	N
Paar	Ohutihealus	1,20	kg/m3
A	Mopeedi ja juhi laupindala	1,06	m2
k	Ohutakistustegur	0,70	-
µ	Veeretakistustegur	0,015	-
p	Rehvi perimeeter	1,256	m
i	ülekannearv	2,0	-

Kiirus (km/h)	Kiirus (m/s)	Rehvi perimeeter (m)	Veere-takistus (N)	Aerodun-takistus (N)	Kogu-takistus (N)	2 käik		3 käik		Uhtlaseks sõiduks vajal. moment (Nm)	Uhtlaseks sõiduks vajal. Moment				
						Ulekande- arv	Pöörlemis-sagedus (p/min)	Moment (Nm)	Võimsus (kW)			Veojõud (N)	Moment (Nm)	Võimsus (kW)	Veojõud (N)
1	0,28	1,256	14,4	0,0	14,4	2,0	26,5	20,60	0,0078	15,0	15,4	0,0059	15,0	1,44	9,4%
2	0,56	1,256	14,4	0,1	14,5	2,0	53,1	19,76	0,0118	21,3	14,7	0,0088	15,9	1,45	9,9%
3	0,83	1,256	14,4	0,3	14,7	2,0	79,6	19,12	0,0306	36,7	14,4	0,0230	27,6	1,47	10,2%
4	1,11	1,256	14,4	0,5	14,9	2,0	106,2	18,12	0,0471	42,4	14,2	0,0368	33,1	1,49	10,6%
5	1,39	1,256	14,4	0,9	15,3	2,0	132,7	17,20	0,0619	44,6	14,0	0,0504	36,3	1,53	10,9%
6	1,67	1,256	14,4	1,2	15,6	2,0	159,2	16,12	0,0740	44,4	13,7	0,0629	37,7	1,56	11,4%
7	1,94	1,256	14,4	1,7	16,1	2,0	185,8	14,92	0,0835	42,9	13,3	0,0743	38,2	1,61	12,1%
8	2,22	1,256	14,4	2,2	16,6	2,0	212,3	14,56	0,0960	43,2	13,0	0,0855	38,5	1,66	12,8%
9	2,50	1,256	14,4	2,8	17,2	2,0	238,9	14,44	0,1097	43,9	12,5	0,0951	38,1	1,72	13,7%
10	2,78	1,256	14,4	3,4	17,8	2,0	265,4	13,48	0,1158	41,7	12,1	0,1039	37,4	1,78	14,8%
11	3,06	1,256	14,4	4,2	18,6	2,0	291,9	12,72	0,1220	39,9	11,8	0,1128	36,9	1,85	15,8%
12	3,33	1,256	14,4	4,9	19,3	2,0	318,5	12,24	0,1297	38,9	11,2	0,1191	36,7	1,93	17,2%
13	3,61	1,256	14,4	5,8	20,2	2,0	345,0	11,60	0,1345	37,2	10,9	0,1262	34,9	2,02	18,6%
14	3,89	1,256	14,4	6,7	21,1	2,0	371,5	10,80	0,1360	35,0	10,6	0,1335	34,3	2,11	19,9%
15	4,17	1,256	14,4	7,7	22,1	2,0	398,1	9,72	0,1321	31,7	10,2	0,1381	33,2	2,21	21,8%
16	4,44	1,256	14,4	8,8	23,2	2,0	424,6	8,32	0,1214	27,3	9,8	0,1425	32,1	2,32	23,8%
17	4,72	1,256	14,4	9,9	24,3	2,0	451,2	7,24	0,1129	23,9	9,4	0,1466	31,0	2,43	25,9%
18	5,00	1,256	14,4	11,1	25,5	2,0	477,7	6,28	0,1042	20,8	9,0	0,1500	30,0	2,55	28,2%
19	5,28	1,256	14,4	12,4	26,8	2,0	504,2	5,24	0,0921	17,5	8,6	0,1520	28,8	2,68	31,0%
20	5,56	1,256	14,4	13,7	28,1	2,0	530,8	4,12	0,0766	13,8	8,4	0,1555	28,0	2,81	33,6%

Kogukaal (N)	961
Esirattale mõjuv kaal (N)	294
Ratta staatiline raadius (m)	0,1
Ratta inertsmoment	0,04
Tee kaldenurk (graadides)	10

Kiirus (m/s)	Pidurdusteed (m)					
	Pidurdavad kõik rattad		Pidurdatkse ainult esipiduriga			
	Pidurdavad kõik rattad. Sidestus - 0,4	Pidurdavad kõik rattad. Sidestus - 0,7	Pidurdab esirattas. Sidestus - 0,7	Pidurdab esirattas. Sidestus - 0,7 Kaldenurk 10°	Pidurdab esirattas. Sidestus - 0,4	Pidurdab esirattas. Sidestus 0,4 Kaldenurk 10°
0,28	0,01	0,01	0,02	0,04	0,03	0,08
0,56	0,04	0,02	0,07	0,17	0,13	0,30
0,83	0,09	0,05	0,17	0,39	0,29	0,68
1,11	0,16	0,09	0,29	0,69	0,51	1,21
1,39	0,25	0,14	0,46	1,08	0,80	1,89
1,67	0,35	0,20	0,66	1,56	1,16	2,72
1,94	0,48	0,28	0,90	2,12	1,58	3,71
2,22	0,63	0,36	1,18	2,77	2,06	4,84
2,50	0,80	0,46	1,49	3,51	2,60	6,13
2,78	0,98	0,56	1,84	4,33	3,22	7,56
3,06	1,19	0,68	2,22	5,25	3,89	9,15
3,33	1,42	0,81	2,65	6,24	4,63	10,89
3,61	1,66	0,95	3,10	7,33	5,43	12,78
3,89	1,93	1,10	3,60	8,50	6,30	14,83
4,17	2,21	1,26	4,13	9,75	7,23	17,02
4,44	2,52	1,44	4,70	11,10	8,23	19,37
4,72	2,84	1,62	5,31	12,53	9,29	21,86
5,00	3,19	1,82	5,95	14,04	10,42	24,51
5,28	3,55	2,03	6,63	15,65	11,61	27,31
5,56	3,93	2,25	7,35	17,34	12,86	30,26

Vool (V)	18
Mahtuvus (Ah)	4

Mmop	Mopeedi kaal	176	N
Mjuht	Juhi kaal	784	N
M	Kogukaal (Mopeed + juht)	960	N
pair	Õhutheedus	1,20	kg/m3
A	Mopeedi ja juhi laupindala (seisab)	1,06	m2
A	Mopeedi ja juhi laupindala (istub)	0,38	m2
k	Õhutakistustegur	0,70	-
µ	Veeretakistustegur	0,015	-
p	Rehvi perimeeter	1,256	m
i	Ülekandearv	2,0	-

Kiirus (km/h)	Kiirus (m/s)	Veere-takistus (N)	Juht Seisab						Juht istub					
			Aero-Takistus (N)	Kogu-takistus (N)	Power forward KW	Amp draw at 18V	Wh /km	Läbisõit (km) Aku 80% juht seisab	Aerodüün. Takistus (N)	Kogu-takistus (N)	Power forward KW	Amp draw at 18V	Wh /km	Läbisõit (km) Aku 80% juht istub
1	0,28	14,4	0,0	14,4	0,0040	0,2228	4,01	14,1	17,6	0,0040	0,2224	4,00	14,1	17,6
2	0,56	14,4	0,1	14,5	0,0081	0,4487	4,04	14,0	17,5	0,0080	0,4460	4,01	14,1	17,6
3	0,83	14,4	0,3	14,7	0,0123	0,6810	4,09	13,8	17,3	0,0121	0,6718	4,03	14,0	17,5
4	1,11	14,4	0,5	14,9	0,0166	0,9228	4,15	13,6	17,0	0,0162	0,9011	4,05	13,9	17,4
5	1,39	14,4	0,9	15,3	0,0212	1,1774	4,24	13,3	16,6	0,0204	1,1349	4,09	13,8	17,3
6	1,67	14,4	1,2	15,6	0,0261	1,4478	4,34	13,0	16,2	0,0247	1,3744	4,12	13,7	17,1
7	1,94	14,4	1,7	16,1	0,0313	1,7374	4,47	12,6	15,8	0,0292	1,6207	4,17	13,5	16,9
8	2,22	14,4	2,2	16,6	0,0369	2,0492	4,61	12,2	15,3	0,0338	1,8751	4,22	13,4	16,7
9	2,50	14,4	2,8	17,2	0,0430	2,3865	4,77	11,8	14,8	0,0385	2,1385	4,28	13,2	16,5
10	2,78	14,4	3,4	17,8	0,0495	2,7523	4,95	11,4	14,2	0,0434	2,4123	4,34	13,0	16,3
11	3,06	14,4	4,2	18,6	0,0567	3,1500	5,15	11,0	13,7	0,0486	2,6974	4,41	12,8	16,0
12	3,33	14,4	4,9	19,3	0,0645	3,5827	5,37	10,5	13,1	0,0539	2,9951	4,49	12,6	15,7
13	3,61	14,4	5,8	20,2	0,0730	4,0536	5,61	10,1	12,6	0,0595	3,3064	4,58	12,3	15,4
14	3,89	14,4	6,7	21,1	0,0822	4,5658	5,87	9,6	12,0	0,0654	3,6326	4,67	12,1	15,1
15	4,17	14,4	7,7	22,1	0,0922	5,1225	6,15	9,2	11,5	0,0715	3,9747	4,77	11,8	14,8
16	4,44	14,4	8,8	23,2	0,1031	5,7269	6,44	8,8	11,0	0,0780	4,3340	4,88	11,6	14,5
17	4,72	14,4	9,9	24,3	0,1149	6,3823	6,76	8,4	10,4	0,0848	4,7115	4,99	11,3	14,1
18	5,00	14,4	11,1	25,5	0,1277	7,0917	7,09	8,0	9,9	0,0920	5,1083	5,11	11,1	13,8
19	5,28	14,4	12,4	26,8	0,1414	7,8583	7,44	7,6	9,5	0,0995	5,5257	5,23	10,8	13,5
20	5,56	14,4	13,7	28,1	0,1563	8,6854	7,82	7,2	9,0	0,1074	5,9648	5,37	10,5	13,1

Läbisõit (km)							
115 kg		140 kg		115 kg		140 kg	
Aku 80% juht seisab + 25 kg	Aku 100% juht seisab +25kg	Aku 80% juht seisab +50 kg	Aku 100% juht seisab +50kg	Aku 80% juht istub +25 kg	Aku 100% juht istub +25kg	Aku 80% juht istub +50 kg	Aku 100% juht istub +50kg
13,4	16,7	10,8	13,5	13,4	16,8	10,8	13,5
13,3	16,6	10,7	13,4	13,4	16,7	10,8	13,5
13,1	16,4	10,6	13,3	13,3	16,6	10,7	13,4
12,9	16,2	10,5	13,1	13,2	16,6	10,7	13,4
12,7	15,9	10,3	12,9	13,1	16,4	10,6	13,3
12,4	15,5	10,1	12,7	13	16,3	10,5	13,2
12,1	15,1	9,9	12,4	12,9	16,1	10,5	13,1
11,7	14,6	9,7	12,1	12,8	15,9	10,4	13
11,3	14,2	9,4	11,8	12,6	15,7	10,3	12,8
10,9	13,7	9,1	11,4	12,4	15,5	10,1	12,7
10,5	13,2	8,8	11,1	12,2	15,3	10	12,5
10,1	12,6	8,5	10,7	12	15	9,9	12,3
9,7	12,1	8,3	10,3	11,8	14,7	9,7	12,2
9,3	11,6	8	9,9	11,6	14,5	9,6	12
8,9	11,1	7,7	9,6	11,3	14,2	9,4	11,8
8,5	10,6	7,4	9,2	11,1	13,9	9,2	11,6
8,1	10,1	7,1	8,8	10,9	13,6	9,1	11,3
7,7	9,7	6,8	8,5	10,6	13,3	8,9	11,1
7,4	9,2	6,5	8,1	10,4	13	8,7	10,9
7	8,8	6,2	7,8	10,1	12,7	8,6	10,7

Lasertõigatud detailid

Nimi	Kood	Kogus	Mass (g)	loone pikkus	Mass kokku (g)
Alusplaat	01.01.01	100	1734	285200	173400
Ratas-alusplaat	01.03.07	200	42	28000	8400
Laagripukk-külg	01.03.01	400	46	34700	18400
Laagripukk-alusplaat	01.03.02	200	108	47700	21600
Trelli kinnitus	01.04.01	100	178	59600	17800
Trelli kinnitus-parem ülemine	01.04.02	200	25	19600	5000
Trelli kinnitus-parem alumine	01.04.03	100	52	29100	5200
Vedu-vasak ülemine	01.05.01	100	178	61700	17800
Vedu-alumine	01.05.02	200	161	41200	32200
Vedu-parem ülemine	01.05.03	100	222	66100	22200
Vedu-tugevfus	01.05.04	100	22	16200	2200
Kahvel-külg	02.01.01	200	243	50200	48600
Kahvel-pealmine plaat	02.02.02	100	90	39000	9000
Kahvli kinnitus-alumine	02.02.01	100	180	48600	18000
Kahvli kinnitus-ülemine	02.02.02	100	300	65600	30000
Kahvli kinnitus-kinnitus	02.02.03	100	212	64700	21200
Kahvli kinnitus-vaheplaat	02.02.04	100	202	44000	20200
Hammasratas T16	03.01.01	100	59	43200	5900
Hammasratas T32	03.01.02	100	178	147600	17800
Kokku		2700		1192000	494900
				3 848 €	235 €
					4 084 €

Treedetailid

Nimi	Kood	Kogus	Mass (g)	Tooriku mass (g)	Eemaldatud materjal (g)	Mass kokku (g)	Tooriku mass kokku (g)	Eemaldatud materjal kokku (g)
Alumine võll	01.03.04	100	1131	3734	2603	113100	373400	260300
Ülemine võll	01.05.05	100	155	1024	869	15500	102400	86900
Laagripukk-alumine	01.03.03	200	96	370	274	19200	74000	54800
Laagripukk-ülemine	01.05.06	200	49	98	49	9800	19600	9800
Tirri puks	01.03.05	100	136	196	60	13600	19600	6000
Tirri puks LH	01.03.06	100	136	196	60	13600	19600	6000
Kokku		800				184800	608600	423800
						93,24 €	855,92 €	762,68 €

Rapid detailid

Nimi	Kood	Kogus	Mass (g)	Mass kokku (g)
Muhv R	01.03.08	100	187	18700
Muhv L	01.03.09	100	148	14800
Kokku		200		33500
Hind				5 728 €

Muud kulud

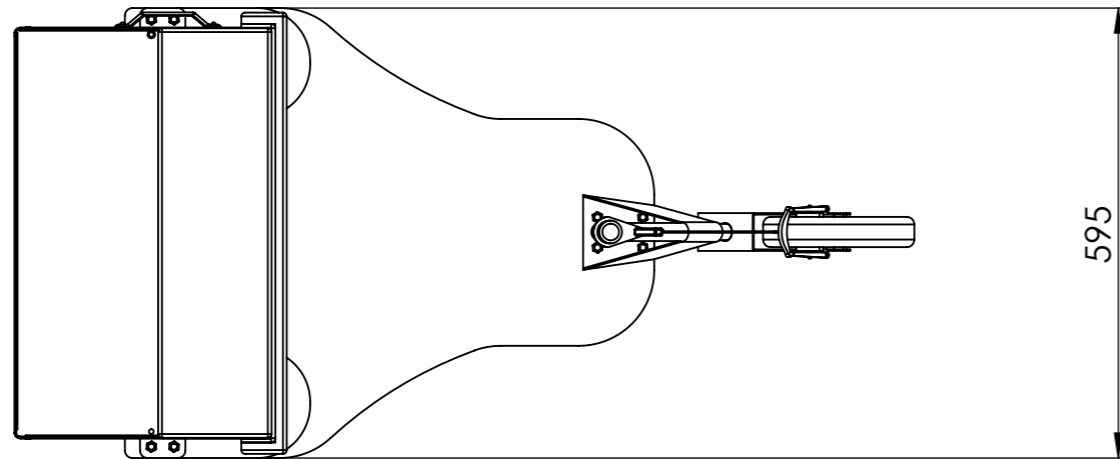
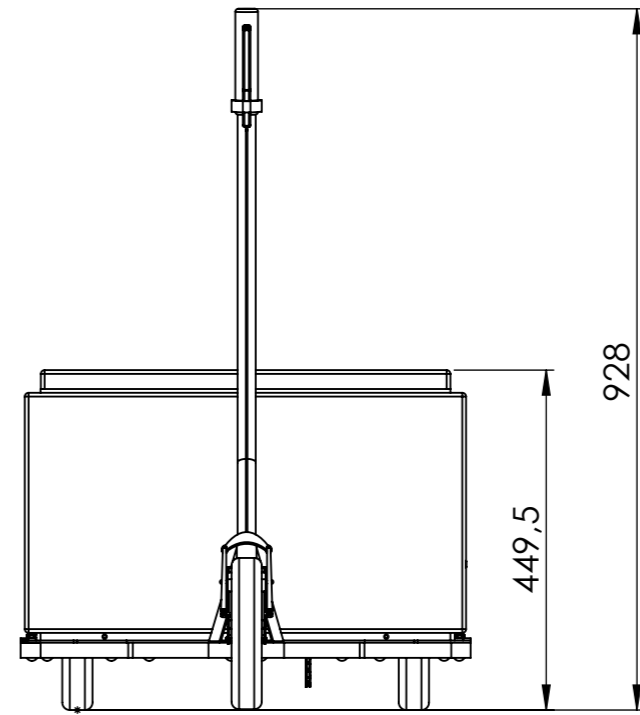
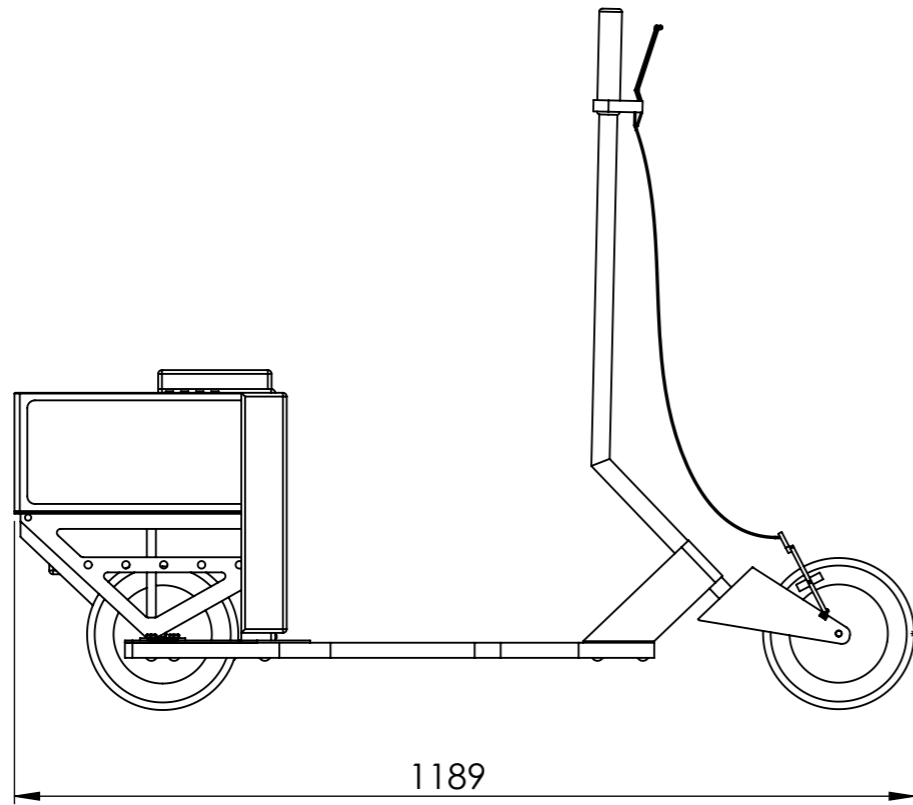
Nimi	Kogus	Kogupikkus (cm)
Keevitus	8900	13100
Hind		562 €

Nimi	Ajakulu (h)
Koostamine	300
Viimistlemine	150
Kokku	450
Hind	1 800 €

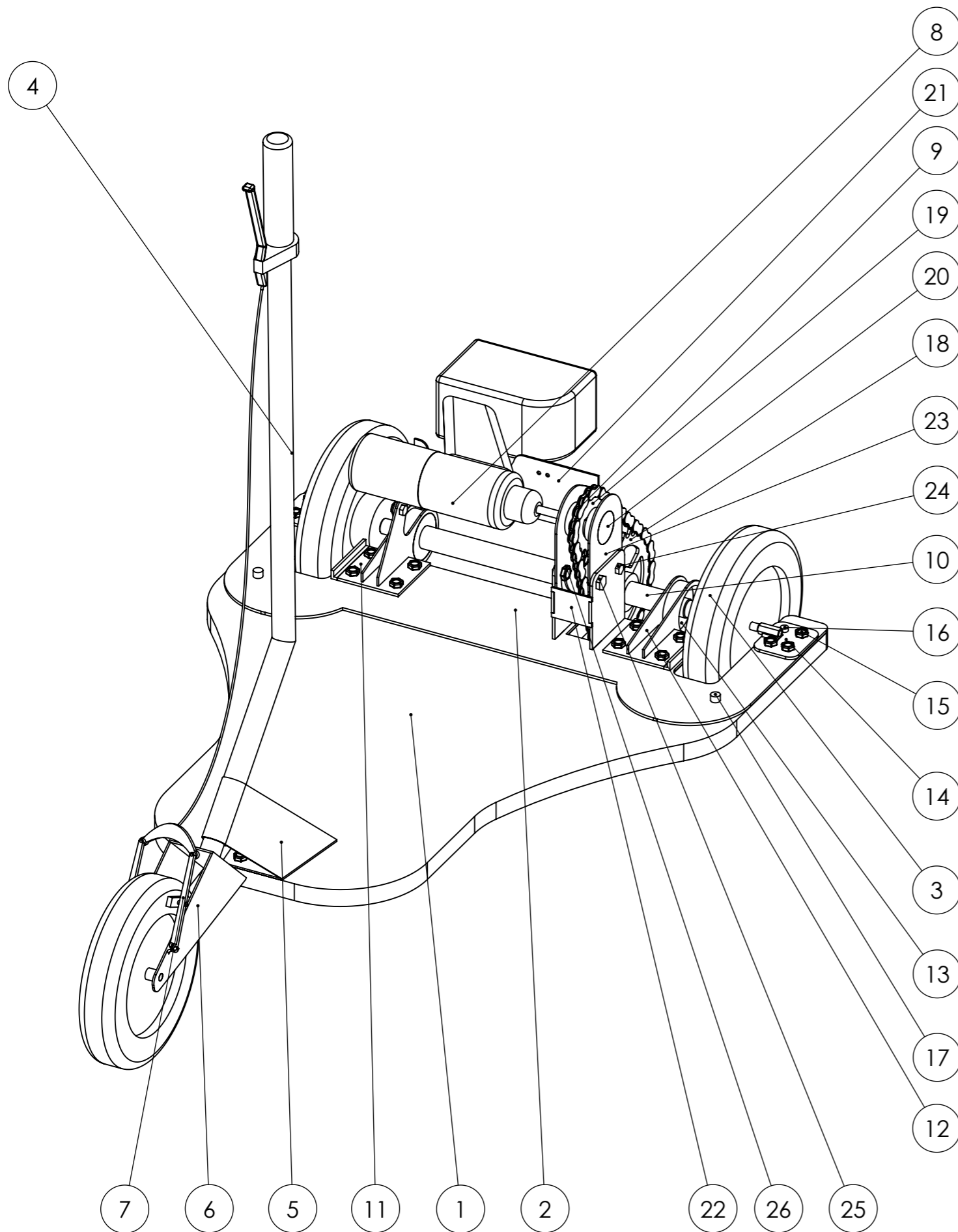
Ostutooded

Nimetus	Kogus	Hind	Kokku
Tirr 1/2 x 1/8	100	3,46	345,60
Tirr 1/2 x 1/8	100	2,77	276,60
SRAM MRX GRIPS käiguvaheti	100	5,34	534,00
Shimano SP41 tross	200	3,83	766,80
V-pidurid TBG	50	6,91	345,60
Pidurilingid	50	7,20	360,00
Piduritross MT	1	1,60	1,60
Pidurikõri 5mm	150	1,92	288,00
KM Loendur 15 funkts.	100	4,74	474,00
MTB-ATB käepidemed	100	1,47	147,00
60002RSC3-SKF	200	2,62	523,20
600042RSC3-FAG	200	8,34	1668,00
Kinnitusvahendid	100	6,22	621,60
Kokku			6352,00

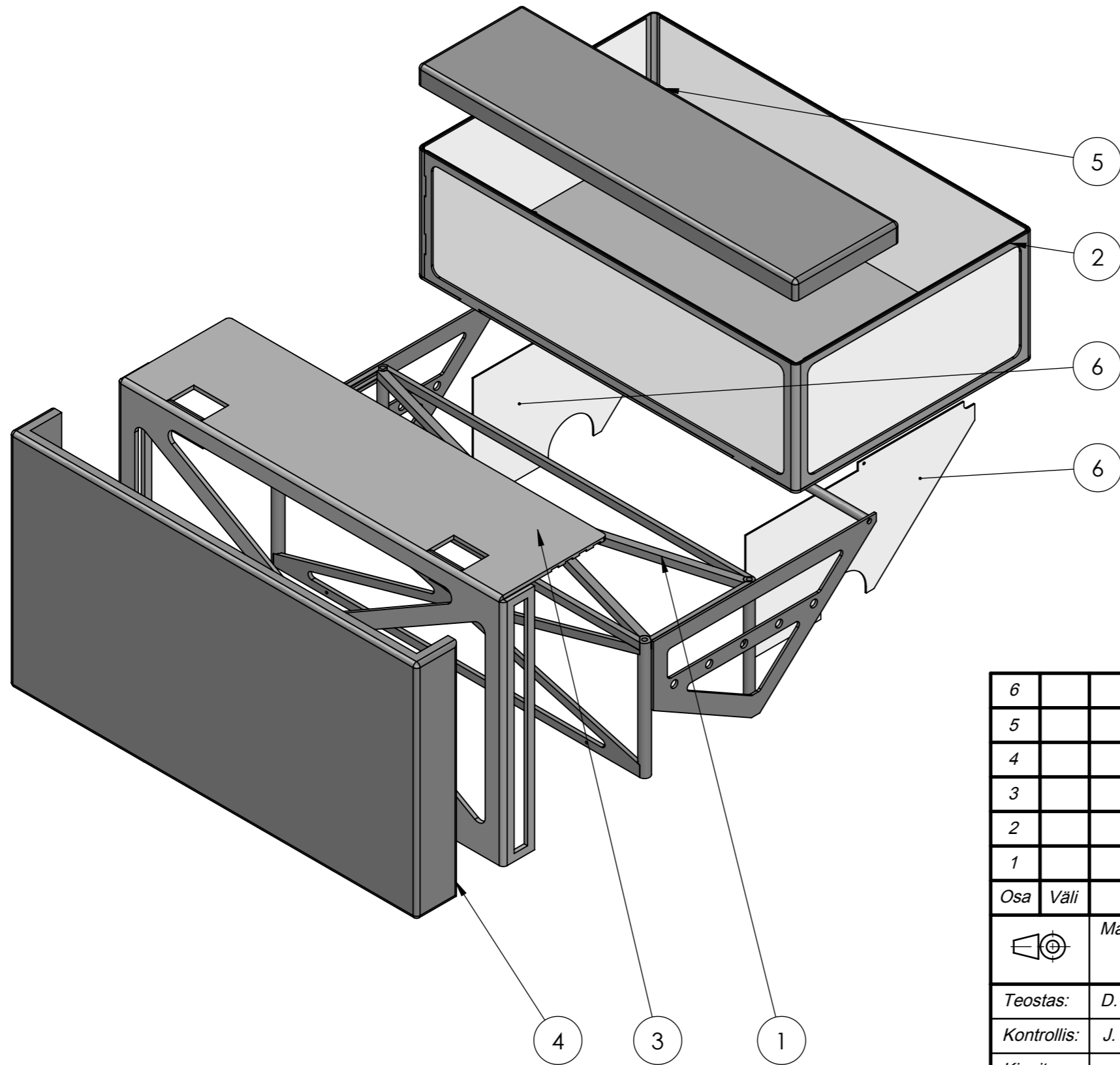
100 tk. partii omahind	Ühe töökeratta omahind
19 381,52 €	193,82 €



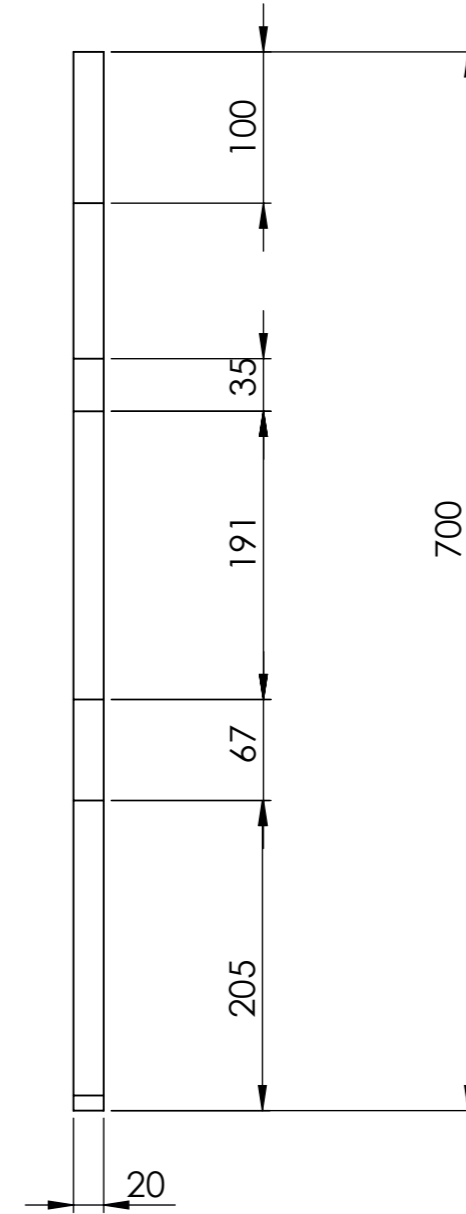
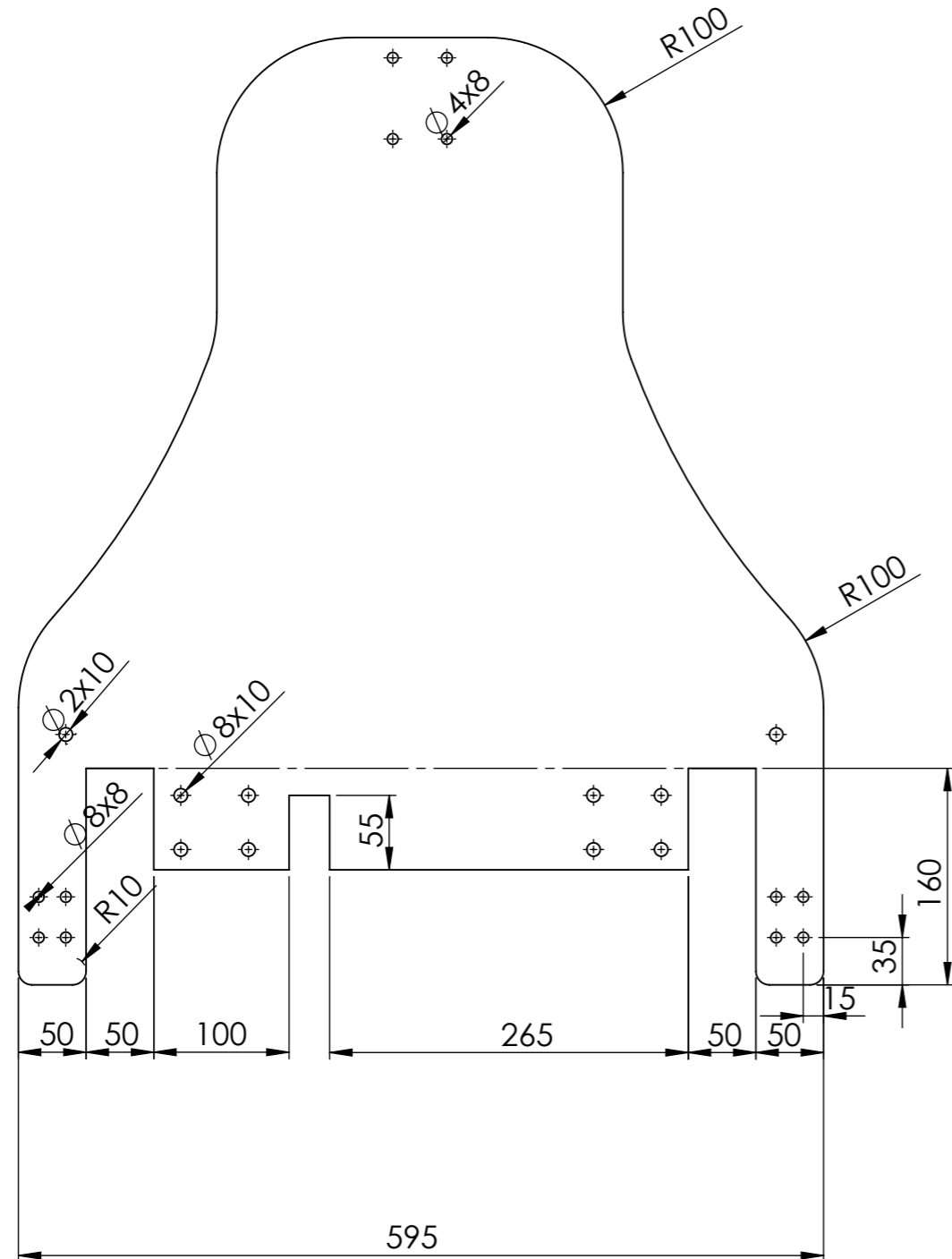
	<i>Materjal:</i>	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 1:10
	<i>Teostas:</i> D. Tsezin	Elektriline Tõukeratas		
<i>Kontrollis:</i> J. Luppin				
<i>Kinnitas:</i>	<i>Leht:</i> 1/3	<i>Tähis:</i> TR 01.A.00		



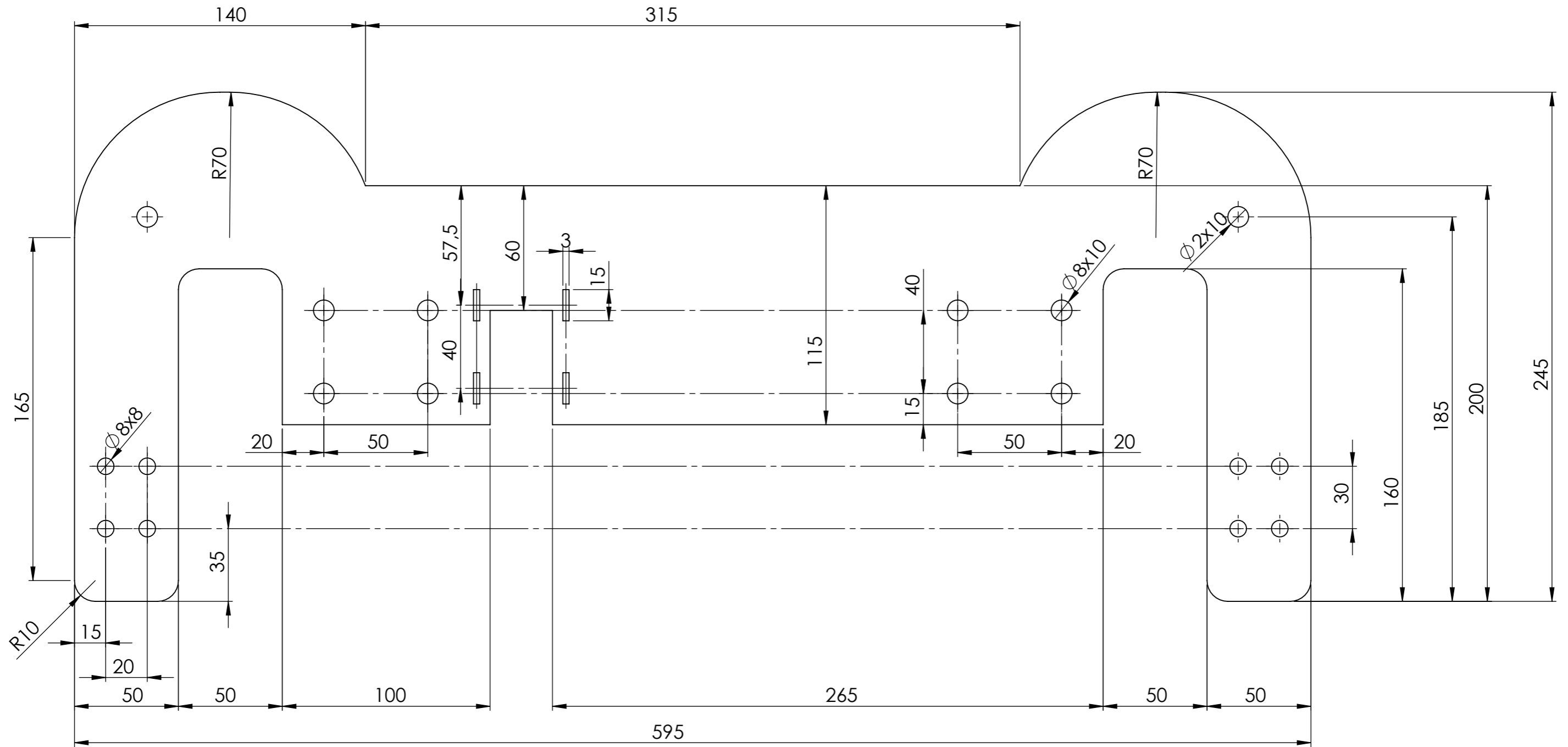
26		Mutter D934-8 ZN M10		2	
25		Polt D933 8.8 ZN M10x10		2	
24		Polt D933 8.8 ZN M8x10		3	
23		Ülemise võlli kinnitus		1	
22		Trelli kinnitus alumine		1	
21		Trelli kinnitus ülemine		1	
20		Ülemine võll		1	
19		Hammasratas T16		1	
18		Hammasratas T32		1	
17		Polt sisekuuskant- ü.peaga M10x30 AISI 316		2	
16		Polt sisekuuskant- ü.peaga M8x30 AISI 316		20	
15		Mutter D934-8 ZN M8		23	
14		Tagaratta kinnitus		2	
13		Puks		2	
12		Võlli kinnitus vasak	TR 01.12.00	1	
11		Võlli kinnitus parem	TR 01.11.00	1	
10		Võll	TR 01.10.00	1	
9		Kett		1	
8		Akutrell		1	
7		Esiratta pidurdussüsteem		1	
6		Esiratta kahvel		1	
5		Hoogi kinnitus		1	
4		Juhtimishoob		1	
3		Ratas		3	
2		Kinnitusplaat	TR 01.02.00	1	
1		Alusplaat	TR 01.01.00	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	
		Materjal:	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Mõõt: 1:5
Teostas:	D. Tsezin		Elektriline Tõukeratas		
Kontrollis:	J. Luppin				
Kinnitas:					
			Leht:	Tähis:	
			2/3	TR 01.A.00	




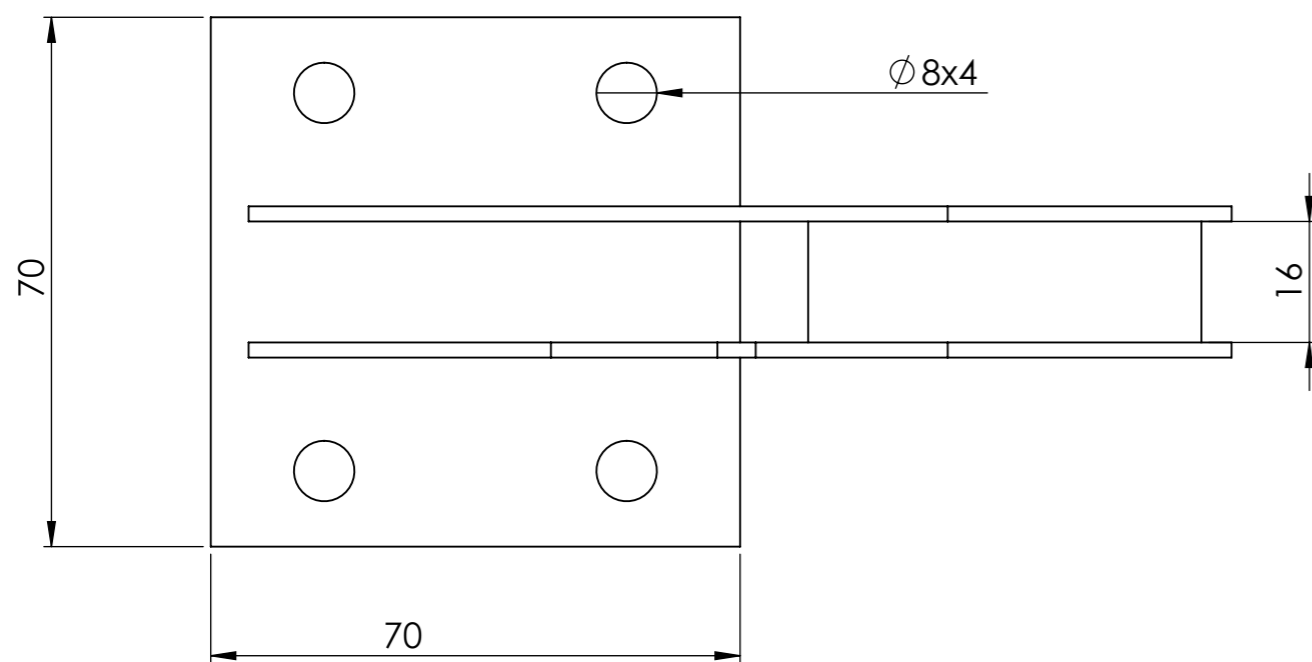
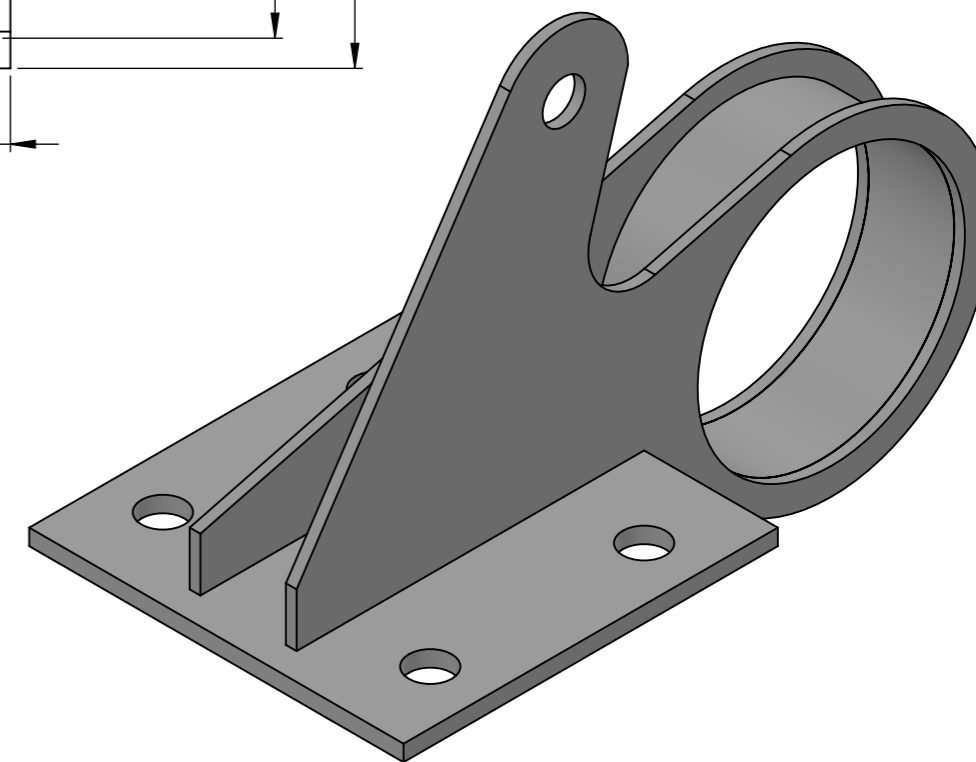
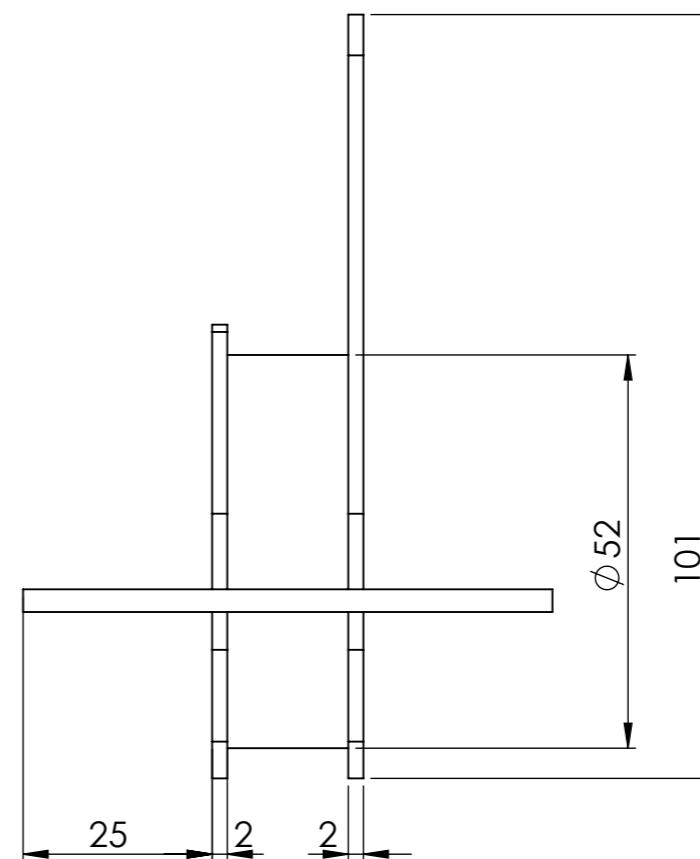
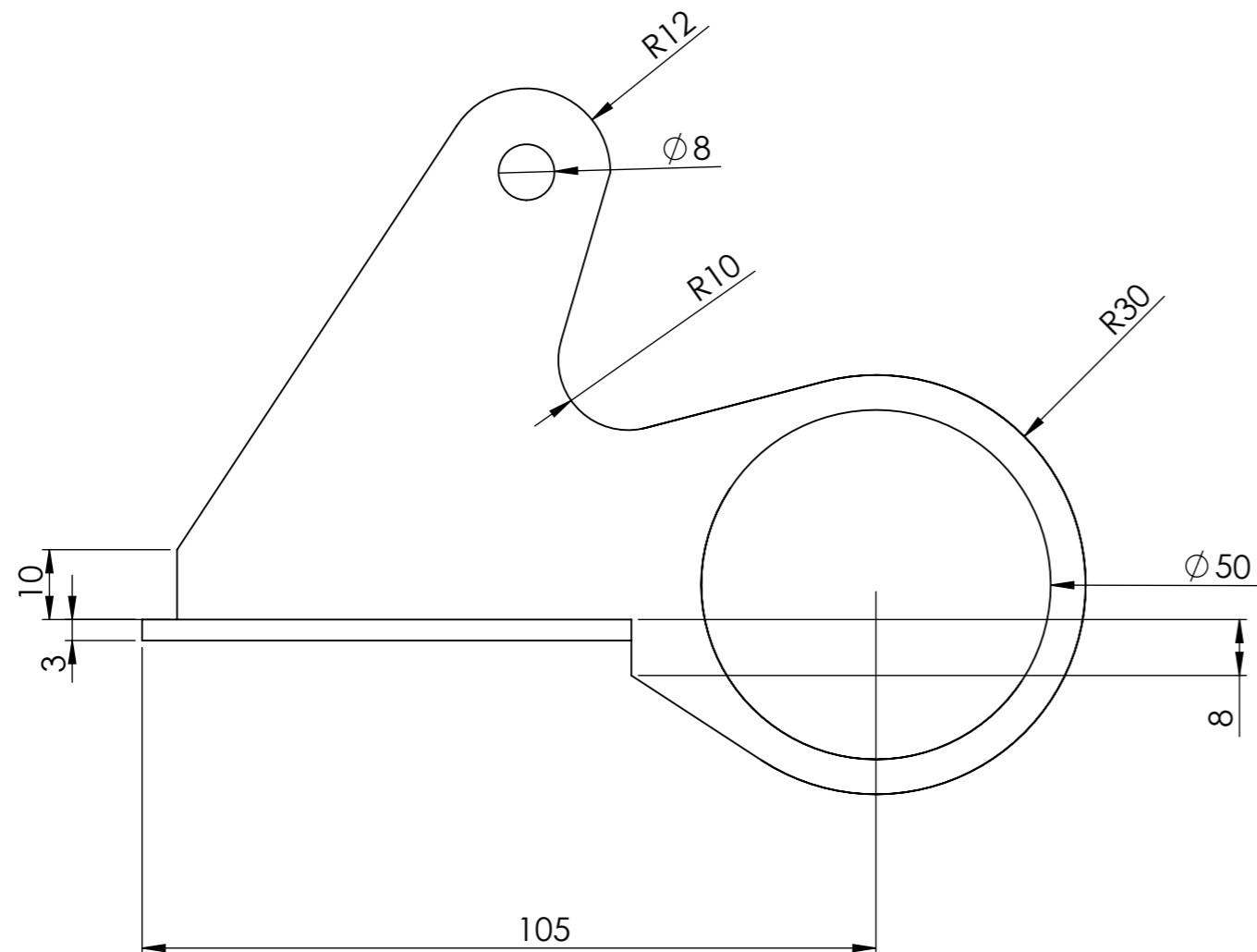
6		Porikaitse	LV 01.06.00	2	
5		Iste padi ulemine		1	
4		Iste padi alumine		1	
3		Iste raam	LV 01.03.00	1	
2		Kast	LV 01.02.00	1	
1		Toruraam	LV 01.01.00	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	
		Materjal:	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Mööt:
					1:10
Teostas:	D. Tsezin	Elektriline Tõukeratas			
Kontrollis:	J. Luppin				
Kinnitas:					
		Leht:	Tähis:		
		3/3	TR 01.A.00		




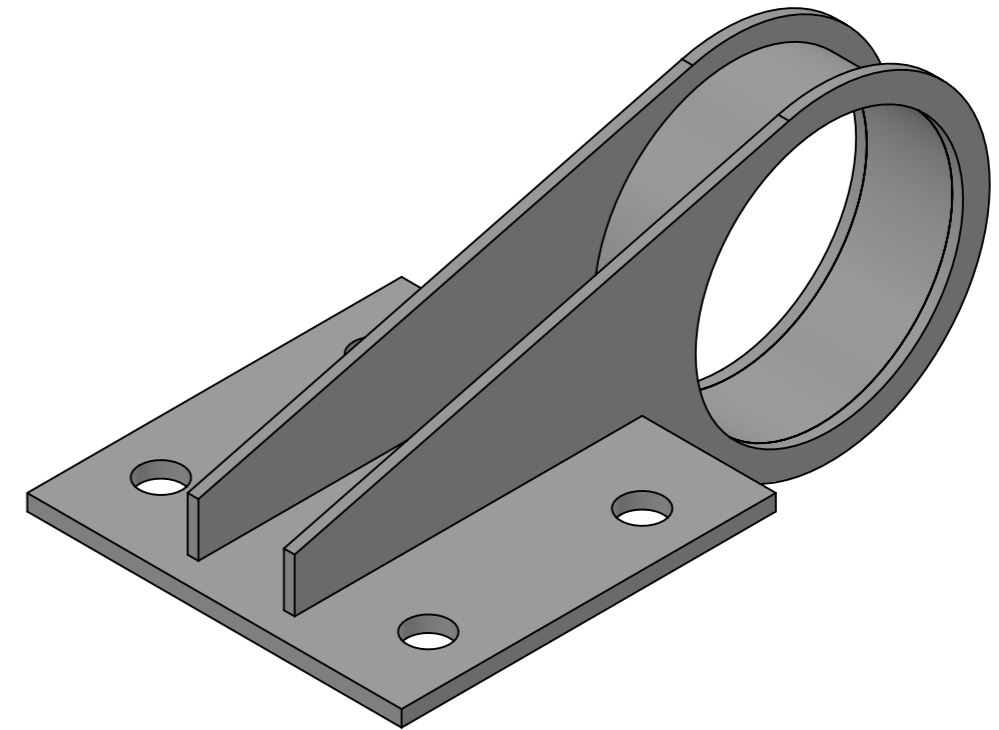
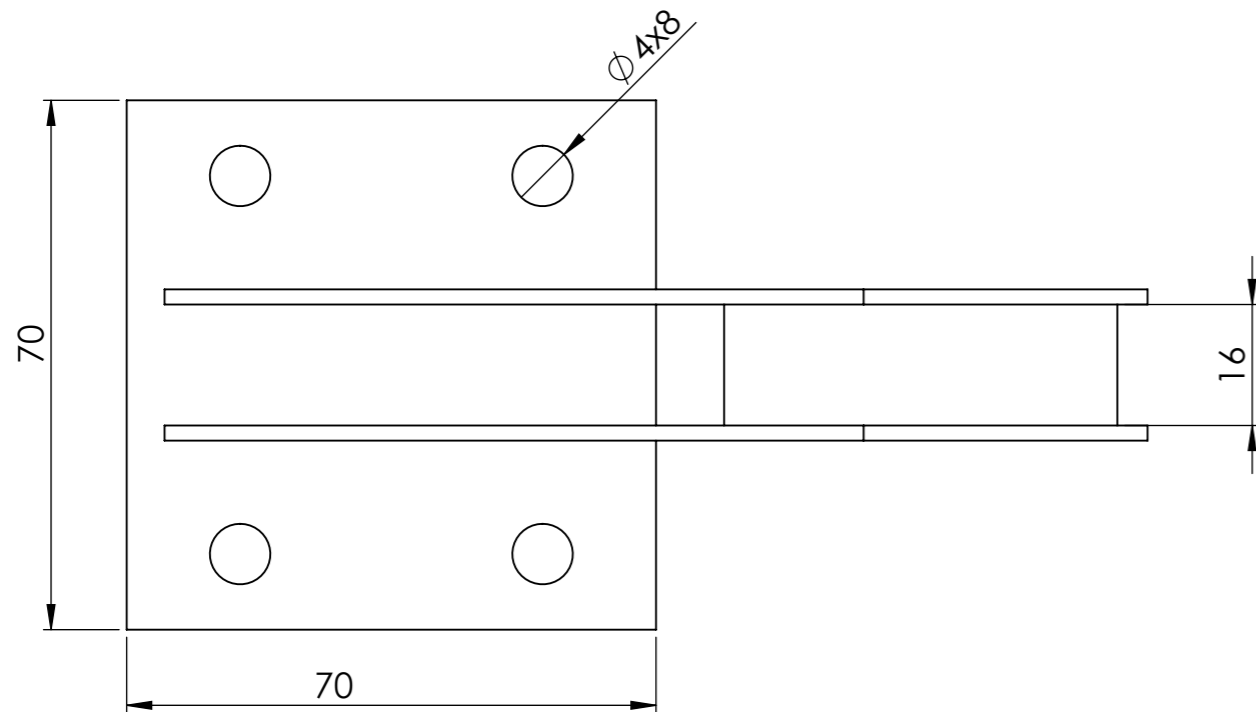
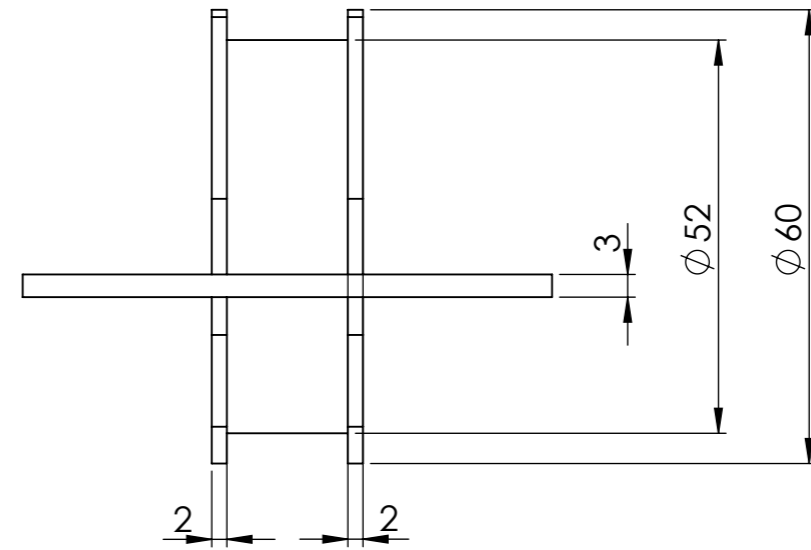
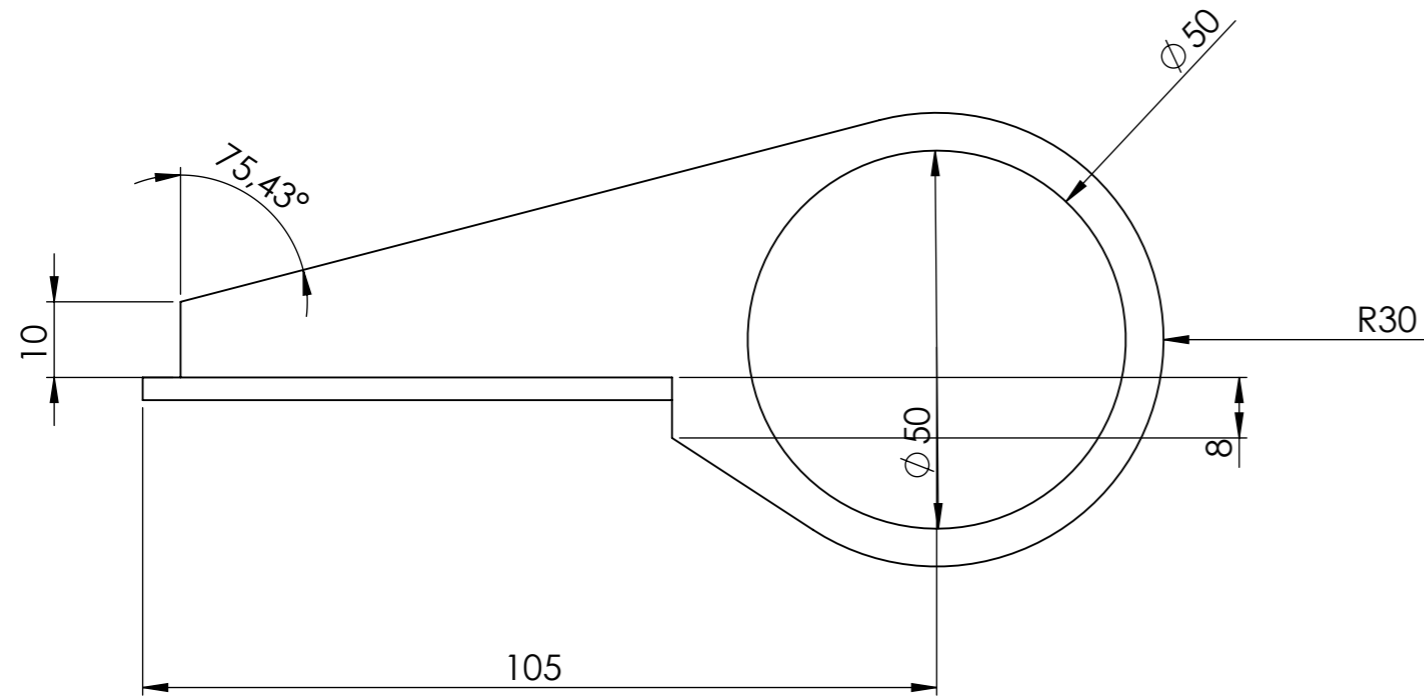
	<i>Materjal:</i> MDF	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mööt:</i> 1:5
<i>Teostas:</i> D. Tsezin	Alusplaat			
<i>Kontrollis:</i> J. Luppin				
<i>Kinnitas:</i>				
		<i>Leht:</i> 4	<i>Tähis:</i> TR 01.01.00	



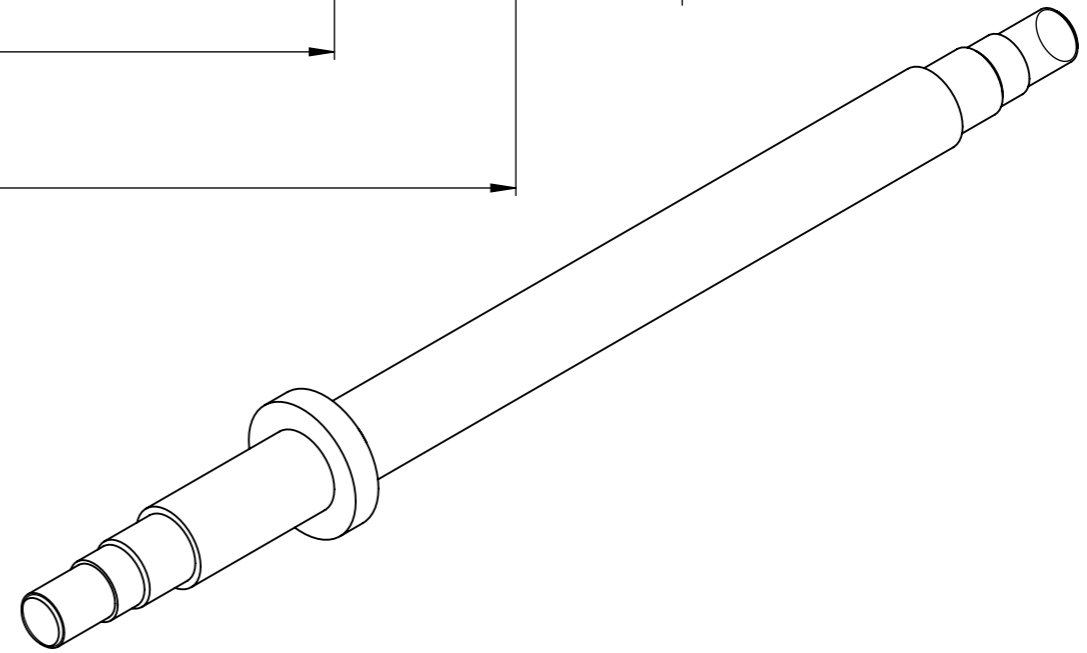
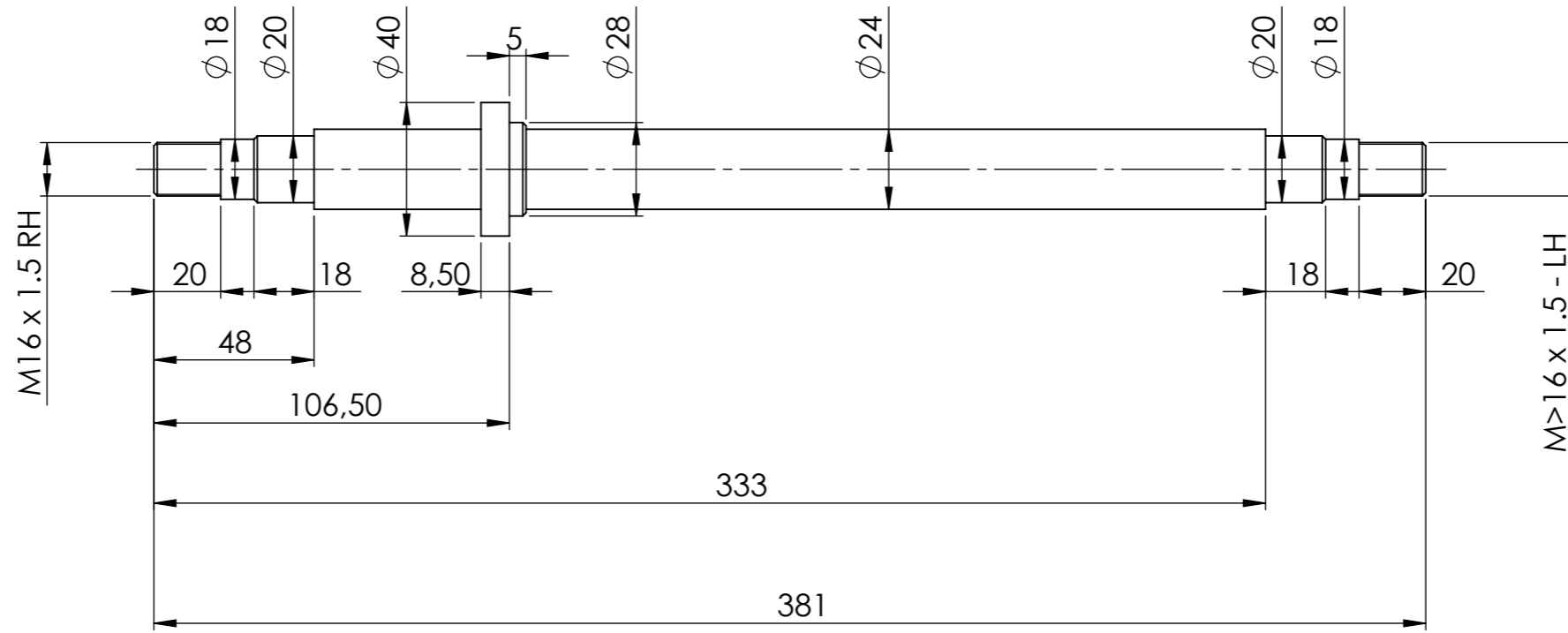
	<i>Materjal:</i> EN 10210-1		<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mööt:</i> 1:2
	<i>Teostas:</i> D. Tsezin	<i>Nimetus:</i> Kinnitusplaat			
	<i>Kontrollis:</i> J. Luppin				
<i>Kinnitas:</i>			<i>Leht:</i> 5	<i>Tähis:</i> TR 01.02.00	



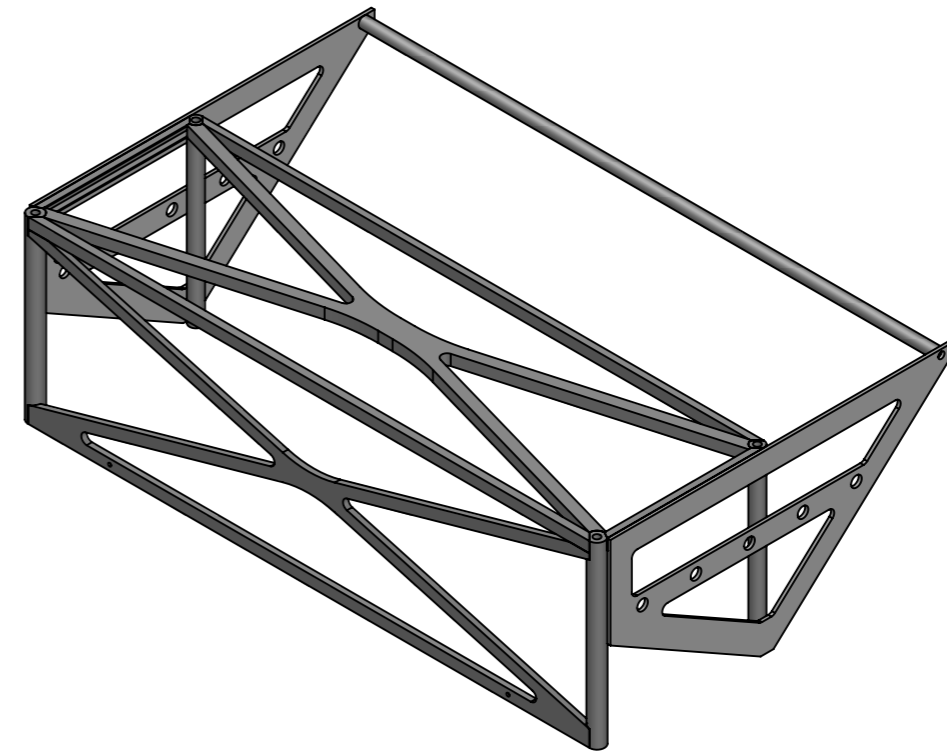
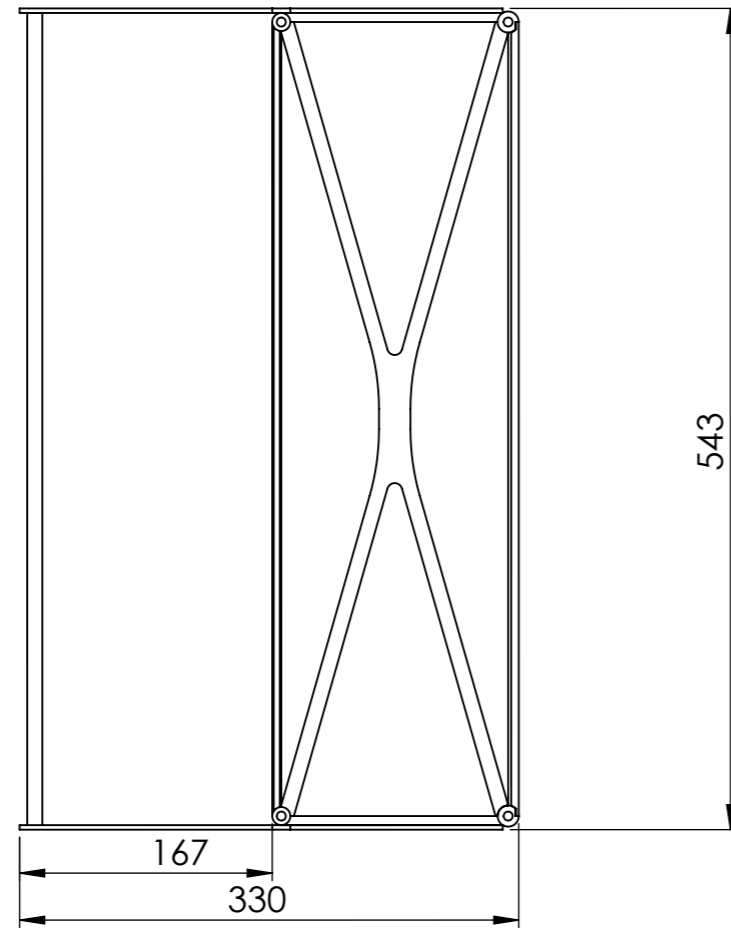
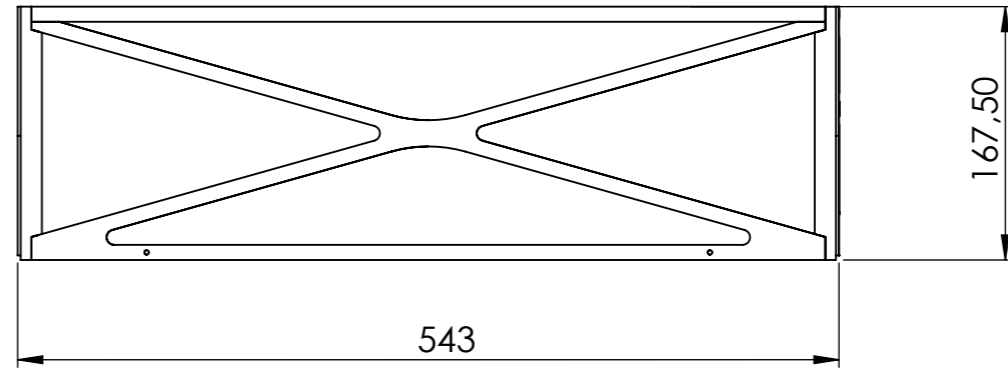
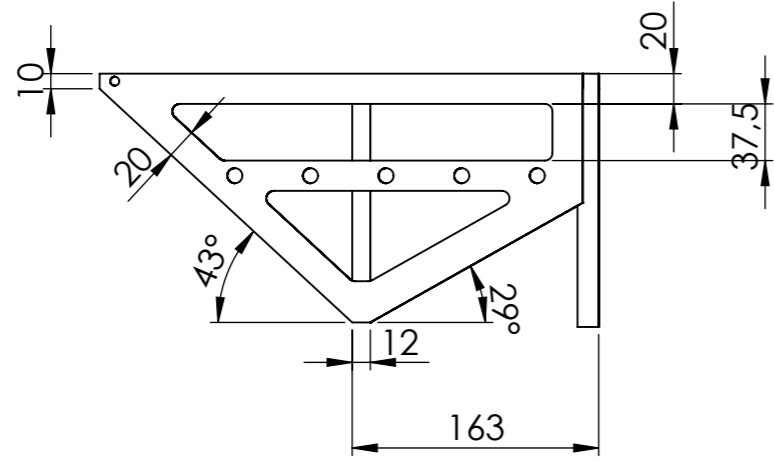
	<i>Materjal:</i> EN 1.7218	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 1:2
<i>Teostas:</i>	<i>D. Tsezin</i>	<i>Nimetus:</i> Kinnitus parem		
<i>Kontrollis:</i>	<i>J. Luppin</i>			
<i>Kinnitas:</i>				
	<i>Leht:</i> 6	<i>Tähis:</i> TR 01.11.00		



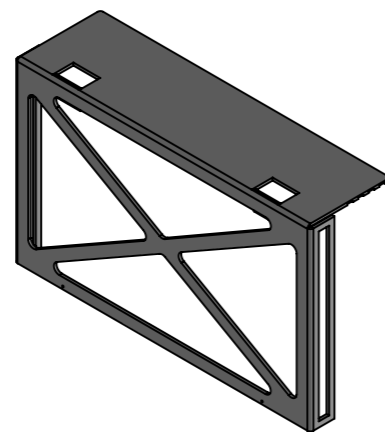
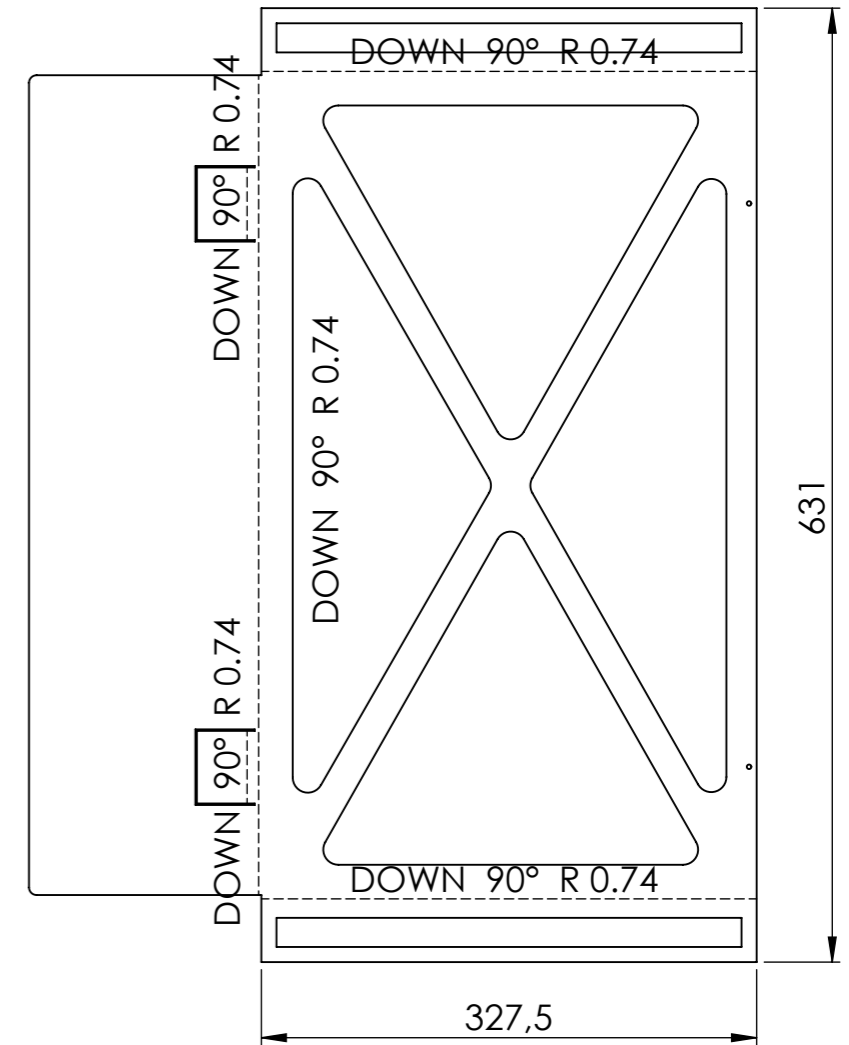
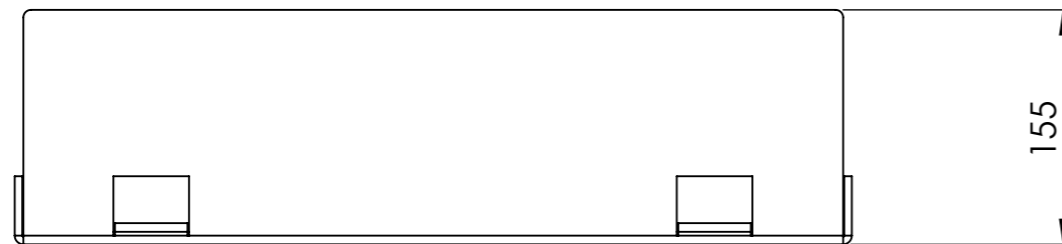
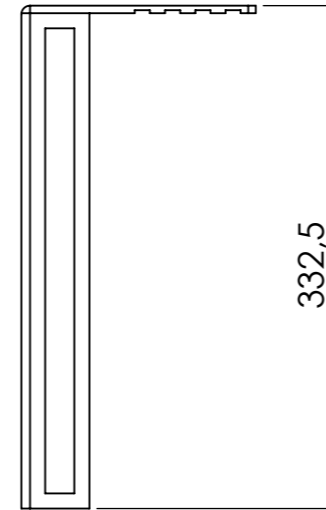
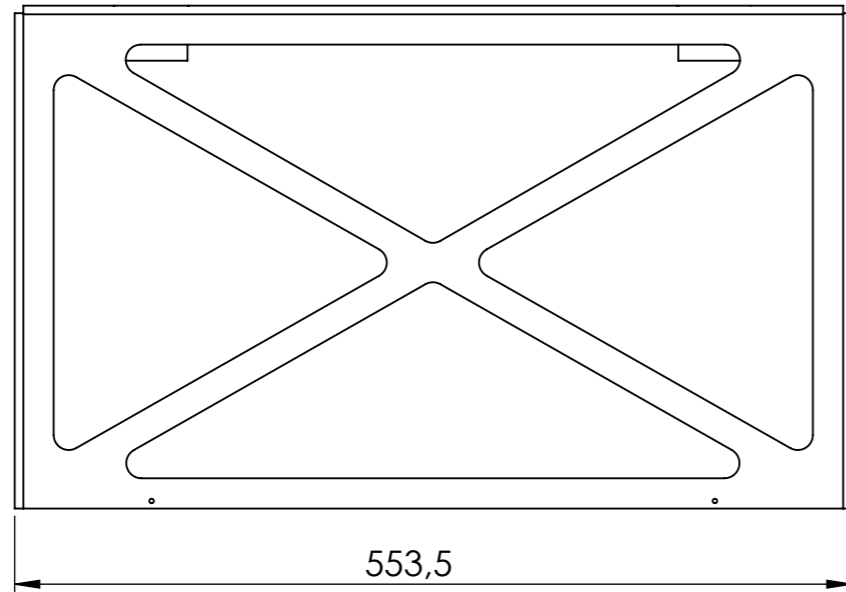
	Materjal: EN 1.7218	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Mõõt: 1:2
Teostas:	D. Tsezin	Nimetus: Kinnitus vasak		
Kontrollis:	J. Luppin			
Kinnitas:				
		Leht: 7	Tähis: TR 01.12.00	



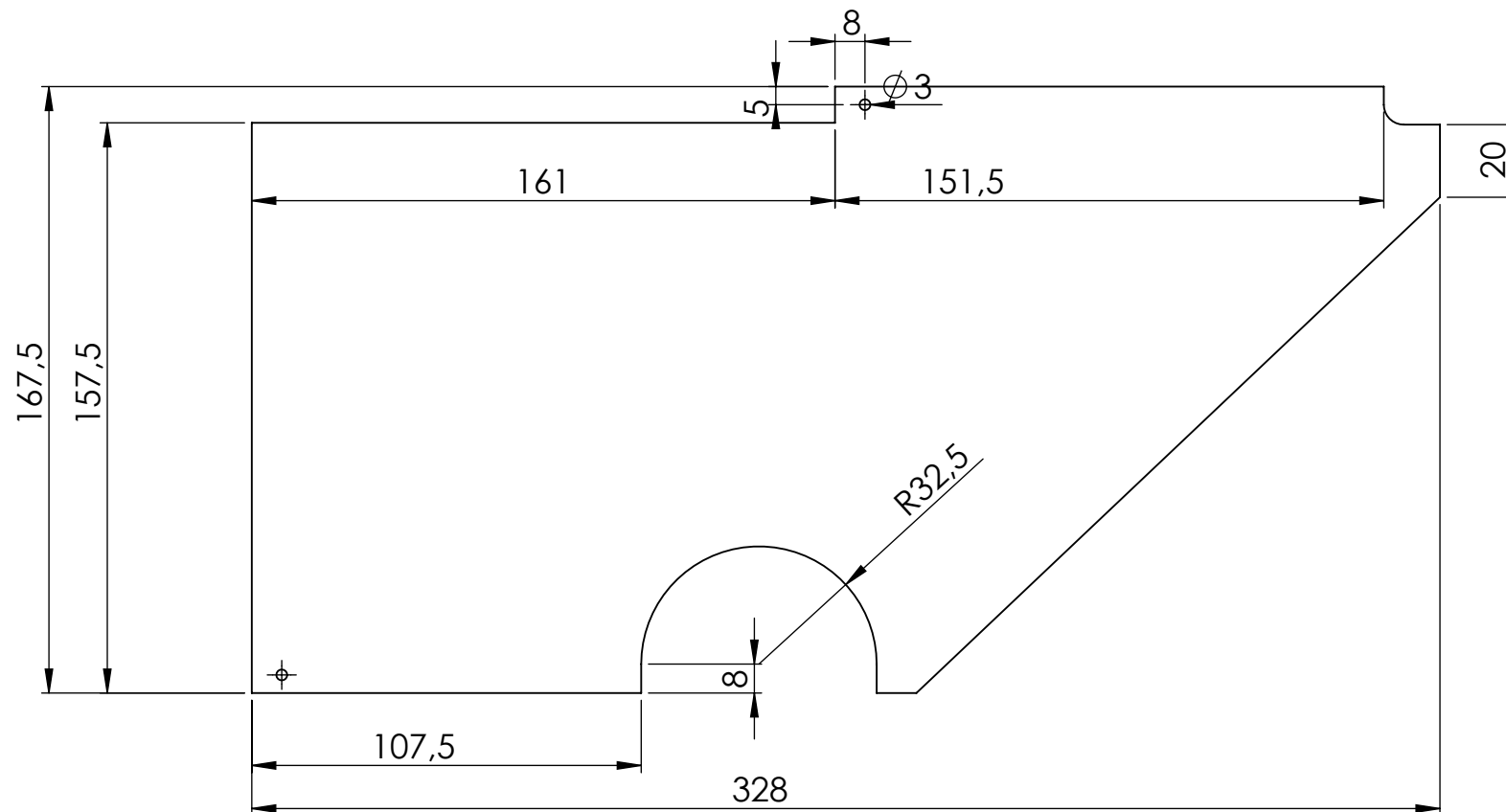
	<i>Materjal:</i> EN 1.7218		<i>Märkimata piirhälbed:</i> H14, h14, IT14/2	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 1:2
	<i>Teostas:</i> D. Tsezin	VÖll			
	<i>Kontrollis:</i> J. Luppin				
	<i>Kinnitas:</i>				
		<i>Leht:</i> 8	<i>Tähis:</i> TR 01.10.00		



	<i>Materjal:</i> EN 10028-2		<i>Mārkimata piirhālbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mōōt:</i> 1:5
	<i>Teostas:</i> D. Tsezin	<i>Nimetus:</i> Raam			
	<i>Kontrollis:</i> J. Luppīn				
	<i>Kinnitas:</i>	<i>Leht:</i> 9	<i>Tāhis:</i> LV 01.01.00		



	<i>Materjal:</i> EN 10028-2		<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mööt:</i> 1:5
	<i>Teostas:</i> D. Tsezin	<i>Nimetus:</i> Iste Raam			
<i>Kontrollis:</i> J. Luppin					
<i>Kinnitas:</i>		<i>Leht:</i> 10	<i>Tähis:</i> LV 01.03.00		



	<i>Materjal:</i> ABS-0708T		<i>Märkimata piirhälbed:</i>		<i>Mass:</i>	<i>Mööd:</i> 1:5
	<i>Teostas:</i> D. Tsezin	<i>Nimetus:</i> Porikaitse				
	<i>Kontrollis:</i> J. Luppin					
	<i>Kinnitas:</i>					
		<i>Leht:</i> 11	<i>Tähis:</i> LV 01.06.00			