



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

ELEKTRIKARTAUTO VEOMEHAANIKA PROJEKTEERIMINE JA EHITUS

BUILDING OF AN ELECTRICAL KART

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane:

Mati Raadik

Üliõpilaskood:

163911

Juhendaja:

Ants Kallaste, vanemteadur

Tallinn, 2019

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Mati Raadik

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Elektrikartauto veomehaanika projekteerimine ja ehitus

Kuupäev: 18.05.2019

59lk (lõputöö lehekülgede arv koos lisadega)

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): vanemteadur Ants Kallaste

Töö konsultant (konsultandid): teadur Anton Rassõlkin

Sisu kirjeldus:

Antud töö raames projekteeritakse olemasolevale kartauto kerele sõitmiseks vajaminev mehaanika. Töö põhieesmärk oli projekteerida ning ehitada uus jõuülekanne ning valmistada sõidukõlbulik elektrikartauto. Töö põhiosa käsitleb ülekanne projekteerimist vastavalt etteseadud nõuetele, mille järgi arvutati lähteandmed ülekanne dimensioneerimiseks. Ülekanne dimensioneeriti vastavalt tootjakataloogidele. Töö käigus kasutati detailide valmistamiseks erinevaid metallitöötlus seadmeid. Töö tulemusena valmis elektrikartauto, mille mehaanilised komponendid vastasid etteseadud nõuetele.

Märksõnad: jõuülekanne, keti dimensioneerimine, mootori kinnitusplaat, pidur, kartauto, ketiratas

ABSTRACT

Author: Mati Raadik

Type of the work: Bachelor Thesis

Title: Building of an Electrical Kart

Date: 18.05.2019

*59 pages (the number of thesis pages
including appendices)*

University: Tallinn University of Technology

School: School of Engineering

Department: Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Supervisor(s) of the thesis: Senior Research Scientist Ants Kallaste

Consultant(s): Research Scientist Anton Rassõlkin

Abstract: In this thesis, the necessary mechanical components and power transmission is designed in order to build a driveable kart. The main body of the thesis focuses on the design of power transmission according to the pre-set requirements, according to which the basic data for dimensioning of the transmission was calculated. The transmission components were dimensioned according to the manufacturer's catalogs. In the course of the work, various metalworking equipment was used to make the parts. As a result of the work, an electric kart was built, which mechanical components met the pre-set requirements.

Keywords: power transmission, dimensioning of roller chain, mounting plate, brake, kart, sprocket

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Elektrikartauto veomehaanika projekteerimine ja ehitus
Lõputöö teema inglise keeles:	Building of an Electrical Kart
Üliõpilane:	Mati Raadik, 163911
Eriala:	Mehhatroonika
Lõputöö liik:	bakalaureusetöö
Lõputöö juhendaja:	Ants Kallaste ants.kallaste@taltech.ee
Lõputöö esitamise tähtaeg:	21.05.2019

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

1. Teema põhjendus

Teema on oluline selleks, et välja selgitada olulised insenertehnilised nõuded ja meetodika mini-atv (*pocket bike*) stiilis sõidukile elektrilise ajami rakendamiseks.

Elektrikartauto ehitus annab Tallinna Tehnikaülikoolile tehniliselt töökorras ja välimuselt korrektse interaktiivse masina.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on elektrikartauto veomehaanika projekteerimine ja selle koostamine.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- Valida põhjendatult elektrikartauto ajamile sobiv jõuülekanne ning see koostada
- Renoveerida olemasolev kartauto raam ja viia see vastavusse lähteandmetega
- Renoveerida ja/või täiustada olemasolevat pidurisüsteemi viies see vastavusse lähteandmetega

4. Lähteandmed

- Lähteandmeteks on nõue, et vähemalt 100kg kaaluv inimene saab lõpptulemusena valminud masinaga sõita 2km akusi laadimatta.
- Projkteeritud lahendus peab olema välimuselt korrektne ja turvaline.
- Muud lähteandmed saadakse TTÜ Elektrimasinate uurimisrühmalt.

5. Uurimismeetodid

Töö tulemuseni plaanib jõuda kirjanduse analüüsil, modelleerimisel ja katsetel. Andmete analüüsiks kautatakse SolidWorksi koostu simulatsioone.

6. Graafiline osa

Jõuülekanne skeem, juhised detailide valmistamiseks.

7. Töö struktuur

0. Sissejuhatus
1. Tehnika taseme analüüs ja kasutatav topoloogia
 - a. Jõuülekanne
 - i. Nõuded ja nende põhjendused
 - ii. Erinevad võimalikud valikud
 - iii. Jõuülekanne konkreetne valik ja konstruktsioon
 - b. Kartauto raam
 - i. Nõuded raamile
 - ii. Raami seisukord ja selle hinnangu põhjendus
 - iii. Raami renoveerimise meetodika
 - c. Kartauto pidurisüsteem
 - i. Pidurisüsteemi nõuded ja põhjendused nõuetele
 - ii. Pidurisüsteemi seisukord
 - iii. Pidurisüsteemi renoveerimine
2. Elektriartaauto ehitus
3. Katsetamine
4. Kokkuvõte (Puudused ja edasiarendamise võimalused)

8. Kasutatud kirjanduse allikad

1. J. A. Collins, H. Bussy ja G. Staab, Mechanical Design of Machine Elements and Machines, John Wiley & Sons, 2010.

2. Wippermann, „Main Catalogue 2015,“ 2015. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://wippermann.s3.amazonaws.com/dokumente/en/product-catalogs/main-catalogue-wippermann-cat-2015-en.pdf>.
3. Engineering ToolBox, (2001). [online] <https://www.engineeringtoolbox.com>

9. Lõputöö konsultandid

Teadur Anton Rassõlkin

10. Töö etapid ja ajakava

Kuupäev	Töö etapp
15.02.2019	Töö etapp
22.02.2019	Lähteandmete kogumine
01.03.2019	Arvutused, teoreetilise osa kirjutamine
08.03.2019	1. lõputöö mustandi esitamine juhendajale
15.03.2019	Telgede kontrollimine ja renoveerimine
22.03.2019	Eeltöö erinevate ülekannete valiku leidmiseks, raami renoveerimine
29.03.2019	Ülekanne valitud ja vajalikud osad hangitud
01.04.2019	Ülekanne raami küljes
08.04.2019	2. lõputöö mustandi esitamine juhendajale
15.04.2019	Pidurisüsteemi korrastamine
22.04.2019	Iludetailide disain ja tootmine
30.04.2019	Lõplik koostamine ja testimine
03.05.2019	Teoreetilise osa valmistamine
13.05.2019	Viimase lõputöö mustandi esitamine juhendajale

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE.....	3
ABSTRACT	4
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	5
EESSÕNA.....	10
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	11
SISSEJUHATUS	13
1. TEHNIKA TASEME ANALÜÜS JA KASUTATAV TOPOLOOGIA.....	15
1.1 JÕUÜLEKANNE	15
1.1.1 Nõuded jõuülekandele	15
1.1.2 Erinevad jõuülekande valikud	21
1.1.3 Valitud jõuülekande komponentide analüüs	26
1.2 KARTAUTO.....	31
1.2.1 Kartauto puudused.....	31
1.2.2 Raamile teostatavad parandused	32
1.3 KARTAUTO PIDURISÜSTEEM	34
1.3.1 Pidurisüsteemi seisukord	34
1.3.2 Pidurisüsteemile teostatud parandused	35
2. Kartauto ehitus.....	36
2.1 Veosektsioon.....	37
2.2 Mootori kinnitusplaat	38
2.3 Juhtsektsioon	39
2.4 Rattad.....	42
2.5 Veosüsteem	42
2.5.1 Veotelg	42
2.5.2 Kettülekanne	43

2.5.3 Veosüsteemi koostamine	47
2.6 Mootori juhtimine.....	50
3. KARTAUTO KATSETAMINE.....	52
3.1 Kartauto jõuülekande katsetused.....	52
3.2 Kartauto pidurisüsteemi katsetused.....	52
KOKKUVÕTE	53
SUMMARY	55
KASUTATUD KIRJANDUS.....	57

EESSÕNA

Antud lõputöö teema pakkus välja TalTech elektrimasinate uurimisrühm. Koostöös juhendaja Ants Kallaste ning kaasjuhendaja Anton Rassõlkiniga sõnastati lõputöö teema, lähteandmed ja oodatavad tulemused. Teemas pakub mulle palju huvi jõuülekande projekteerimise vajadus ning selle praktiline ehitamine.

Töö praktiline osa valmis TTÜ Robotiklubis, Mektorys ning TalTech mehaanika ja tööstustehnika instituudi laborites. Siinkohal soovin tänada TTÜ Robotiklubi, mille ruumides põhiline lõputöö praktilise osa teostus toimus.

Praktilises töö koostamise osas soovin tänada hea nõu ning abi eest dotsent Priit Põdra, insener Hans Vallneri, doktorant-nooremteadur Mart Kolnest, nooremteadurit Märt Kolnest, insener Ülo Palmistet ning tehnik Hando Kuuskmani. Soovin tänada ka Harri Orast elektrikartauto elektroonilise lahenduse ehitamise eest.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

\prime	Nurgaminut
ω	Nurkkiirus
a	Kiirendus
a_0	Telgede vaheline kaugus
a_g	Raskuskiirendus
C	Veeretakistuse tegur
C	Keitrataste hammaste arvust tulenev tegur
D	Diameeter
DIN	Saksa Standardiinstituut (Deutsches Institut für Normung)
DRO	Digitaalne numbrinäit (Digital readout)
F	Kiirenduse saavutamiseks vajaminev jõud
F_a	Ratastelt masinale avalduv jõud
f_{mootor}	Mootori võlli pöörlemissagedus
f_{ratas}	Ratta pöörlemissagedus
F_v	Veeretakistuse poolt arendatav jõud
i	Ülekandearv
i_{min}	Ülekandearvu alumine piir
ISO	Rahvusvaheline standardiorganisatsioon (International Organization for Standardization)
l	Pikkus
m	Mass
n_r	Mootori nimipöörded
n_s	Väiksema ketiratta pöörlemissagedus
p	Keti samm
P_c	Arvestatav ülekande võimsus
P_{kW}	Mootori võimsus
r	Raadius
RAL	Euroopas käibel olev värvide eristamise standard (German RAL gGmbH)
S_i	Ülekandearvu koormuse varutegur
S_z	Väiksemast ketirattast sõltuv varutegur
S_y	Löökoormuse varutegur
z_1	Väiksema ketiratta hammaste arv
z_2	Suurema ketiratta hammaste arv
T_m	Pöördemoment mootorivõllil

T_r	Pöördemoment rattal
v_k	Keti joonkiirus
X	Ketilülide arv
X_0	Teoreetiline ketilülide arv

SISSEJUHATUS

Bakalaureusetöö eesmärgiks on projekteerida ja koostada olemasolevale kartauto raamile veomehaanika. Töö vajadus on tingitud sellest, et elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi elektrimasinate uurimisrühmal on olemas üks viga saanud ning seisma jäänud kartauto raam, mille saaks ehitada ümber demomasinaks. Õppekavade demonstreerimiseks saab modifitseeritud kartautot hästi näidata, sest väliselt näeb tulemus välja nagu iga tavaline kartauto, kuid tehniliste näitajate poolest on masin palju võimsam. See võib äratada abiturientides või tudengites huvi TalTechi tehnilistele õppekavade vastu. Lõputöö tulemusena valminud masin ei pea jääma tingimata demomasinaks- sellele on võimalik ka juurde arendada autonoomset juhtimist võimaldavaid süsteeme. Antud platvormile saab nende süsteemide arendamist ja rakendamist käsitleda mõne õppekava kursuse raames. Kuna masina ajami võimsus ning masina kogumass on suuremad kui tavalistel robotprojektidel, kuid väiksemad kui isesõitval autol, sobib lõpptulemusena valmiv masin õppeplatvormiks.

Lähtematerjalideks on kartauto raam, rattad ning muud vigastatud mehaanikakomponendid. Ülesandeks on lähtematerjalide põhjal valmistada mehaaniliselt töökorras ning etteantud nõuetele vastav masin.

Võrreldes konkreetse raami struktuuri ning olemasolevaid komponente, ei suudetud internetiavarustest sama masinat leida, kuid analoogsed elektrikartautod on Eestis müüdaval hinnavaheemikus 400-1000€. Arvestades, et töö käigus valmivat masinat kasutatakse pigem siseruumides või liiklusele suletud alal, ei ole selle ehitusel arvestatud liikluses osalemiseks kehtestatud nõudeid, milleks on näiteks esituled ja tagatuled. Töö mahtu arvestades ei teostata masina toruraamile olulisi muudatusi.

Kartauto mehaanika projekteerimiseks kasutati komponentide tootjakatalooge, mis sisaldavad ka lihtsamaid projekteerimises vajaminevaid dimensioneerimise meetodikaid, valemeid ning ka väljavõtteid standarditest. Dimensioneerimise meetodikat võrreldi ka teiste sarnaste toodete valmistajakataloogidest ning kirjanduslikest allikatest. Komponentidele tehtavate modifikatsioonide joonised valmistati raalprojekteerimise programmiga SolidWorks 2019, nende elluviimiseks kasutati frees-puurpinka BF20V, treipinki ning FastMig 450 MIG keevitust.

Lõputöö struktuuri esimeses osas määratletakse nõuded jõuülekandele ning märgitakse ära edasised plaanid kartauto ehitamiseks. Jõuülekande nõuded püstitatakse peamiselt analüütiliselt ning komponentide valikud tootjakataloogi järgi. Järgmises struktuuriosas kirjeldatakse kartauto ehituse käiku, kasutatud meetodeid ning ka tegevusi, mis ei olnud esimeses struktuuriosas

plaanitud. Viimases struktuuriosas kirjeldatakse masinale tehtud katsetusi ning nendest tehtud järeldusi.

1. TEHNIKA TASEME ANALÜÜS JA KASUTATAV TOPOLOOGIA

Kartauto tehnilise ehituse ja jõuülekanne projekteerimiseks oli vaja läbi viia analüüs. Uurimise lähteandmeteks oli etteantud kartauto raam koos osade mehaaniliste komponentidega ning juhendajatega püstitatud nõuded lõpptulemusel. Analüüsi tulemusena leiti sobiv konkreetne lahendus püstitatud ülesande jaoks, milleks on töötava kartauto ehitamine.

1.1 JÕUÜLEKANNE

Jõuülekanne on elektrikartauto üks põhilisi süsteeme ning ilma selleta ei saa ajamilt mehaanilist energiat ratastele kanda. Selleks oli mitu erinevat meetodit, kuid peamiselt keskenduti selle bakalaureusetöö raames kolmele enamlevinud jõuülekanne liigile. Leidmaks sobivat ülekandeliiki, määrati sellele nõuded ja piirangud vastavalt masina töötingimustele ning muule konstruktsioonile. Seejärel uuriti erinevaid võimalusi ülekande konstrueerimiseks ning nende hulgast valiti sobivaim ning leiti sellele ülekande liigile konkreetne lahendus ehitataval masinal.

1.1.1 Nõuded jõuülekandele

Projekteerimise esimeses etapis määratleti nõuded tulemusel ning lähteandmed, mille alusel sai ülekande liiki valida ning projekteerida. Arvestati ka piirangutega, mis tulenevad raami konstruktsioonist. Nõuete järgi leiti lähteandmed ülekande projekteerimiseks, milleks oli sobiv ülekandearvu vahemik. Selles alapunkti lõpus selguvad jõuülekanne projekteerimiseks vajalikud lähteandmed.

Etteseatud nõueteks jõuülekandele oli, et masin suudab kümne sekundiga saavutada kiiruse 20 km/h ratastega, mille läbimõõt on 245 mm. Jõuajamiseks kasutati harjadega alalisvoolumootorit nimivõimsusega 1 kW, nimipööretel 3000 min⁻¹. Ülekandele puudus mõistlik võimalus lekkekindla korpuse ehitamiseks.

Piiravateks teguriteks ülekande projekteerimisel olid ülekandelementide mõõdud. Need olid piiratud tulenevalt veotelje ning raami konstruktsioonist. Veetavale teljele ei mahtunud ära laiem ülekande detail kui 8 mm. Veetavale teljele paigutatav ülekande element sai olla maksimaalselt 180 mm läbimõõduga. Suurema läbimõõduga elemendi korral võis see masina liikumise ajal vastu maapinda käia ning purustada ülekande elemendi. Jõuallika teljele paigutatava ülekande elemendi suurim läbimõõt ilma raami oluliselt ümber ehitamata oli 70 mm. Väiksema ketiratta korral läheks ülekande element vastu raami.

Etteseatud parameetrite järgi sai ülekande projekteerimise lähteparameetrid arvutada, milleks olid nõuetele vastav ülekandearvu piiritlev vahemik.

Ülekandearv on jõuülekandel näitaja, mis iseloomustab jõuülekande sisendvõlli ning väljundvõlli kiiruste suhet. Projekteeritava ülekandel oli see piiritletud kiiruse ja kiirenduse nõuetega. Ülekandearvu kasvades muutub kiirus võrdeliselt ning jõud pöördvõrdeliselt ning vastupidi. **Alumiseks ülekandearvu piiriks** oli ülekandearv, millega suutis kartauto jõuajam kiirendada masinat kümne sekundiga kiiruseni 20 km/h. Ülekandearvu ülemiseks piiriks oli aga ülekandearv, millega oli kartauto tippkiirus vähemalt 20 km/h. Ülekandearvudele tehti arvutused tabeli 1.1 järgi.

Tabel 1.1 Lähteandmed ülekandearvude arvutamiseks

Saavutatav kiirus kümne sekundiga	$v = 20 \frac{km}{h}$
Nõutud minimaalne tippkiirus	$v_{min} = 20 \frac{km}{h}$
Ratta diameeter	$r = 245 \text{ mm}$
Kartauto suurim lubatud täismass	$m = 120 \text{ kg}$
Raskuskiirendus	$a_g = 9,8 \frac{m}{s^2}$
Mootori väljundvõlli nimipöörded	$n_r = 3000 \text{ min}^{-1}$
Mootori võimsus	$P_{kW} = 1 \text{ kW}$

Alumine ülekandearvu piiri arvutamiseks leiti vajalik masina kiirendus, pöördemoment ja kiirus ratastel. Kuna ülekandearv iseloomustab ka jõuülekande sisend- ja väljundvõlli pöördemomentide teoreetilist suhet, leiti see arvutades vajaliku ratastele kantava ning mootori võlli pöördemomentide suhe. Rataste pöördemoment määrs ära masinale mõjuva jõu ning jõud sõltus kiirendusest ning veeretakistusest. Esmalt leiti vajalik kiirendus valemiga (1.1) masinale, et saavutataks kiirenduse nõue.

$$v = v_0 + a * t$$

$$a = \frac{v}{t} \tag{1.1}$$

$$v = 20 \frac{km}{h} \approx 5,55 \frac{m}{s}$$

$$v_0 = 0$$

$$t = 10s$$

$$a = \frac{5,55 \text{ m}}{10 \text{ s} * \text{s}} = 0,555 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Kus v – lõppkiirus, $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
 v_0 – algkiirus, $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
 a – kiirendus, $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 t – aeg, s

Valemiga (1.1) saadi kiirendus $a = 0,555 \text{ ms}^{-2}$. Kiirendusega leiti kasutades Newtoni teist seadust (1.2) vajalik jõud, millega sai vajaliku kiirenduse saavutada.

$$a = \frac{F_a}{m} \tag{1.2}$$

$$F_a = a * m$$

$$F_a = 0,555 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 120\text{kg} = 66,6 \text{ N}$$

Kus a – kiirendus, $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 F_a – rataste poolt masinale avalduv jõud, N
 m – masina mass koos juhiga, kg

Liikumist takistab veeretakistus. Veeretakistuse arutamiseks arvestati, et veeremine toimub pneumaatilise täitega rehvidega kuival, sileda pinnakattega teel ning sellel juhul on veeretakistuse teguriks $c = 0,0125$ [1]. Arvutus veeretakistuse leidmiseks tehti valemiga (1.3).

$$F_v = c * m * a_g \tag{1.3}$$

$$c = 0,0125$$

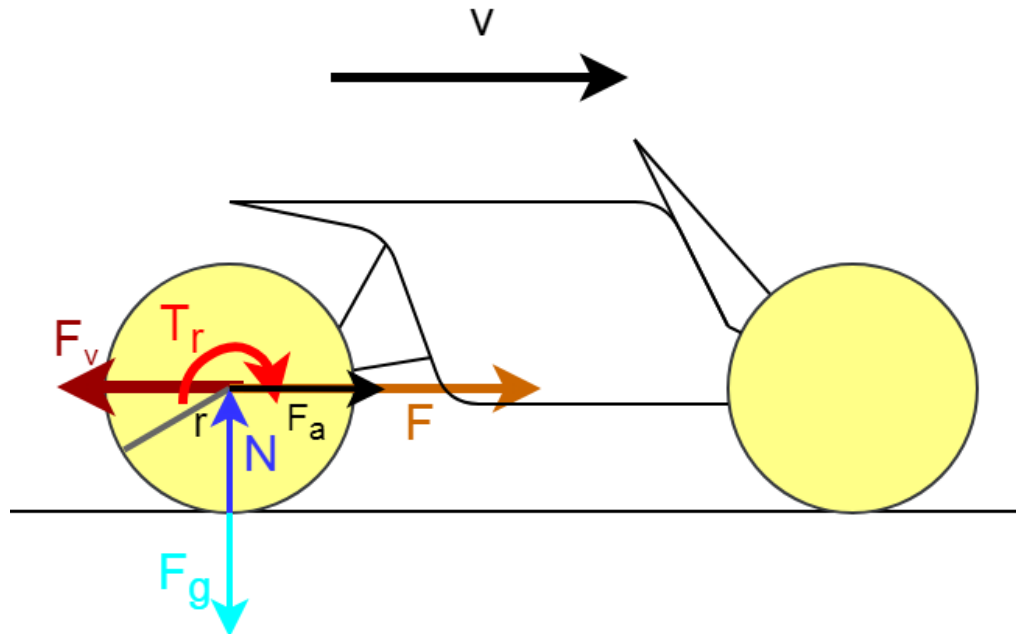
$$m = 120 \text{ kg}$$

$$a_g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_v = 0,0125 * 120\text{kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 14,7 \text{ N}$$

Kus F_v – Veeretakistuse poolt avaldatav jõud, N
 c – Veeretakistuse tegur
 m – masina mass koos juhiga, kg
 a_g – Raskuskiirendus, $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Kuna veeretakistus on suunalt liikumisele vastupidine ehk liikumist takistav jõud, tuli rakendada kartauto edasiliikumiseks selle võrra suuremat jõudu, mis leiti valemiga (1.4). Lihtsustatud kujul mõjusid jõud masinale Joonis 1.1 järgi.



Joonis 1.1 Lihtsustatud jõudude skeem kartautol

$$F = F_v + F_a \quad (1.4)$$

$$F_a = 14,7N + 66,6N = 81,3 N$$

Kus F – kiirenduse saavutamiseks vajaminev jõud, N

F_v – veeretakistuse jõud, N

F_a – kiirenduse saavutamiseks vajaminev jõud, N

Pöördemoment sõltus võrdeliselt ratta raadiusest. Ratta raadius leiti valemiga (1.5) ning pöördemoment valemiga (1.6)

$$r = \frac{d}{2} \quad (1.5)$$

$$d = 245 \text{ mm}$$

$$r = \frac{245 \text{ mm}}{2} = \frac{0,245 \text{ m}}{2} = 0,1225 \text{ m}$$

Kus d – ratta diameeter (m)
 r – ratta raadius (m)

$$T_r = F_t * r \quad (1.6)$$

$$T_r = 81,3N * 0,1225m = 9,959 N * m \approx 10 Nm$$

Kus T_r – pöördemoment rattal, Nm
 r – ratta raadius, m

Valemist (1.6) selgus, et vajamineva veotelje pöördemoment on vähemalt 10 Nm. Mootori väljundvõlli pöördemoment sõltus väljundvõlli nimipööretest ja -võimsusest, mis olid vastavalt $n_r = 3000 \text{ min}^{-1}$ ja $P_{kW} = 1 \text{ kW}$. Mootorivõlli pöördemoment leiti valemiga (1.7) [2]

$$T_m = \frac{P_{kW}}{\omega} \quad (1.7)$$

$$\omega = n_r * \frac{2 * \pi}{60}$$

$$T_m = 9550 * \frac{1.0 \text{ kW}}{3000 \frac{1}{\text{min}}} = 3.1833 \approx 3,18 Nm$$

Kus T_m – mootorivõlli pöördemoment, Nm
 ω – nurkkiirus, $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$
 P_{kW} – mootori nimivõimsus, kW
 n_r – mootori nimipöörded, $\frac{1}{\text{min}}$

Valemist (1.7) selgunud pöördemomenti kasutades leiti valemiga (1.8) minimaalne lubatav ülekandearv, mis oli jõuülekande üheks projekteerimise tingimuseks. [3]

$$T_r = i_{min} * T_m$$
$$i_{min} = \frac{T_r}{T_m} \quad (1.8)$$

$$i_{min} = \frac{10 Nm}{3,18 Nm} = 3,1446 \approx 3,15$$

Kus T_r – ratta pöördemoment, Nm
 i_{min} – alumine ülekandearvu piir
 T_m – mootorivõlli pöördemoment, Nm

Eelnevate arvutuste kohaselt oli projekteeritavale jõuülekandele vaja vähemalt ülekandearvu 3,15. Selle ülekandearvu puhul saavutati väljundvõllile pöördemoment $T_r > 10 Nm$

Ülekandearvu ülemine piir sõltus ettenähtud masina tippkiiruse nõudest ning mootori väljundvõlli nimipööretest. Nõude järgi pidi masina tippkiirus olema vähemalt 20 km/h kasutades mootorit, mille võlli nimipöörded olid $n_r = 3000 \text{ min}^{-1}$. Ülekandearvu ülemiseks piiriks oli mootorivõlli pöörlemissageduse suhe nõudest sõltuvale ratta pöörlemissagedusse. Ülekandearvu ülemine piir leiti valemiga (1.9) [3]

$$i_{max} = \frac{f_{mootor}}{f_{ratas}} \quad (1.9)$$

Ratta pöörlemissagedus kiiruse $v = 20 \text{ km/h}$ juures leiti valemiga (1.10)

$$f_{ratas} = \frac{l}{c_r} \quad (1.10)$$

$$l = v * t$$

$$l = 5,55 \frac{m}{s} * 1 s = 5,55m$$

$$c_r = 2 * \pi * r = d * \pi = 0,245m * 3,14 = 0,7693m \approx 0,77m$$

$$f_{ratas} = \frac{5,55m}{0,77m} = 7,2077 * \frac{1}{s} = 432,46 \frac{1}{min}$$

$$i_{max} = \frac{f_{mootor}}{f_{ratas}} = \frac{3000 \text{ min}}{432,46 \text{ min}} = 6,937 \approx 6,9$$

Kus f_{ratas} – ratta pöörlemissagedus, $\frac{km}{h}$
 c_r – ratta ümbermõõt, m
 l – sekundiga läbitud teepikkus, m

Valemist (1.9) järelds, et maksimaalne lubatav jõuülekande arv oli 6,9.

Eelmiste arvutuste toel koostati jõuülekande projekteerimiseks piisavate andmetega Tabel 1.2 ning selle põhjal projekteeriti jõuülekanne.

Tabel 1.2 Ülekande projekteerimise lähteparameetrid

	Väärtus
Jõuallikas	Elektrimootor
Mootori võimsus	1 kW
Mootori võlli pöörlemissagedus	3000 min ⁻¹
Ülekandearv	3,15...6,9
Maksimaalne ülekande elemendi laius	8 mm
Maksimaalne mootori võllil asetseva elemendi läbimõõt	70 mm
Maksimaalne veoteljel asetseva elemendi läbimõõt	180 mm
Mootori võlli ja veotelje telgede vaheline vahemaa	120 ±5 mm

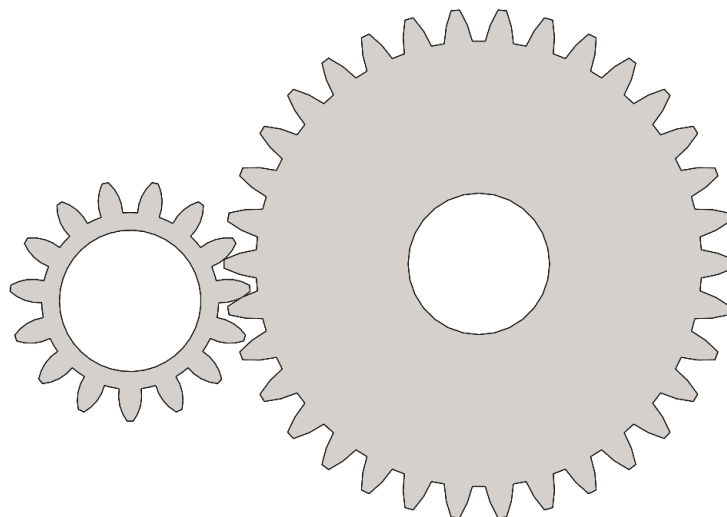
1.1.2 Erinevad jõuülekande valikud

Leidmaks sobivat jõuülekande tüüpi, uuriti erinevate jõuülekannete sobivust elektrikartautole ja kasutustingimustele. Jõuülekande valikul lähti kolmest varjandist: hammas-, rihm- ning kettülekanne.

Uuriti nõudeid komponentide olemasolule, nende paigalduse täpsusele ning ka määrimisele. Sobivate komponentide olemasolu vaadati Mädleri tootekataloogist [4].

Hammasülekande(Joonis 1.2) põhiosaks on hammasrattad kus ülekanne toimub vähemalt kahel teljele fikseeritud hammasrataste hammaste omavahelise hambumisega. Nii kantakse ühelt teljelt teisele teljele mehaanilist jõudu jõumomendiga ning liikumist pöörlemissagedusena. Töökindla hammasülekande eelduseks on pidev hammasrataste tööpindade määrdeainega katmine ning fikseeritud hambumine hammasrataste vahel. Hammasülekannetel on ranged nõuded paigutuse täpsusel [4]. On ülioluline, et hammasrataste paari tsentrite vahekaugus on pidevalt sama,

kõikumised on lubatud aga väikese tolerantsivälja sees, mis sõltuvad suuresti hammasrattaste valmistamise meetodist ja kasutusest [5].



Joonis 1.2 Hammasülekanne

Antud lahenduse korral oli suureks probleemiks ülekandel selle määrimine, kuna lekkekindla korpuse valmistamine ei olnud antud töö juures mõistlik. Ilma hammasülekanne määrimiseta on selle eluiga lühike ning ülekanne puruneb üsna kiirelt. Järgmiseks probleemiks oli sobivate komponentide leidmine. Sobivateks komponentideks oleksid olnud hammasrattad, mida saaks telgedele paigaldada nii, et hammasrattaste vahel toimuks hambumine soovitud ülekandearvuga. Lähtudes masinaelementide tootjakataloogist komponentide valimisel, ei leidunud kataloogis sobivaid hammasrattaid ülekande teostamiseks [6]. Piiravaks tingimuseks oli veoteljele mahtuva suurima hammasratta laius, mis ületas etteseatud piiri, milleks oli Tabel 1.2 järgi $l = 8\text{mm}$.

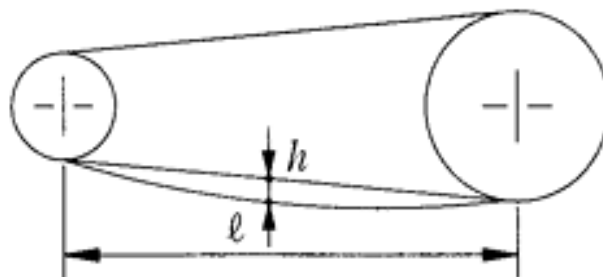
Rihmülekanne (Joonis 1.3) kuulub painduva vahelülga hõõrdumisega ülekannete alla. Liikumine ning jõud kantakse vedavalt elemendilt üle veetavale elemendile hõõrdejõu abil. Rihmülekannetel kasutatakse peamiselt kolme erinevat tüüpi rihma: kiilrihma, hammasrihma ja lamerihma. Ülekande telgedele paigutatakse rihmarattad vastavalt soovitud ülekande suurusele. Rihmülekanne eelisteks on võimekus kanda jõudu üle pika vahemaa taha ning rihmarattaste paigutusel ei ole väga kõrgeid nõudeid täpsusel - rihmarattaste paari teljed ei pea olema täiesti paralleelsed. Rihm ei vaja määret ning seetõttu on hoolduskulud madalamad [4].



Joonis 1.3 Rihmülekanne [7]

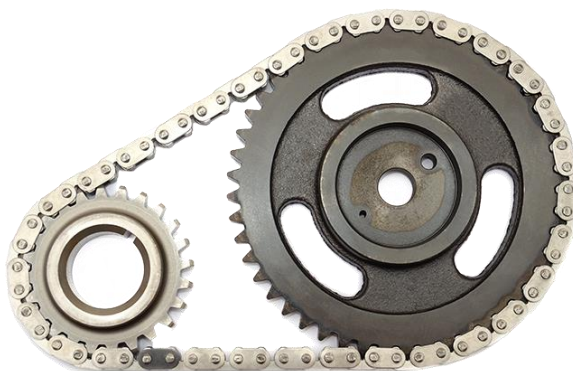
Puuduseks rihmülekanadel oli vajadus rihma pidevalt pingutada, sest kasutusega rihm venib ja kulub. Lisaks olid rihmad saadaval kindlates pikkustes ning ülekanne projekteerimisel tuleb sellega arvestada. Tootekataloogis olevate rihmarataste laiused algavad $l = 10$ mm. See oli liiga lai tabeli 1.2 järgi ning taaskord ei sobinud antud elektrikartauto jõuülekanne liigiks [6].

Kettülekanne (Joonis 1.5) kuulub painduva vahelülga hambumisega ülekannete hulka. Energia kantakse ühelt võllilt teisele üle ajamiketi ja ketirataste hambumise kaudu. Kettülekanne täpsuse nõuded on võrreldes hammasülekanne ja rihmülekanne nende kahe vahel [4]. Näiteks ketiratastel on paralleelsuse tolerants kahe ketiratta vahel lubatud 1 mm, juhul kui ketirataste tsentrite vahe on väiksem kui $l = 1$ m [8]. Lisaks tohib ketirataste telgede omavaheline nurk olla üherealiste kettide puhul väiksem kui 40° [9]. Kettülekannetel on vaja kett õigesti pingutada. Õigesti pingutatud ketil on keti lõtk ligikaudu 4% (Joonis 1.4) [8].



Joonis 1.4 Keti lõtk. Õige pingutuse juures on lõtku suurus $\frac{h}{l} * 100\% \approx 4\%$ [8]

Nagu hammasülekanne puhul, vajab ka kettülekanne määrimist, mille intervall sõltus kasutustingimustest. Erinevad kettülekanne määrimise võimalused olid näiteks käsitsi määrimine, tilkmäärimine ning õlivannmäärimine [10]. Projekteeritav kettülekanne töötas avatud tingimustes ehk sellel puudub lekkekindel korpus. Sellest tulenevalt tuleks ketti määrada käsitsi iga kindla aja tagant.



Joonis 1.5 Kettülekanne [11]

Projekteeritava ülekande liigi valikul lähtuti peamiselt tabelist 1.2 ja 1.3, mille järgi sobivaimaks ülekande tüübiks osutus kettülekanne. Peamiseks pooltargumendiks kettülekanne valimisel olid komponentide saadavus [4], telje ümberehituse vajaduse puudus ning kõrge ülekandearvu saavutamise võimalikkus [5]. Samuti oli eelnevalt antud raamil rakendatud telje ning mootori vahel kettülekanne.

Tabel 1.3 Erinevate ülekandeliikide võrdlus. Tabeli sisu komplekteeriti vastavalt alapunktis 1.1.2 arutletud võimaluste järgi.

	Hammasülekanne	Rihmülekanne	Kettülekanne
Nõuded paigalduse täpsusele	Kõrged	Madalalad	Keskmsed
Määrimine	Nõutud	Puudub	Oleneb kasutusest
Saavutatavad ülekandearvud	1...3	1..6	1...8
Paigalduse võimalikkus raamile	Vajas mootorikinnituse ning raami ümberehitamist	Vajas veotelje ümberehitamist	Väga hea, ei vajanud olulisi ümberehitusi raamil ja teljel.
Üldine komponentide saadavus	Väga hea	Hea	Väga hea
Sobivate komponentide saadavus	Halb	Halb	Hea

1.1.3 Jõuülekanne komponentide analüüs

Jõuülekanne kolmandas projekteerimise faasis leiti konkreetne lahendus, mis vastas tabelis 1.2 olevatele lähteandmetele ning eelmises alapunktis tehtud valikule. Konkreetse lahenduse leidmiseks valiti ülekandearv ning seda võimaldavad komponendid. Komponendid valiti Mädleri tootekataloogist [4] ning keti dimensioneerimise analüüs tehti keti tootja Wippermann tootekataloogi [10] alusel. Selle järgi leitakse varutegurid sõltuvana ülekande iseloomust. Eesmärk oli leida sobivad ketirattad, kett, keti pikkus ja kiirus. Nende teadmiste järgi sai osta komponendid ning konstrueerida jõuülekanne ning valida sobiv keti määrimise meetod.

Lähtudes eelnevalt arvatud nõuetele jõuülekandele (Tabel 1.2), valiti esimeseks võimalikuks ülekandearvuks 5, mis jäi etteseadud vahemikku. Lõplik ülekandearv sõltus valitud ketirataste hammaste arvude suhtest. Suurema ketiratta hammaste arv pidi olema viis korda kõrgem kui väikese ketiratta hammaste arv. Valisiti kataloogist ketirattad hammaste arvudega $z_1=11$ ja $z_2=57$. Valitud ketirattad sobisid mõõtetelt kartauto jõuülekandeks. Lähteandmete tabeli 1.2 ning valitud komponentide tabeli 1.4 järgi vastasid komponendid nõuetele. Nendega saavutatav ülekandearv leiti valemiga (1.11)

$$i = \frac{z_2}{z_1} \tag{1.11}$$
$$i = \frac{57}{11} \approx 5,18$$

Kus i – ülekandearv

z_1 – väiksema ketiratta hammaste arv

z_2 – suurema ketiratta hammaste arv

Ülekandetegur $i = 5,18$ jäi tabelis 1.2 etteseadud vahemikku.

Tabel 1.4 Valitud ketirataste olulisemad parameetrid [6].

	Hammaste arv z	Laius l	Läbimõõt d
Väiksem ketiratas	11	13 mm	31,7 mm
Suurem ketiratas	57	4 mm	148,6 mm

Keti valimisel tuli arvestada ka varuteguriga, kuna nii sai tagada ketile pikem eluiga [12]. Varutegurite valimine ülekandele toimus lähtudes keti koormuse iseloomust, väiksema ketiratta hammaste arvust ning jõuülekanne ülekandearvust. Varuteguri abil leiti arvestatav võimsus P_C mille järgi sai kettülekanne keti suuruse graafikust valida. Arvestatav võimsus leiti valemiga (1.12) [10]

$$P_C = P_{kW} * S_y * S_i * S_z \quad (1.12)$$

Kus P_C – arvestatav võimsus, kW

P_{kW} – mootori võimsus, kW

S_y – Löötkoormusest tulenev varutegur

S_i – Ülekandearvust tulenev varutegur

S_z – Väiksema ketiratta hammastest tulenev varutegur

Ajami võllil oleva ketiratta hammaste arvust tuleneva varuteguri komponent leiti tabelist 1.5 [10]

Tabel 1.5 Varuteguri komponent sõltuvana ketiratta hammaste arvust. Kollase taustaga on märgitud projekteeritava ülekande varuteguri veerg [10].

z	11	13	15	17	19	21	23	25	31	37
S_z	1,80	1,50	1,30	1,13	1,00	0,90	0,81	0,74	0,60	0,50

Ajami võllile valiti $z_1=11$ hambaga ketiratas, seega sellest tulenev varuteguri komponent oli $S_z=1,8$.

Ülekandearvust tulenev varuteguri komponent leiti tabelist 1.6.

Tabel 1.6 Varuteguri komponent sõltuvana ülekandearvust. Kollase taustaga on märgitud projekteeritava ülekande varuteguri veerg [10].

i	1:1	2:1	3:1	5:1
S_i	1,22	1,08	1,00	0,92

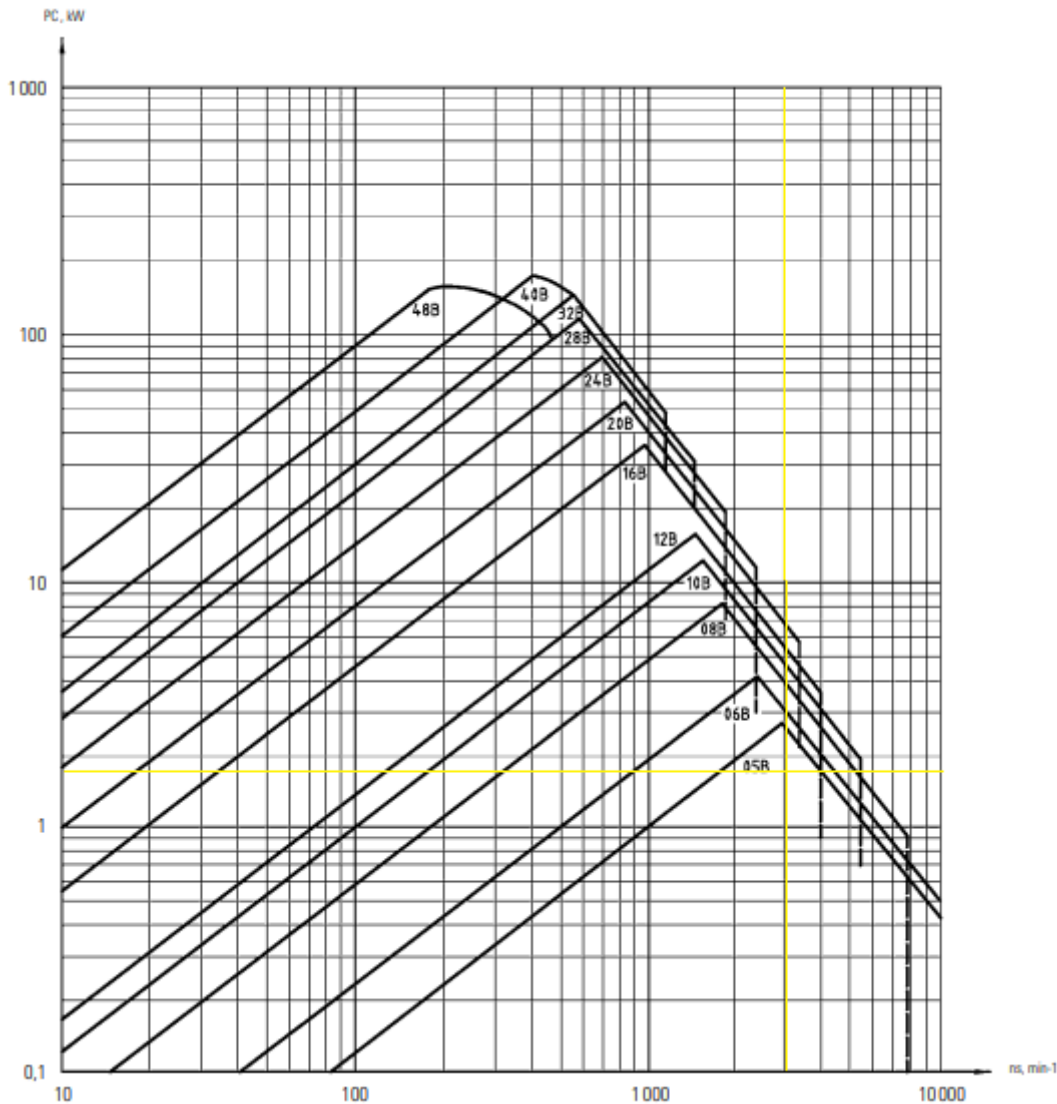
Antud tabeli järgi oli ülekandearvust tuleneva varuteguri komponendi väärtus $S_i=0,92$. Arvestades, et jõuallikaks oli elektrimootor, mille võimsust muudeti pidevalt ning erilist löötkoormust ei esinenud, valiti tootjakataloogi tabelist koormuse iseloomust tulenevaks varuteguri komponendiks $S_y=1,1$ [10].

Arvestatava võimsuse suurus P_C oli arvutatud valemiga (1.12).

$$P_C = 1,0kW * 1,8 * 0,92 * 1,1$$

$$P_C = 1,8216kW \approx 1,82kW$$

Keti mõõt leiti kasutades keti jõudiagrammi. Selleks oli vaja väiksema ketiratta pöörlemisagedust ning ülekantavat arvestatavat jõudu. Antud jõuülekandes oli teada, et väiksema ketiratta pöörlemiskiirus on kuni $n_1 = 3000 \text{ min}^{-1}$ ning arvestatav võimsus $P_C = 1,82kW$. Olemasolevate andmete põhjal osutus joonise 1.6 järgi, et ülekandeks sobis ISO 606 05B kett [10].



Joonis 1.6 Jõudiagramm ISO 606 Euroopa tüüpi kettidele [10].Jooned graafikul piiritlevad nende juurde märgitud keti mõõdu kasutustingimusi. Kollaste joontega on märgitud projekteeritava ülekande tingimused graafikul. P_C – Võimsus(kW), n_s - Väiksema ketiratta pöörlemisagedus(min⁻¹)

Keti pikkus leiti kasutades kataloogis olevaid valemeid (1.13, 1.14, 1.15) [10]. Valemi (1.13) tulemina sai ketipikkuse lülide arvuna. Teoreetiline keti pikkus leit valemiga (1.14). Kui selle valemi tulemiks on murdarv, siis ümardatakse lülide arv vastavalt valemile (1.13) järgmise täisarvuni.

Soosida tuli paarisarvulist ketilülide arvu, sest vastasel juhul oleks pidanud kasutama painutatud ketilukku (*Cranked link*), mis vähendaks kogu keti tugevust [10].

$$X = [X_0] \quad (1.13)$$

$$X_0 = 2 * \frac{a_0}{p} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{C * p}{a_0} \quad (1.14)$$

$$C = \left(\frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2 \quad (1.15)$$

Kus X_0 – teoreetiline ketilülide arv

X – ketilülide arv

a_0 – telgede vaheline kaugus, mm

p – keti samm, mm

z_1 – väiksema ketiratta hammaste arv

z_2 – suurema ketiratta hammaste arv

C – Ketirataste hammaste arvust tulenev tegur

$$C = \left(\frac{57 - 11}{2 * 3,14} \right)^2 = 7,3248^2 \approx 53,65$$

$$X_0 = 2 * \frac{120\text{mm}}{8\text{mm}} + \frac{57 + 11}{2} + \frac{53,65 * 8\text{mm}}{120\text{mm}}$$

$$X_0 = 30 + 34 + 3,57 = 67,57$$

$$X = [67,57] = 68$$

Keti kiiruse järgi sai hinnata ülekandele määrimise vajadust ning meetodit. Keti kiirus leiti valemiga (1.16), mis oli välja toodud tootjakataloogis [10].

$$v_k = \frac{n_1 * z_1 * p}{60000} \quad (1.16)$$

$$v_k = \frac{3000 * 11 * 8}{60000} = 4,4 \frac{m}{s}$$

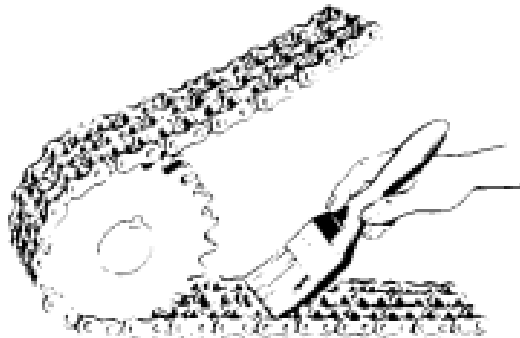
Kus v_k – keti kiirus, $\frac{m}{s}$

n_1 – väiksema ketiratta pöörlemisagedus, $\frac{1}{min}$

z_1 – väiksema ketiratta hammaste arv

p – keti samm, mm

Keti kiiruse $v_k = 4,4 \text{ms}^{-1}$ järgi ilmnis tootjakataloogi määrimismetoodika valimise tabelist, et antud kettülekannet tuleks määrada survestatud määrdeaine pealevooluga [10]. Survestatud pealevooluga määrdeainega määrimine nõudis lekkekindlat korpust, mida antud tingimustes ei saanud lubada. Arvestades võimalusi ülekande määrimiseks, siis ainus võimalus oleks ketti käsitsi määrada enne selle kasutust.



Joonis 1.7 Keti käsitsimäärimine [10]

Projekteerimise kolmandas faasis selgusid olulised parameetrid kettülekande konstrueerimiseks mis on koondatud tabelisse 1.7. Leiti, et kettülekandel kasutatakse ketirattaid hammaste arvudega väiksemal ja suuremal ketirattal vastavalt $z_1 = 11$ ja $z_2 = 57$ hammast. Keti dimensioneerimisel saadi selgeks, et kasutada tohib ISO 606 05B ketti. Ketti on vaja käsitsi määrada enne igat kasutuskorda.

Tabel 1.7 Keti konstrueerimise lähteparameetrid

Keti ISO 606 Euroopa tüüpi mõõt	05B-1
Keti samm	$p = 8 \text{ mm}$
Keti pikkus lülide arvuna	68 lüli
Keti määrimine	Käsitsi enne igat kasutuskorda
Ketirastaste tsentrite vaheline kaugus	$l = 120 \text{ mm}$
Väiksema ketiratta hammaste arv	$z_1 = 11$ hammast
Suurema ketiratta hammaste arv	$z_2 = 57$ hammast

1.2 KARTAUTO

Kartautoks nimetatakse selle töö lõpuks valmivat neljarattalist elektriajamiga juhivat masinat. Selle raamiks oli olemasolev elektrimasinate uurimisrühma poolt pakutud kartauto raam koos teiste mehaaniliste komponentidega. Eesmärk oli kartauto muud komponendid korda teha või välja vahetada ning läbi selle teha masin juhitaavaks ilma, et juht peaks üleliigset jõudu rakendama. Selleks tuli visuaalselt ning katseliselt uurida kartautot ning tuvastada puudused selle komponentidel ja määrata vajalikud parandused ning meetodid eesmärgiga viia kartauto vastavusse soovitud parameetritega.

1.2.1 Kartauto algseis

Kartauto raam (Joonis 1.8) oli ehitatavat masinat siduv konstruktsioon. See koosnes ümartoruprofiilidest ja painutatud metallist. Profiilid olid omavahel seotud keevsliitega, liikuvad raami osad olid liidestatud poldidega. Valdavalt oli raamil kasutatud sisekuuskantpolte. Raami visuaalsel vaatlusel selgus, et raam ning muud liikuvad komponendid (Joonis 1.9) olid olulisel määral korrodeerunud.



Joonis 1.8 Kartauto algne raam



Joonis 1.9 Kartauto käänmik ja rooliots

1.2.2 Raamile teostatavad parandused

Selleks, et määrata raami algseis ning, et viia raam kasutuskõlblikuks, võetakse raam algosadeks. Selle eesmärgiks oli leida komponentide puudusi, mida saaks kõrvaldada. Plaanis oli kõik poltliited lahtiühendada, välja vahetada kõik laagerdused ning metallist detailidele ilmastikukindlust lisada kattes neid värvikihiga.

Raami alg osadeks võtmisel selgus, et kinnitus poldid olid korrodeerunud. See võis olla tingitud valede poltide kasutamisest või raami niiskes keskkonnas seismisest. Sellest tingituna otsustati kartautol kasutatud poltliidetel vahetada välja kõik poldid ja mutrid (Joonis 1.10) vähemalt samaväärsete vastu. Lahtiühendatud raami osad puhastati liivapritsiiga, eemaldades värvi ja roostekihi, ning seejärel lisati raamile ilmastikukindlust seda värvides.



Joonis 1.10 Kartautol kasutusel olnud korrodeerunud mutrid

Roolisüsteemi kasutamiseks tuli algselt liialt palju jõudu rakendada. Probleemi tuvastamiseks eemaldati ükshaaval roolivarda ning esirataste vahelisi ühendusülisi ning prooviti juhtrauda pöörata. Selle protsessiga selgus, et probleem on kinni kiilunud käänmikud ning ka korrodeerunud rooliotses, sest antud komponentide eemaldamisel oli juhtrauda kergem keerata. Nende probleemide lahenduseks tuli soetada uued rooliotsad koos varrastega ning käänmikud roostest puhastada ning kaitsva värvikihiga katta.

Uueks mootoriks valiti projektis MY1020 1kW mudel (Joonis 1.11), mis vastas projekti nõuetele. Selle raamile paigutamiseks tuli raamile valmistada uus mootorikinnitusplaat, kuna algselt raamil olnud kinnitusplaadi avade paigutus ei ühtinud uue mootoriga. Kinnitusplaadi uute avade paiknemine leiti mootori joonistest. Kinnitusplaadi avadeks olid sooned, mida kasutatakse mootori võllil ning veoteljel paiknevate ülekandekomponentide omavaheliseks joondamiseks. Soonte valmistamiseks kinnitusplaadile otsustati kasutada metallifreespinkki.



Joonis 1.11 Uus kartauto elektrimootor [12]

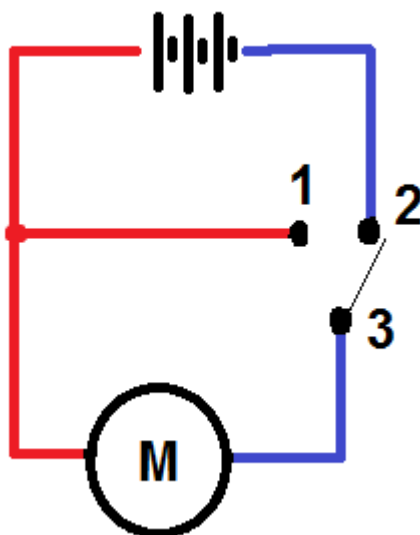
Kokkuvõttes oli plaanis kartautole teostada parandustööd, mille tulemusena saab masina soovitud kujul konstrueeritud. Need tööd on koondatud tabelisse 1.8.



Joonis 1.12 Kartauto pidurisadul ning ketas

1.3.2 Pidurisüsteemile teostatavad muudatused

Kartautol olev pidurisüsteem oli sellele teostatud vaatluste põhjal halvas seisukorras ning tuli eemaldada. Kaaluti ka analoogse mehaanilise pidurisüsteemi ehitamist, kuid töö mahtu arvestades seda otsustati seda mitte teha. Olemasolevaid komponente kasutades sai aga mootoriga pidurdamise lahenduse ehitada ilma, et oleks pidanud oluliselt mehaanilisi komponente masinale lisama. Mootoriga pidurdamisega süsteem otsustati lahendada mootori lühistamise teel mille põhimõtteline juhtimis skeem on toodud joonisel 1.13.



Joonis 1.13 Mootoriga pidurdamise rakendamise võimalus. Klemmide 3-2 ühendamise korral hakkab mootor tööle ning klemmide 3-1 ühendamise korral mootor pidurdab.

2. Kartauto ehitus

Kartauto ehituse käigus teostati masina raamile ja muudele komponentidele renoveerimis- ja hooldustööd ning ehitati jõuülekanne. Hooldus- ja renoveerimistööde eesmärk oli mehaaniliste komponentide omavahelise korrektse töökorra tagamine ning masina eluea pikendamine. Jõuülekanne ehitamisel tagatakse ajami ja veotelje vaheline ühendus, mis võimaldab kartautol liikuda. Ehituse esimeses faasis demonteeriti olemasolev kartauto laiali ning kaardistati vajaminevad komponendid. Seejärel hangiti kõik teadaolevalt vajaminevad komponendid ja paralleelselt tarneaja vältel tegeleti olemasoleva raami puhastus- ning värvimistöödega.

Esmalt teostati kartauto raami demontaaž. Selle käigus jaotati raam kolmeks osaks: põhiraam, juhtseksioon ning veoseksioon. Põhiraam koosnes toruprofilidest ning muudest külge keevitatud kinnituselementidest. Põhiraami keskel oli juhtsamba toru, kuhu fikseeriti kahe kuullaagriga juhtsammas. Põhiraamile teostati põhjalik puhastus kasutades liivapritsi (Joonis 2.1) ning seejärel värviti raam üle oranži (RAL2004) akrüülspreivärviga (Joonis 2.2), kattes pinna vähemalt nelja värvikihiga.



Joonis 2.1 Kartauto põhiraam pärast liivapritsiga töötlemist



Joonis 2.2 Kartauto raam kaetud osalise värvikihiga

2.1 Veoseksioon

Veoseksioon (Joonis 2.3) oli raami osa, kuhu kinnitub veomootor ning tagumine kartauto telg. Telg kinnitus raami külge kahe kumera klambriga, mis surusid teljel olevad eksentrilised laagrikorpused vastu veoseksiooni ümarat pinda.

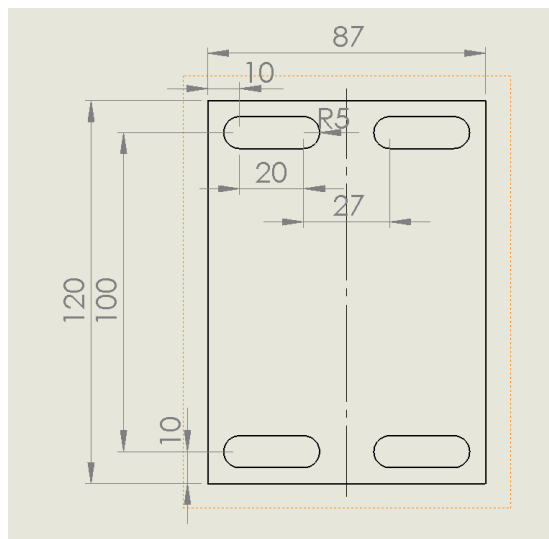
Veomootori kinnitusplaat lõigati lahti veoseksioonist, sest uue mootori kinnitusavade paigutus ei ühtinud olemasolevaga. Ketaslõikuriga lõigati kinnitusplaati veoseksiooni külge fikseerivad keevisõmblused läbi ning seejärel lihviti pinnad siledaks ning tehti ära võimalikud ettevalmistused uue kinnitusplaadi külge keevitamiseks.



Joonis 2.3 Kartauto raami veoseksioon

2.2 Mootori kinnitusplaat

Selleks, et oleks võimalik uus mootor kinnitada kartautole oli vaja välja töötada uus mootori kinnitusplaat. Kinnitusplaadi projekteerimise nõueteks oli, et mootorit saaks telgemööda nihutada ja pöörata kinnitusplaadil. Need nõuded olid vajalikud keevitusest tingitud ebatäpsuste kompenseerimiseks. Kinnitusplaadi valimiseks tehti juhised raalprojekteerimis tarkvaraga Solidworks 2019. Projekteeritud kinnitus plaat on ära toodud joonisel 2.4, mis sisaldab detaili valmistamiseks olulisi mõõtmeid. Mootori kinnitusplaat valmistati S235JR 6 mm teraslatist, mis oli TTÜ Robotiklubi töökojas kohapeal kasutamiseks olemas .

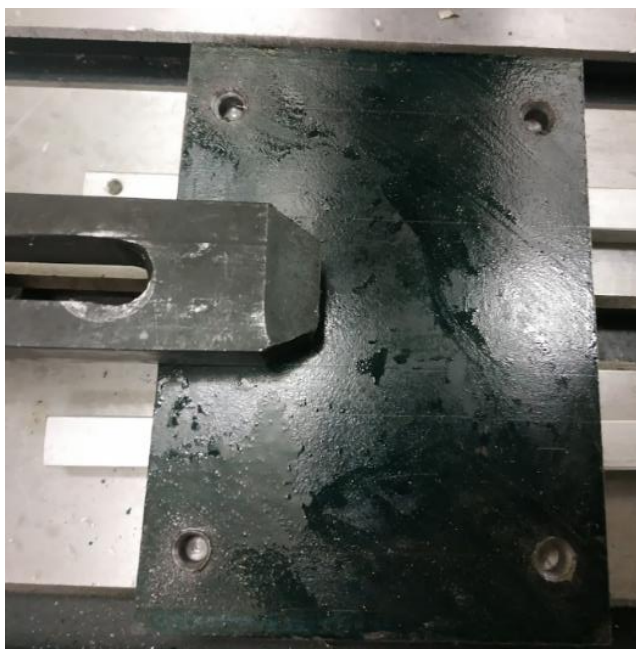


Joonis 2.4 Uue mootori kinnitusplaadi olulised mõõtmed selle valmistamiseks millimeetrites

Kinnitusplaadi valmistamise esimene etapis lõigati teraslatist välja sobiva pikkusega toorik, milleks kasutati mehaanika ja tööstustehnika instituudi töökoja lintsaagi Pilous (Joonis 2.5). Järgmise etapina puhastati tooriku pind kaltsuriidega ning Motip piduripuhastusvedelikuga. Tooriku pind kaeti märkesinisega ning toorikule märgistati kõik olulised jooned ning punktid soonte freesimiseks (Joonis 2.6). Freesimisel kasutati TTÜ Robotiklubis frees-puurpinkki BF20 Vario ning sõrmfreesi läbimõõduga $d=10$ mm.



Joonis 2.5 Metalli lintsaa Pilous



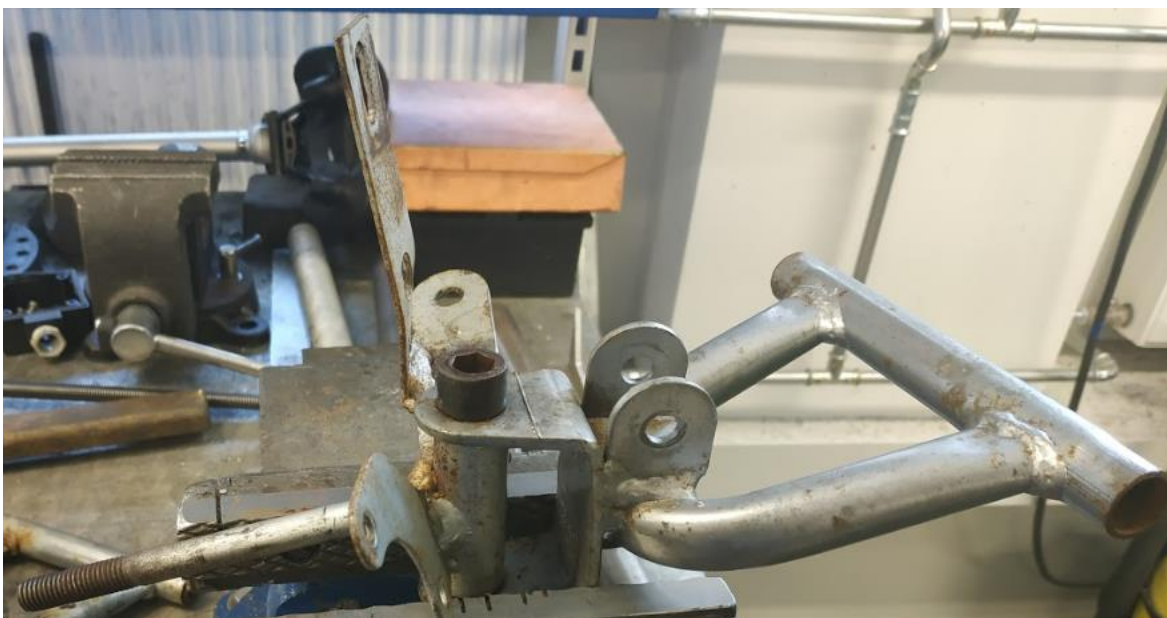
Joonis 2.6 Tooriku fikseerimine freespingis kinnitusklambriga

Kinnitusplaat kinnitatakse veoseksiooni külge keevisõmblustega. Esmalt fikseeriti pitskruvidega kinnitusplaat veoseksiooni külge. Järgmisena joondati kinnitusplaat sarnaselt algset kasutusel olnud kinnitusplaadile. Keevisõmblused tehti originaal plaadiga samadele kohtadele veoseksioonil.

2.3 Juhtseksioon

Juhtseksioon koosneb kahest käänmikust ning juhtsambast, mida ühendavad omavahel roolivardad. Kuna juhtrauast rataste keeramine vajab üleliia jõudu, tuli juhtseksiooni

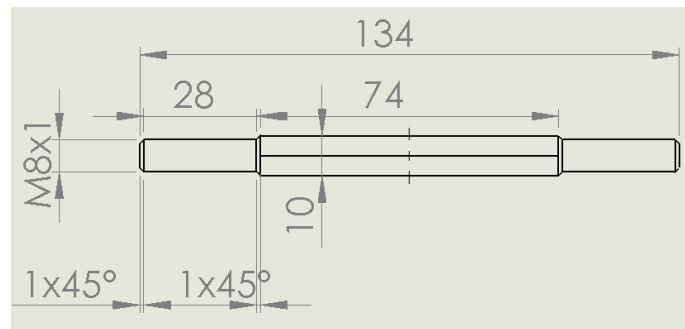
komponente taastada või välja vahetada. Käänmike taastamiseks oli vaja need esmalt raami küljest eraldada, et pääseda juurde kõikidele korrodeerunud pindadele. Selleks oli tarvis eemaldada teljepolt, mis ühendas käänmiku põhiraamiga. Käänmiku polt oli kinni roostetanud ning see takistas rataste keeramist. Korrodeerunud poldi eemaldamiseks kasutati WD-40 määret ning vaskpeaga haamrit. Määrdeaine eesmärk oli korrosiooni lahustamine ning poldi liikumise soodustamine. Vaskpeaga haamri kastus oli vajalik selleks, et mitte kahjusta löögil teraspolti oma madalama kõvadusastme tõttu. Poldi eemaldamiseks fikseeriti käänmik kruustangide (Joonis 2.7) vahele. Pärast korrosiooni eemaldamist käänmikust ning poldi vahetamist oli võimalik käänmikust käte vahel telge pöörata.



Joonis 2.7 Käänmiku fikseerimine kruustangidel poldi eemaldamiseks

Nurkliigendid on masinaelemendid, mille abil saab ruumis fikseerida kahe punkti omavahelist kaugust. Nurkliigendite abil oli käänmik ning roolisammas ühendatud. Kartauto algsed nurkliigendid olid oluliselt korrodeerunud ning see takistas liikumist. Võeti kasutusele uued nurkliigendid. Nende valikul lähtuti nurkliigendi vardapoolse seesmise keerme mõõdust, mis oli M8x1 ning kogu nurkliigendi pikkusest. Oli oluline, et nurkliigend oleks tihendatud vähemalt kummitihendiga. Kummitihend takistab vee jõudmist liigendi sisse, pikendades selle abil juhtsüsteemi eluiga [13]. Nurkliigendite väljavahetamisel valmistati uued roolivardad, kuna originaalvarrastel oli ühes varda otsas vasakkeere ning teises otsas paremkeere.

Uute roolivarraste valmistamisel lähtuti originaal roolivarrastest: sama vardapikkus, kuid varda mõlemas otsas on paremkeere, mis sobitub nurkliigendite paremkeermega. Roolivardad valmistati mehaanika ja tööstustehnika instituudi töökoja treipingis ümarterase S235JR toorikust, mille diameeter $d=10\text{mm}$. Uute roolivarraste valmistamiseks tehti originaalroolivarrastest joonis, kuhu lisati valmistamiseks vajalikud mõõdud (Joonis 2.8). Valmis tehtud uus rollivarras on võrrelduna välja toodud koos vana roolivardaga joonisel 2.9.



Joonis 2.8 Olulised mõõtmed uue roolivarda valmistamiseks



Joonis 2.9 Vana (1) ja uus (2) roolivarras kõrvuti.

2.4 Rattad

Ehitatav kartauto oli rattavalemiga 4x2, mis tähendab, et neljarattalisel masinal on kaks ratast vedavad. Raamiga kaasa tulnud rattad olid purunenud. Nende pealt oli võimalik välja lugeda, et ratta mõõtmed on olnud 3.00-4 (Joonis 2.10). See tähendab, et velje diameeter on 4 tolli ning rehvi laius ning seina kõrgus on 3 tolli [14]. Mõõtude järgi osteti uued rehvid ning need paigaldati velgedele.

Veljed kinnitati teljele kasutades teljel olevaid flantse. Poldid kinnitusid veljel olevatesse keermetatud avadesse, mis fikseerivad velje vastu flantsi. Velje tsentris olevat ava läbistava telje varda otsas on M12 keere, millele oli keeratud nailonlukustusega mutter.



Joonis 2.10 Rehvi seina ja põhja laius ning velje läbimõõt tollides

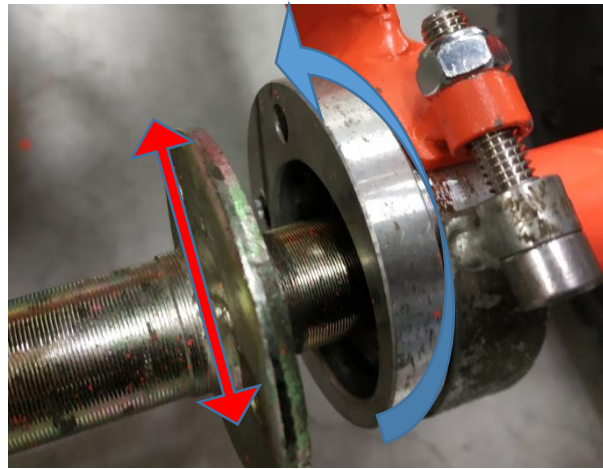
2.5 Veosüsteem

Kartauto jõuülekandeks kasutati kettülekannet vastavalt eelnevalt tehtud projekteerimisele. Selle ehitamiseks tule kettülekande komponendid viia vastavusse olemasoleva kartauto detailidega, milleks oli veotelg ning ajami võll. Kuna kettülekanne vajab ka pingutamist, siis veotelje punktis 2.5.1 selgitatakse originaalses kettülekandes kasutatud keti pingutamise meetodit. Veosüsteemi ehitamise tulemuseks oli töötav jõuülekanne, mis vastab sellele püstitatud nõuetele.

2.5.1 Veotelg

Kartauto veotelg oli selle masina mehaanika olulisim osa. Veoteljele kantakse mootorist pöördemoment, mis pani kartauto rattad veerema. Kuna ülekande lihtsuse mõttes puudus sellel diferentsiaalmehhanism, oli tagarataste pöörlemissagedused alati võrdsed. Veoteljel oli kaks 6003RS kuullaagrit, mis paiknesid ekstsentrilistes korpustes. Ekstsentriliste korpuste abil oli veotelg fikseeritud veosektsiooni külge (Joonis 2.11). Nende korpuste eripära antud kasutuses oli võime muuta veotelje tsentri kaugust muu masina suhtes. See võimaldab staatiliselt pingutada ülekandeks

kasutatavat ketti, muutes ekstsentrilise korpuse asendit. Veoteljele oli võimalik paigaldada ka ketaspiduri ketas, kasutades teljele fikseeritud flantsi.



Joonis 2.11 Ekstsentriline laagri korpus veotelje ja -seksiooni vahel. Keerates ekstsentrilist laagri korpust sinise noolega näidatud suunas, saab veotelge nihutada kogu raami suhtes punase noolega näidatud sihis.

2.5.2 Kettülekanne

Vastavalt projekteerimis tulemustele (Tabel 1.7) leiti, et sobivaim lahendus antud masinal oleks kasutada kettülekanne. Selleks, et teostada kettülekanne, oli vaja esmalt paigaldada vajalikud hammasrattad hammaste arvudega $z_1=11$ ja $z_2=57$. Peale hammasrattaste kinnitamist valmistati ette kett. Selleks lõigati kett (Joonis 2.12) mõõtu soovitud lülide arvu järgi, milleks oli $X = 68$.

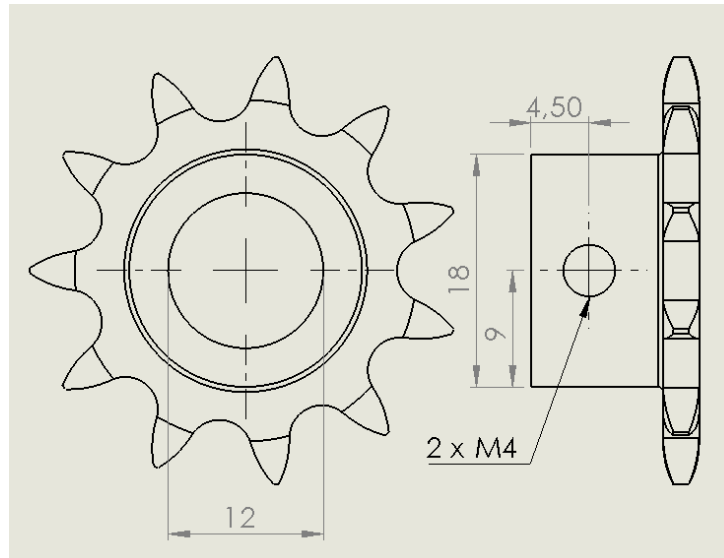


Joonis 2.12 Veoketid. Vasakul on eelnevalt kasutusel olnud tundmatu kett, paremal pool on lõikamata ISO 606 05B-1 kett.

Väiksem ketiratas paigutati ajami väljundvõllile, et tagada ülekandearvu õige väärtus. Ajami võllile oli tootja poolt freesitud kaks soont, mille vastu oli ideaalne lameda otsaga seadekrugi kinnitada. Väiksema ketiratta ettevalmistamise protsessi käigus puuriti ketiratta tsentrist läbi ava läbimõõduga $d = 11,9$ mm (Joonis 2.14). Seejärel fikseeriti ketiratas masinkruustangidega freespinkide koordinaat-puurimiseks. Masinkruustangides paigutati ketiratas ühte serva (Joonis 2.13), et oleks võimalik näha puurimise kogusügavust ning tagada, et puur kruustangi pinda ei puuriks. Ketiratta paigutus freespingi suhtes tehti kindlaks kasutades serva otsijat ning DRO konsooli. Lameviiliga viiliti detailil augu kohalt kumerus siledamaks, võimaldamaks puuri kasutamist. Vastasel juhul ei tungi puur materjali sisse ning nihkub soovitud kohast eemale. Puuri valiti ISO 724 [15] soovitusel järgi läbimõõduga $d = 3,3$ mm. Puuritavad avad keerestati M4 keermeaga, sest ketiratast hakkas fikseerima seda keeret kasutav DIN 913 M4 seadekrugi [16].



Joonis 2.13 Väiksema ketiratta fikseerimine frees-puurpinkide BF20 Vario

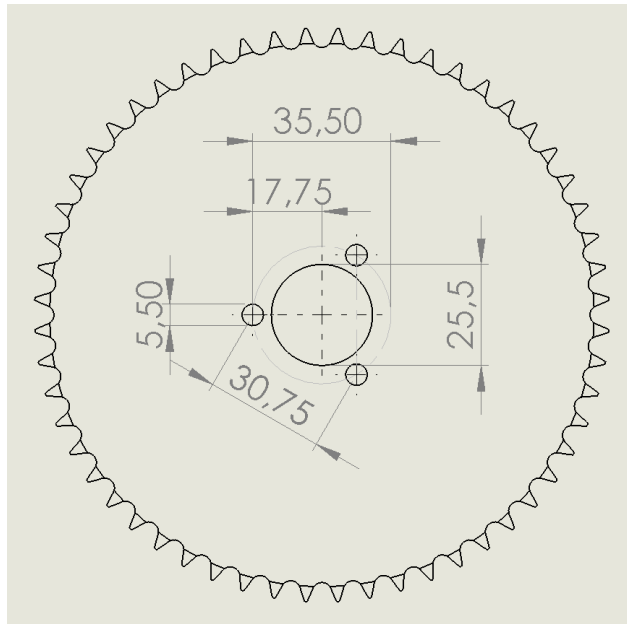


Joonis 2.14 Väiksema ketiratta töötlemiseks olulised mõõdud

Suurem ketiratas paigutati veoteljele, sest nii vastab ehitatav jõuülekanne projekteeritule. Suurem ketiratas paigutati pärast ümberehitust veotelje astmele kolme avaga flantsi vastu. Ketirattale treiti veoteljele astmele vastav ava. Treimist kasutati seetõttu, et avale vastavat puuri ei olnud kohapeal kasutada. Ketirattale tuli veel puurida kolm auku, mis vastab flantsi aukude paigutusele. Ketiratas kaeti osaliselt märkesinisega, mis soodustas edasiste märkmete tegemist ketiratta pinnale. Nihkkaliibriga märgistati pinnale puuritavate aukude asukohad joonise 2.16 järgi. Ketiratas fikseeriti frees-puurpinkide aluse ja tooriku kinnitusklambritega (Joonis 2.15).



Joonis 2.15 Ketiratta paigutus frees-puurpingis. Ketiratas paigutati puidust alusele ning kinnitati kahe klambri abil töölaua külge. Ristid märgivad puuritavate aukude asukohta.



Joonis 2.16 Suurema ketiratta töötlemiseks olulised mõõtmed millimeetrites

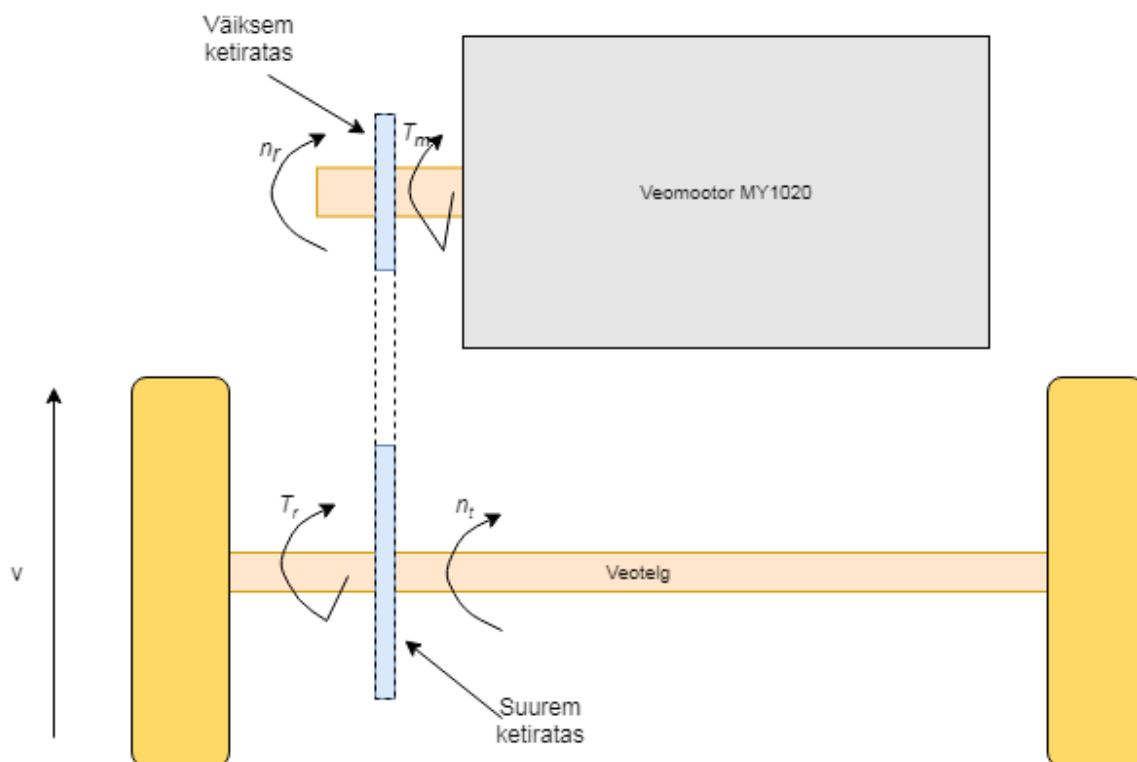
Veokett oli ehitatava ülekande ketirattaid ühendav osa. Keti dimensioneerimise järgi kasutati lähtuvalt alapunktile 1.1.3 ISO 606 05B-1 ketti. See tuli lõigata õigesse pikkusesse, sest ostetuna oli see viis meetrit pikk. Keti pikkuse märkimiseks loentati vajalik arv ketilülisi, mis on $X = 68$ lüli. Sellele järgneval välimisel ketilülil lihviti tihvti pea ära. See võimaldas kärniga lüüa tihvti läbi keti puksi ning vabastada sobiv pikkus ülejäänud ketist (Joonis 2.17).



Joonis 2.17 Mõõtu lõigatud veokett 68 lüliga

2.5.3 Veosüsteemi koostamine

Veosüsteemi koostamise eesmärgiks oli üksikutest ettevalmistatud komponentidest koostada terviklik ülekande süsteem. Selleks eemaldati veomootori võllilt vasakkeermega mutter ning uue mootoriga kaasnenud ketiratas. Mootori võlli pind puhastati abrasiivpaberiga P240. Võllile paigutati uus ketiratas eelnevalt projekteeritud ülekande järgi. Ketiratas fikseeriti mootori võlli külge kasutades DIN913 M4 seadekruve [16].



Joonis 2.18 Veosüsteemi skeem. v – liikumiskiirus, n_r – mootori võlli pöörlemissagedus, T_m – mootorivõlli pöörlemismoment, T_r – pöördemoment veoteljel, n_t – veotelje pöörlemissagedus

Suurem ketiratas monteeriti veoteljele roostevabast terasest valmistatud M5 sisekuuskantpoltidega. Veoteljel oli ketiratta jaoks eelnevalt olemas flants, mille avad sobisid ettevalmistuse käigus ketirattale tehtud avadega (Joonis 2.19).



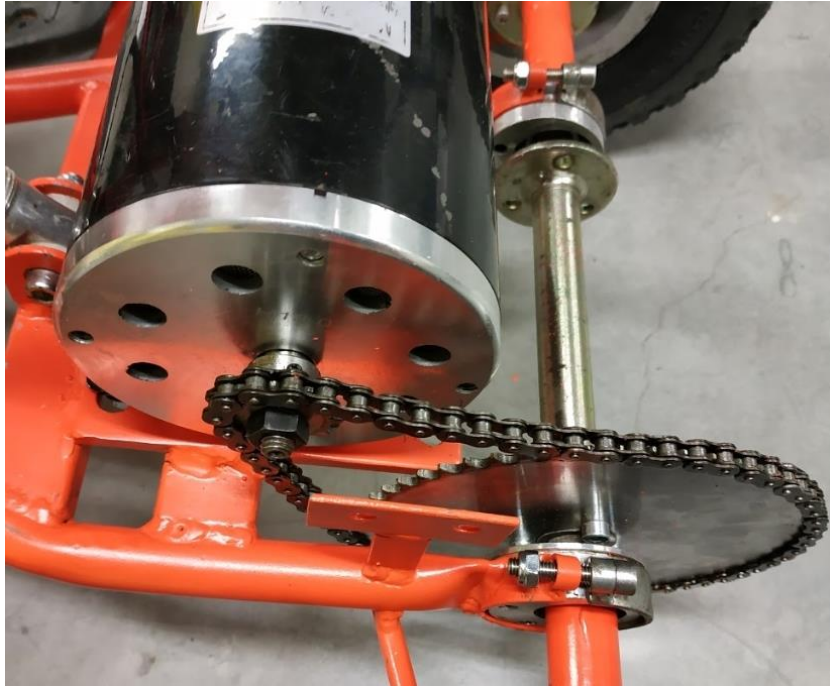
Joonis 2.19 Ketiratas fikseeritud veotelje külge

Eelnevalt mõõtu lõigatud kett asetati ketirataste peale ning lukustati keti sirglukuga (Joonis 2.20). Järgnevalt alustati joendamise protsessiga. Joendamise protsessi tulemusena peab kett liikuma risti veotelje ja mootori võlli suhtes [4]. Joendamiseks nihutati mootorit kinnitusplaatide soontes nii, et ülekande telgede paralleelsus oleks tagatud lubatud piirides. Paralleelsust kontrolliti katsetustega seni, kuni kettülekanne tegi võimalikult vähe müra.



Joonis 2.20 ISO 606 05B-1 keti sirglukk vedrusplindiga

Joendamise järel fikseeriti mootor kinnitusplaadi külge nelja roostevabast terasest M8 poldiga ning eelnevalt projekteeritud jõuülekanne (Joonis 2.21) saigi valmis.



Joonis 2.21 Valmisehitatud jõuülekanne mootori ja veotelje vahel

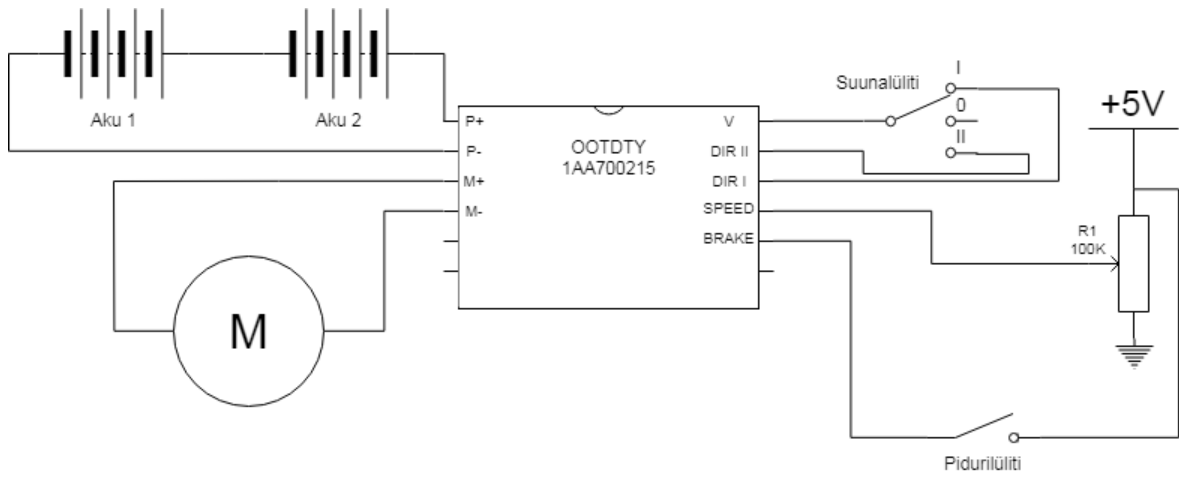
Veosüsteemi koostamisega olid kartautol teostatavad ehituslikud tööd lõpetatud ning lõpptulemusena valmis tööstuslik oranž elektrikartauto (Joonis 2.22), mille võimekus teoorias vastas nõuetele.



Joonis 2.22 Kartauto ehituse tulemusena valminud masin

2.6 Mootori juhtimine

Lisaks kartauto mehaanika ja veojami valmimisele valmis ka vajalik mootori juhtimis süsteem. See koosnes toiteallikast, mootorile sobivast muundurist ning juhthoovadest. Juhthoovad paigutati juhtrauda külge. Muunduriks valiti OOTDY 1AA700215. Toiteallikaks 7valiti akupatarei, mis koosneb kahe jadamisi ühendatud Turnigy 8000 mAh LiPo akust. Kiirust reguleeritakse potentsiomeetriga, mille väljundit kartauto juht käsigaasi näol muudab. Potentsiomeetriga muudetakse draiveri tagasiside pinge väärtust ning selle kaudu muutub mootori kiirus. Kartauto juhtimiseks kasutatav põhimõtteline elektriskeem on toodud joonisel 2.23.



Joonis 2.23 Elektriskeemi selgitav joonis

3. KARTAUTO KATSETAMINE

Valminud kartautole tehti rida katsetusi. Katsetuste eesmärk oli veenduda tehtud otsuste ja töö kvaliteedis. Lihtsamad katsetused tehti jõuülekandele ning pidurisüsteemile.

3.1 Kartauto jõuülekande katsetused

Kartauto jõuülekande esimese testimise eesmärk oli veenduda ehitatud ülekande töökorras. Esimestes katsetes kergitati kartauto veorattad aluspinnalt kõrgemale ning seejärel lülitati sisse veomootor. Koormuse lisamiseks takistati rataste pöörlemist käsitsi ning selle tagajärjel ei olnud anomaaliaid ülekandel märgata.

Teise äärmusena suruti kartauto vedavad rehvid vastu maapinda ning lülitati veomootor sisse. Katse ajal suutis kartauto liikuda seni kuni mootor manuaalselt välja lülitati. Selle katse tulemusena veenduti, et ülekanne ei purune koheselt töötingimustele vastava kõrge koormuse saavutamisel.

Väli tingimustes katsetati jõuülekannet kaldpinnast üles sõitmisega, mille kalle oli vahemikus 15-30°. Katseajal oli masina juhiks inimene massiga $m = 65$ kg. Kaldpinnast üles sõites on jõuülekandele mõjuv pöördemoment kõige suurem. Kartauto suutis etteantud kaldpinnast üles sõita probleemideta ning jõuülekanne jäi terveks.

3.2 Kartauto pidurisüsteemi katsetused

Pidurisüsteemi põhimõtteks oli mootoriga pidurdamine, mida rakendati mootori lühistamisega. Selle katsetusteks tõsteti kartauto veorattad maapinnast kõrgemale ning veomootor lülitati sisse. Veomootori kiirus viidi nominaalpööreteni ning seejärel ühendati mootor toiteliinist lahti ja lühistati kasutades releed. Antud katse tulemusena seiskusid rattad koheselt pärast mootori lühistamist. Selle katsega veenduti, et teooria väited mootoriga pidurdamise kohta on tõesed ning antud meetodit peab katsetama olukorras, kus inimene juhib kartautot ning rakendab piduri.

Reaalse pidurdamise katsetustel oli kartauto juhiks inimene massiga $m \approx 55$ kg. Katsetused toimusid siledal ning puhtal betoonist pinnal. Katsetuse käigus kartauto juht kiirendas masina maksimaalse kiiruse peale ning seejärel rakendas mootoriga pidurdamise. Eksperimentide tulemuseks oli, et mootoriga pidurdamise efektiivsus sõltub oluliselt kartauto kiirusest. Seda tulemust kinnitas ka kaldpinnal pidurdamise katse. Laskudes alla kaldpinnast kaldega 15-30°, mootoriga pidurdades madalal sõidukiirusel (<4 km/h) kartauto ei seiskunud ega kiirendanud.

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli elektrikartauto ehitus. Selleks saadi elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi elektrimasinate uurimisrühmalt katkise kartauto raam ning selle küljes olnud komponendid. Kartauto ehituse planeerimiseks olemasolevatele komponentidele ning puuduolevale jõuülekandele tehti tehnilise taseme analüüs. Selle käigus püstitati nõuded elektrikartautole ja jõuülekandele. Nende järgi arvutati vajalikud jõuülekande karakteristikud ning leiti lähteandmed selle dimensioneerimiseks. Uuriti erinevaid jõuülekandmise meetodeid ning selle tulemusena valiti kartauto jõuülekandeks kettülekanne. Lähteandmete ja karakteristikute järgi valiti sobivad ketirattad ning dimensioneeriti kasutatava veoketi mõõt. Seejärel uuriti olemasolevat kartauto raami ning komponente. Uurimise tulemusena märgiti üles kartauto taastamiseks vajalikud tööd. Raamile oli vaja teha uus mootori fikseerimiseks mõeldud alusplaat, sest uut mootorit ei saanud vanale kinnitusplaadile paigutada. Veel oli vaja teha korda kartauto juhtimiseks kasutatavad roolivardad, rattad kui ka muud standardsed komponendid nagu laagrid ja nurkliigendid. Vanalt kartautolt eemaldati mehaanilised pidurid rohke korrosiooni ning füüsiliste vigastuste tõttu. Nende asemel plaaniti rakendada elektroonilist „mootoriga“ pidurdamist.

Elektrikartauto ehitamisel valmistati veosektsioon, mis koosnes raami liikuvast osast ning veoteljest. Veosektsiooni külge kinnitus ka mootori kinnitusplaat, mis lõigati veosektsiooni küljest lahti ning asendati kasutades keevisliiteid uue kinnitusplaadiga. Uus kinnitusplaat valmistati kasutades sobivat teraslatti ning TTÜ Robotiklubi ning mehaanika ja tööstustehnika instituudi metallitötlusseadmeid. Juhtsektsiooni taastamiseks osteti sobivad nurkliigendid ning valmistati ümarterasest uued roolivardad kasutades treipinki ja keermestamise vahendeid. Pärast suuremaid metallitöid vahetati välja olemasolevad kartauto rattad samade mõõtudega rataste vastu, sest vanad rattad olid oluliselt katki. Kartauto ehituse lõppfaasis tehti kartauto jõuülekande komponentidele ettevalmistused ülekande koostamiseks. Ajami võllile paigutatavale ketirattale puuriti ava suuremaks ning valmistati keermestatud avad ketiratta võllile fikseerimiseks. Suurema, veoteljele paigutatavale ketirattale treiti veotelje astmega sobiv ava ja puuriti flantsile kinnitamiseks sobivad avad. Viimase ettevalmistumisena lõigati veokett eelnevalt projekteerimise käigus leitud pikkusesse ning seejärel koostati jõuülekanne kartautol. Jõuülekande koostamiseks asetati ketirattad ajamivõllile ja veoteljele. Need ühendati omavahel ketiga ning seejärel joondati ketirattad omavahel vastavalt projekteerimise käigus selgunud nõuetele. Elektrikartauto mootori juhtimiseks osteti mootoridraiveri terviklik lahendus. Sellele ühendati vooluallikas ning elektrimootor.

Elektrikartautole tehti triviaalseid katsetusi, mille eesmärk oli veenduda projekteeritud töö tulemuslikkust. Komponentitasemel katsetati jõuülekannet ja pidurisüsteemi. Katsete tulemuste järgi on projekteeritud jõuülekanne tugev ja piisava ülekandearvuga ning pidurisüsteem suudab piisavalt kiiresti kartauto kiiruse ohutule tasemele langetada.

Lõputöö tulemusena valminud silmapaistva oranži elektrikartautoga on võimalik demonstreerida erinevaid TalTech'i tehnikaalaseid õpingukavasi. Ehitatud masinal on oma pisikeste mõõtmete kohta palju võimsust ning teravust tänu elektrimootorile. Kartauto muude karakteristikute järgi sobib see masin ka õppetöös kasutatavaks platvormiks. Massi poolest on võimalik kartautot mugavalt teisaldada ning võimsuse tõttu vajab kartauto tugevamat jõuelektroonikat kui seda väiksemates robotprojektides kasutatakse.

Töö autor on valminud elektrikartautoga väga rahul ning edaspidiseks arenduseks soovib rohkem rõhku panna raami konstruktsiooni tugevdamisele ning amortisatsiooni välja vahetamisele. Lisaks ühtlasema kiiruse saavutamiseks tasub edaspidi jõuülekandel valida väiksema ketiratta hammaste arvuks vähemalt 19.

SUMMARY

Main objective of this thesis was building of an electrical kart. For that author of this thesis was given a broken cart frame with some mechanical components from Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics electrical machine research group. A technical state analysis was done on existing components and the missing power transmission. During that analysis, requirements were set for electrical kart and power transmission. Using these requirements as guidelines, necessary characteristics were calculated and the initial data was determined for dimensioning power transmission. Various power transmission methods were investigated and as a result chain drive was chosen for power transmission. Suitable sprockets and chain were selected according to the calculated data and characteristics. After selecting power transmission components, existing kart frame and components were examined. As the result of the examination, the necessary work for restoring kart was noted. There was a need for a new base plate for attaching the motor. It was also noted that existing tie rods, wheels and other standard components such as bearings and ball joints needed replacement. Mechanical brakes were removed from the old kart due to high corrosion and physical damage. Instead we planned to use electronic „motor“ braking.

During the construction of the electric kart, a drive section which consisted of moving part of the frame and rear axle was slightly modified. An old motor mounting plate which was welded to drive section, which was cut off from it and replaced with a new one using welded joints. The new mounting plate was made using suitable steel plate and metal processing tools from TalTech Robotics Club and Department of Mechanical and Industrial Engineering. For restoring front axle control section, suitable angular joints were purchased and new steering rods were produced using lathe and threading tools. After the major metal works, existing wheels were replaced with wheels of the same size, as the old wheels were severely damaged. In the final phase of building of an electrical kart, preparations were made for the power transmission components. The drive sprocket had its center hole drilled to desired dimension and threaded holes were made for fixing sprocket on the drive shaft. The larger sprocket which is going to be mounted on the rear axle had its centre hole turned to desired dimension and flange holes drilled. As a last step, the drive chain was cut to the length previously calculated when in design phase. After that it was time to assemble the power transmission. Drive sprocket was placed on electric motor shaft and driven sprocket onto rear axle. They were linked to each other by drive chain. After that, sprockets were aligned according to the design requirements. An integrated solution for the motor driver was purchased to control the motor. It was connected to power source and motor and the building of an electric kart was done.

Trivial tests were carried out on electrical kart to test the performance of the designed work. At component level, the power transmission and braking system were tested. According to the results of the tests, the designed transmission is mechanically strong and has sufficient transmission ratio. The braking system is capable of lowering the speed of an electric kart quickly enough.

As a result of the thesis, a distinctive orange electric kart was build. It can be used to demonstrate various TalTech technical courses. The built machine has lots of power and sharpness in acceleration thanks to its electric motor. According to the other characteristics of the kart, it can also be suitable to be used as learning platform. By weight and construction, built kart is easily moveable and due to its power, it needs stronger power electronics compared to other smaller robot projects.

The author of this work is very pleased with the outcome of the building of an electric kart. For further development, author suggests to put more emphasis on strengthening the frame structure and replacing current suspension. In addition for achieving a smoother speed of an chain drive, it is suggested to choose a drive sprocket with atleast 19 teeth.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] „Rolling Resistance,“ Engineering ToolBox, 2008. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.engineeringtoolbox.com/rolling-friction-resistance-d_1303.html. [Kasutatud 04 04 2019].
- [2] „Electric Motors- Power and Torque vs. Speed,“ Engineering ToolBox, 2009. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.engineeringtoolbox.com/electrical-motors-hp-torque-rpm-d_1503.html. [Kasutatud 04 04 2019].
- [3] „How to calculate a gear ratio,“ X-engineer, 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://x-engineer.org/graduate-engineering/mechatronics/mechanisms/how-to-calculate-a-gear-ratio/>. [Kasutatud 05 04 2019].
- [4] J. A. Collins, H. Bussy ja G. Staab, Mechanical Design of Machine Elements and Machines, John Wiley & Sons, 2010.
- [5] „Level of accuracy and compliance of the teeth,“ Tandwiel, 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.tandwiel.info/en/gears/level-of-accuracy-and-compliance-of-the-teeth/>. [Kasutatud 10 04 2019].
- [6] „Katalog42_EN,“ Mädlar GmbH, 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://smarthost.maedler.de/files/Katalog42_EN.zip. [Kasutatud 15 03 2019].
- [7] D. H. S. J, „Design of Transmission Systems- Brakes,“ 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://sites.google.com/site/designoftransmissionsystems/motion-control-elements/Design-of-Brakes>. [Kasutatud 29 04 2019].
- [8] „Handling Roller Chain/Sprocket Attachment,“ Senqcia, 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.senqcia.com/products/chain/use/roller/rc_attach.html. [Kasutatud 10 04 2019].
- [9] „Installation Precision,“ Sedis, 2018. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.sedis.com/en/support/technical-support/chain-technique/transmission/installation-precision/>. [Kasutatud 25 04 2019].

- [10] Wippermann, „Main Catalogue 2015,“ 2015. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://wippermann.s3.amazonaws.com/dokumente/en/product-catalogs/main-catalogue-wippermann-cat-2015-en.pdf>. [Kasutatud 02 04 2019].
- [11] „Roller Chain Drive Sprocket Power Transmission,“ Kisspng, 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.kisspng.com/png-roller-chain-chain-drive-sprocket-power-transmissi-2837408/>. [Kasutatud 10 05 2019].
- [12] „Dayton MY1020,“ Motion Dynamics Australia, 2015. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.motiondynamics.com.au/unite-my1020-1000w-3000-rpm-48v-dc-motor.html>. [Kasutatud 10 05 2019].
- [13] „Heim joint vs Ball joint,“ Baja Tutor, 2015. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://bajatutor.net/heim-joint-vs-ball-joint/>. [Kasutatud 10 05 2019].
- [14] „Tyre sizes explained,“ Tyre-Rite Ltd, 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://allterrain tyres.co.uk/index.php?main_page=page&id=8. [Kasutatud 30 04 2019].
- [15] „ISO 724- Metric Threads,“ Engineering ToolBox, 2004. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.engineeringtoolbox.com/metric-threads-d_777.html. [Kasutatud 30 04 2019].
- [16] „DIN 913 45H Pinnakatteta,“ OÜ Baltic Bolt, 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.balticbolt.ee/toode.php?show=products&parentID=6&productID=64>. [Kasutatud 03 05 2019].