

Risto Ihalainen

# Sähkömikroauto Runko ja moottori

Opinnäytetyö  
Sähkötekniikka


Toukokuu 2015



MAMK

University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  5.5.2015
<b>Tekijä(t)</b>  Risto Ihalainen	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b>  Sähkötekniikka
<b>Nimeke</b>  Sähkömikroauto – Runko ja moottori	
<b>Tiivistelmä</b>  Opinnäytetyön tarkoituksena oli muuttaa polttomoottorikäyttöinen mikroauto sähköllä toimivaksi. Tähän työhön rungoksi valitsimme kilpailukäyttöön suunnitellun CRG Road Rebel -mallisen mikroauton. Autossa oli ollut alun perin 125 cm <sup>3</sup> bensiinikäyttöinen polttomoottori, joka korvattiin HPEVS AC-20 -sarjan oikosulkumoottorilla.  Oikosulkumoottorin ohjaimeksi valikoitui Curtis 1238-5601 ja akuiksi 15 kpl Kokam 40Ah Lipo-kennoja. Oikosulkumoottorista saadaan kyseisellä ohjaimella ja akuilla n. 20 kW teho ja 100 Nm vääntöä moottorin akselilta. Teho siirrettiin hammashihnan avulla auton taka-akselille.  Auton rakentaminen aloitettiin lokakuussa 2014. Silloin saatiin moottori, ohjain ja akusto. Auto on vieläkin rakenteilla, koska tavarantoimittajalla oli vaikeuksia toimittaa osia projektiin. Näin ollen emme päässeet kokeilemaan autoa ennen tämän opinnäytetyön palauttamista.  Opinnäytetyö jaettiin kahteen osaan, ja minun osuudekseni tuli kertoa auton rungon muokkaamisesta sekä moottorista. Toiseen osioon jäi akku, moottorinohjain sekä logiikka. Projektille ei löytynyt yhteistyökumppaneita, joten hoidin työn kustannukset kokonaan itse, tällöin auto jäi omaan käyttöön.	
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>  Sähkömikroauto, runko, moottori, karting	
<b>Sivumäärä</b>  20+3	<b>Kieli</b>  Suomi
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>	
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  Teemu Manninen	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>

## DESCRIPTION

	<b>Date of the bachelor's thesis</b>  5.5.2015
<b>Author(s)</b>  Risto Ihalainen	<b>Degree programme and option</b>  Electrical engineering
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Electric go-kart - Chassis and motor	
<b>Abstract</b>  The purpose of this thesis was to transform a kart car which uses combustion engine to work with an electric motor. For chassis CRG's Road Rebel -model was chosen. Originally car had 125 cm <sup>3</sup> combustion engine, which was replaced with HPEVS AC-20 induction motor.  For the controller was chosen Curtis's 1238-5601 and for the batteries 15 pcs Kokam's 40Ah Lipo-cells. With the motor and these batteries about 20 kW power and 100Nm thrust is achieved. The power is transferred with a rubber belt to the rear axle.  The project was split into two parts. This thesis is about the modifications of the chassis and the engine, and another thesis will cover battery, controller and logics.	
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Electric go-kart, chassis, motor	
<b>Pages</b> 20+3	<b>Language</b> Finnish
<b>Remarks, notes on appendices</b>	
<b>Tutor</b>  Teemu Manninen	<b>Bachelor's thesis assigned by</b>

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	MIKROAUTOILUN HISTORIA .....	2
3	RUNKO.....	3
3.1	Rungon vahvistus.....	4
3.2	Moottorintuenta .....	4
3.3	Moottoriohjaimen ja akkukotelon kannakkeet .....	7
3.4	Mittariston kotelointi .....	9
3.5	Caster-ohjauskulma .....	9
4	SÄHKÖMOOTTORI.....	10
4.1	Oikosulkumoottorin toiminta.....	11
4.2	Oikosulkumoottorin ohjaus .....	13
4.3	Moottorin ja ohjaimen kaapelointi.....	15
5	VOIMANSIIRTO .....	15
5.1	Hammashihnapyörät .....	16
5.2	Hammashihna .....	18
6	POHDINTA .....	20
	LIITTEET	
	1 HPEVS AC-20, Vääntömomentti ja tehokäyrä	
	2 HPEVS AC-20, Ulkomitat	
	3 Gates, Drive detail report	

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutustua sähköautotekniikkaan ja rakentaa toimiva sähkökäyttöinen mikroauto, josta käytetään myös nimitystä karting-auto. Sähköllä liikkuvat ajoneuvot tulevat varmasti yleistymään, koska maailma on menossa koko ajan ekologisempaan suuntaan ilmaston suojelemisen suhteen.

Tulevaisuudessa autourheilussakin varmasti päädytään yhä enemmän sähköllä toimi-  
viin, tästä hyvänä esimerkkinä on vuonna 2014 aloitettu Formula E -sarja. Seuraava iso harppaus tulee varmaankin olemaan akkuteknologiassa, kun saadaan grafeeni hyö-  
tykäyttöön energian varastoinnissa.

Sähkökäyttöisille mikroautoillekin löytyy varmasti harrastepuolella kiinnostusta asiaa kohtaan. Yksi suuri asiakaskunta tulee olemaan vuokrauspuolella. Sähkökäyttöisenä saadaan ajoneuvosta vähemmän huoltoa vaativa moottorin osalta, koska käytännössä ainoa kuluva osa on moottorin laakerit. Käyttökulut polttoaineeseen nähden ovat pie-  
net ja varsinkin päästöjen puoleen sähkömikroauto sopisi erittäin hyvin sisäkäyttöön.

Tämän opinnäytetyön mikroauto on lähtökohtaisesti enemmän suunniteltu kisakäyt-  
ttöön kuin vuokrauskäyttöön. Koneen suhteen vuokrauskäytössä meni paljon pienempi tehoisempikin kone kuin meidän projektissamme käytetty 20 kW. Yleisesti vuokraus-  
käyttöisissä mikroautoissa on tehoja alle 7,5 kW.

Alun perin oli tarkoitus hankkia vuokrauskäyttöön soveltuva mikroautonrunko. Koska sellaista ei ollut sopivaan hintaan saatavilla, muutamalta alaa harrastaneelta tiedustel-  
lessa runkoja he suosittelivat panostamaan kunnolliseen kilpakäyttöön suunniteltuun karting-autoon.

Sopiva auto löytyikin Hämeenlinnasta, joten kävimme hakemassa sen syyskuussa 2014. Auto oli CRG Road Rebel vuosimallia 2008. Kyseinen runko on melko yleinen, joten tarvittaessa siihen löytyy hyvin varaosia.

Auton rakentaminen aloitettiin suunnittelemalla moottorille, moottorinohjaimelle ja akustolle sopivat asennuspaikat. Tässä käytimme avuksi pahvisia malleja, koska oike-

at osat saimme lokakuun puolessa välissä, jolloin pääsimme kunnolla aloittamaan rakentamisen.

Opinnäyteyö tehtiin yhteistyössä Matias Juopperin kanssa. Osa-alueet jaettiin niin, että minä huolehdin rungon muokkauksesta sisältäen kaikki hitsausta vaativat työt niitä enemmän harrastaneena ja perehdyin oikosulkumoottorin toimintaan. Matias Jupperi perehtyi moottorinohjaimiin, akustoon ja logiikkaan.

Tätä opinnäytetyötä kirjoittaessa auto ei ollut vielä valmis, jolloin sitä ei päästy vielä kokeilemaan ja tekemään vertailuja polttomoottorisen välillä. Osien toimittaja ei saanut toimitettua valmistajasta johtuen kaasun tarvittavaa potentiometriä eikä laturia akulle, joten auton valmistuminen siirtyi myöhemmälle ajankohdalle.

## 2 MIKROAUTOILUN HISTORIA

Arl Ingels ja Lou Borelli suunnittelivat ja rakensivat Yhdysvalloissa ensimmäisen karting- eli mikroauton vuonna 1956, joka näkyy kuvassa 1. Art Ingels esitteli luomustaan paikallisilla pysäköintialueilla. Runko oli hyvin yksinkertainen putkirunko ja siihen oli kiinnitetty kaksitahtinen polttomoottori. Auto oli varustettu puolipneumaattisin renkain.[1 s.14- 15.]



**KUVA 1. Mikroauto vuodelta 1956 [2.]**

Vuonna 1957 alkoivat ensimmäiset mikroauton valmistajat ilmestyä Pohjois-Amerikan markkinoille. Vuoden sisällä harrastus oli myös levinnyt Englantiin maahan sijoitettujen amerikkalaissotilaiden johdosta. Suosiota edelleen lisäsi näytökset maan eri kilparadoilla ja lopulta karting löi itsensä läpi 1960 – 1980 luvuilla. Englannissa 1990-luvun puoliväliin mennessä oli kartingista tullut maan nopeimmin kasvava laji. [1 s.14- 15.]

### 3 RUNKO

Auton rungoksi valitsimme CRG:n valmistaman Road Rebel -mallin. Runko on 32 mm teräsputkea ja seinämän paksuus on 1 mm. Valitsimme kyseisen rungon, koska se on riittävän iso, jolloin saadaan kaikki osat mahtumaan rungon sisälle ilman, että joudutaan tekemään runkoon paljon rakenteellisia muutoksia. Kuvassa 2 on autonrunko, josta lähdimme muokkaamaan sähkökäyttöistä mikroautoa.



**KUVA 2. CRG Road Rebel -runko**

Autosta puuttui jo polttomoottori, joten purkamista ei juurikaan ollut. Ainoastaan polttoainesäiliö purettiin pois ja penkki vaihdettiin isompaan malliin, jolloin autoa mahtuu ajamaan aikuinen ihminen.

### 3.1 Rungon vahvistus

Runkoa on vahvistettu taka-osasta, johon on rakennettu moottorin kiinnitys. Kuvassa 3 on rungon sisälle lisätty vahvistus. Vahvikeputket asennettiin auton runkoputken sisäpuolelle, rungon molemmille puolille. Putket eivät mahtuneet paikoilleen, ilman että niitä olisi sorvattu pienemmäksi. Sorvauksenkin jälkeen vahvikkeet asennettiin paikoilleen voimakkeinoin, koska ne olivat todella tarkaksi työstetyt. Tällöin saatiin välyksettömät vahvikkeet rungon sisälle, jotka kestävät moottorin aiheuttamat rasitukset.



**KUVA 3. Rungon sisälle asennettu vahvikeputki**

Vahvistusputkena oli käytetty 30 mm saumatonta kylmävedettyä tarkkuusteräsputkea, jonka seinämäpaksuus on 4 mm. Kyseistä putkea käytetään yleisesti hydraulikkaputkena. Putken päätyyn oli sorvattu holkit, jotka hitsattiin putken sisälle kiinni ja niihin oli tehty M8-kierteet, jolloin on saatu kiinnityspisteet moottorin kannakeputkelle.

### 3.2 Moottorintuenta

Moottorin asennus aloitettiin rakentamalla kannatusputki moottorinkehikolle. Kannatusputkena on käytetty samaa tarkkuusteräsputkea, mitä käytettiin rungon vahvistukseen, koska putki on tarpeeksi vahvaa kannattelemaan moottorin painoa. Kiinnitys auton runkoon oli toteutettu viidestä kohtaan pulteilla. Kuvassa 4 näkyy moottorin kannatusputki, kuvassa on myös vasemmalla moottorin syöttökaapeleiden kannatin ja



oikealla hihnansuojus, joka suojelee kuljettajaa jos vetohihna katkeaisi. Hihnansuojus on irrotettavissa, jolloin hammashihnan suuntausvaiheessa se saadaan pois edestä. Kuvassa 4 kaikista etummaisena näkyy takapuskurin kiinnikkeet. Puskurille piti tehdä uudet kiinnikkeet, koska alkuperäisten kiinnikkeiden paikalle asennettiin moottorin kannake.

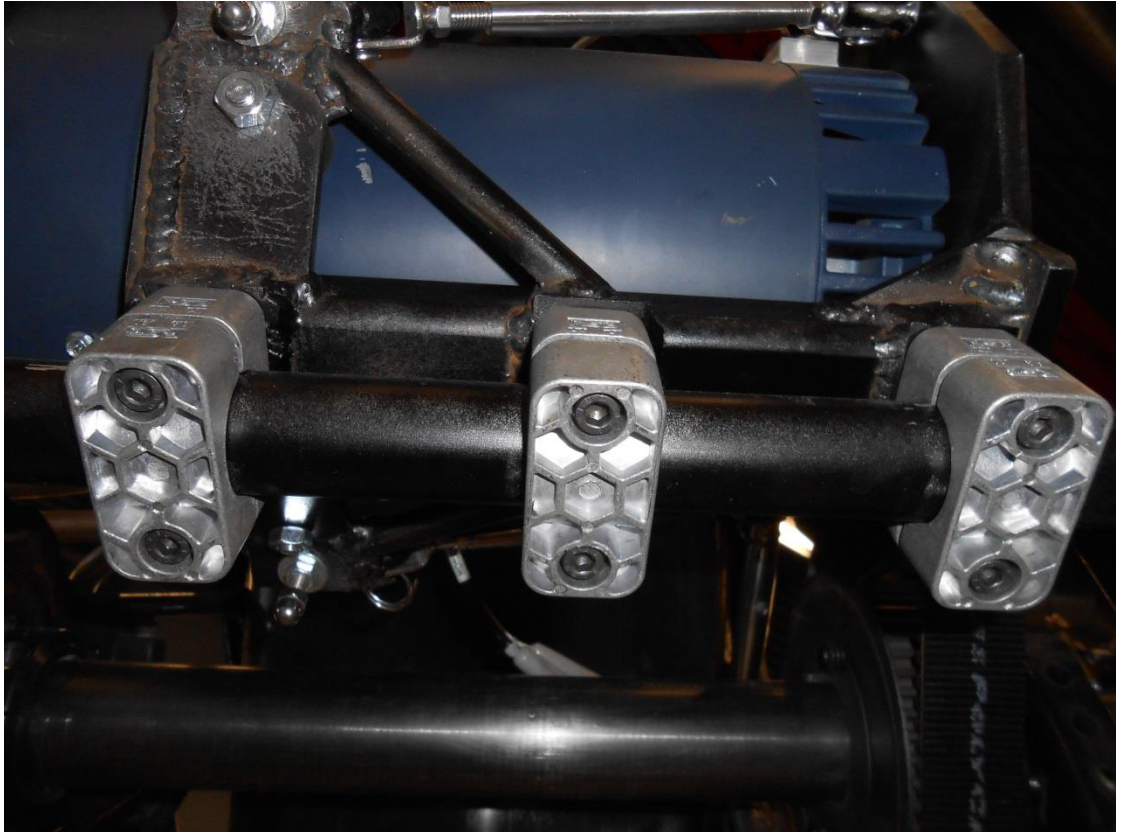


**KUVA 4. Moottorin kannatusputki**

Moottori asennettiin omaan kehikkoon, jossa sitä pystytään säätämään moneen suuntaan, jolloin saadaan hihnapyörät tarkasti kohdakkain. Tämä on vetohihnan kannalta tärkeää, koska vinossa kulkeva hammashihna hihnapyörien välissä kuluttaa hihnaa, jolloin sen elinikä lyhenee huomattavasti ja pahimmassa tapauksessa se voi jopa tippua hihnapyörältä.

Moottorin kallistus säätöihin käytettiin vanttiruuveja, koska niillä saadaan tarkasti säädettyä ja lukittua säädöt vanttiruuvissa olevan mutterin avulla. Vanttiruuvien kierreet oli M6 ja min/max pituus 150-220 mm. Materiaali on ruostumaton, haponkestävä AISI 316-teräs, murtolujuus 1250 kg. Hihnan kiristykseen on myös käytetty vanttiruuvia, materiaali on sama kuin edellä mainitussa, koko oli vain isompi M8, koska säädettävän alueen pituus oli pidempi.[3.]

Moottorin kehikko oli asennettu kannatusputkelle putkikiinnikkeiden avulla. Kiinnikkeet ovat tarkoitettu kyseiselle hydraulikkaputkelle, josta moottorin kannatusputki on tehty. Kiinnikkeisiin kuuluu hitsattava pohja, johon alumiiniset putkikiinnikkeet kierrettiin kiinni M6-pulteilla, jotka näkyvät kuvassa 5. Putkikiinnikkeiden avulla moottoria saadaan liikuteltua portaattomasti kannakeputkella, jolloin hammashihna saadaan säädettyä sivusuunnassa kohdalleen.



**KUVA 5. Alumiiniset putkikiinnikkeet**

Kuvassa 6 näkyy moottorin kehikko, vanttiruuvit, moottorin ympärille panta ja moottorin takapäähän lieriöeristimet. Lieriöeristimet soveltuvat hyvin moottorin takapäähän tukemiseen, koska ne muotoutuvat moottorin kaarevan pinnan mukaan ja ovat korkeussäädettävissä kumiin vulkanoidunkiinnityspultin ja mutterin avulla. Moottorin ylimenevä panta oli tehty 6 mm kierretangosta, ja sen ympärille laitettiin kumiletku suojelemaan moottorin maalipintaa.

Asennettaessa moottoria kehikkoon laitettiin ensimmäiseksi se kiinni laippaa. Sen jälkeen tiukattiin lieriöeristimet runkoa vasten ja lopuksi laitoimme pannan moottorin ympärille. Näin ollen siitä saatiin moottorille tukeva paketti, jolloin moottori ei pääse

liikkumaan kehikossa ja kehikon laipan raskuus vähenee, koska moottoria kannatetaan myös sen takaosasta.



**KUVA 6. Moottorin kehikko**

Moottori kiinnitettiin etupäästä kuvassa 6 näkyvään laippaan. Laippa oli leikattu laserilla Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla. Toimitin heille materiaalin ja Auto CAD -ohjelmalla suunnitellun kuvan. Tuolloin saatiin toteutettua moottorille tarkka kannatinlaippa, jolloin moottorin etupään paino ei ole pelkästään pulttien varassa vaan myös moottorissa oleva huullos kannattelee moottoria.

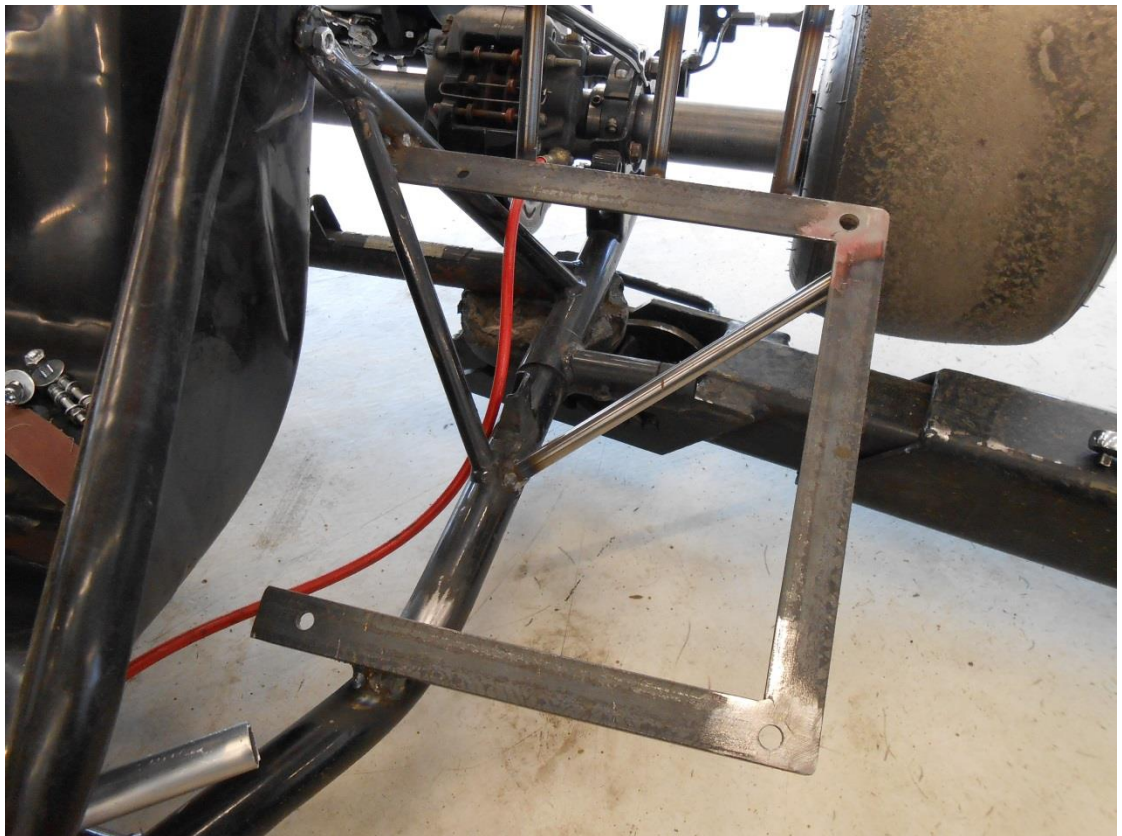
### **3.3 Moottoriohjaimen ja akkukotelon kannakkeet**

Moottoriohjaimen kannakkeet hitsattiin suoraan runkoon kiinni, jolloin saatiin ohjaimelle tukeva ja kevyt kiinnitys. Ohjaimen paikka määräytyi sen mukaan, mihin se mahtui ja ettei siitä olisi haittaa kuljettajalle.

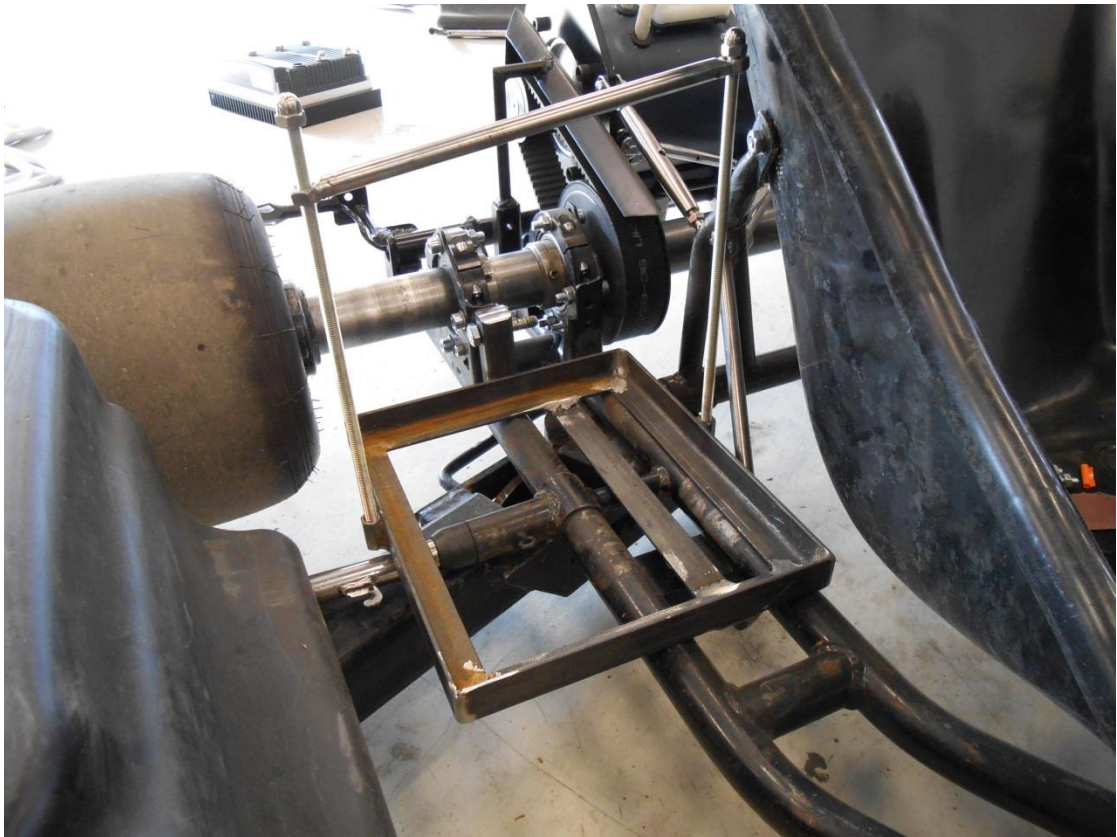
Moottoriohjain oli tässä tapauksessa ilmajäähdytteinen, ja se otettiin huomioon telinetä tehtäessä. Ohjaimen alle oli kiinnitetty jäähdytys siili. Jos ajoviima ei tarpeeksi

jäähdytä ohjainta, niin siihen on mahdollista lisätä jäähdytysiin pohjaan sähkökäyttöinen tuuletin, jolla saadaan tehostettua ohjaimen jäähtymistä.

Akkukotelon kiinnike oli asennettu polttomoottorin paikalle ja kiinnike pystytään irtottamaan tarvittaessa, mistä on hyötyä, jos akkukotelon koko muuttuu. Akku on kiinnikkeessä kiinni vain akun yli menevän tangon avulla, jolloin on tehty mahdolliseksi sen, jos on useampia akkuja niin tyhjän akun voi ottaa pois kannakkeesta helposti ja vaihtaa täyden tilalle. Tämä vaatisi myös sen, että sähkökaapelit olisivat pikaliittimillä kiinni. Työssämme akunvalvontayksikön eli BMS:n johdot tulivat pikaliittimellä kiinni akkuun, mutta käyttösähkökaapelit ovat kiinnitetty muttereilla, koska suuren virrankestoa vaativat liittimet ovat suhteellisen kalliita. Kuvassa 7 näkyy moottoriohjaimen kannake ja kuvassa 8 on akkukotelon kannake.



**KUVA 7. Moottoriohjaimen kannake**



**KUVA 8. Akkukotelon kannake**

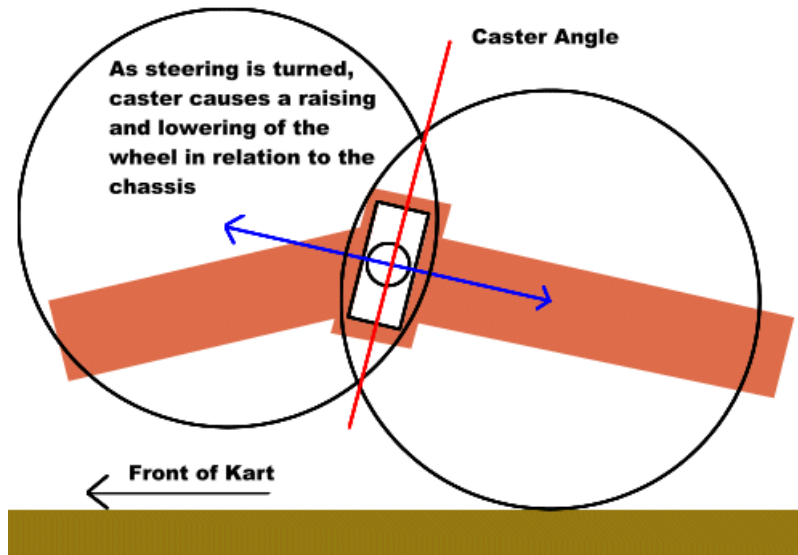
### **3.4 Mittariston kotelointi**

Mittaristolle suunniteltiin vanerista kotelo auton keskellä olevaan tilaan, jossa polttoainesäiliö sijaitsi. Koteloon tulisi näytöt akunvalvontayksikölle eli BMS, joka näyttää akkujen tilan ja moottoriohjaimelle, joista selviää moottorin tiedot, kierrokset, lämpötilat yms. Kotelosta tulisi niin iso, että siihen mahtuisi myös BMS:sä, jolloin se saataisiin suojattua vedeltä ja siihen jäisi myös tilaa mahdollisille lisälaitteille. Koteloa ei vielä käyty rakentamaan, koska moottoriohjaimen säätöön tarvittava potentiometri puuttuu ja se saattaa vielä vaikuttaa kotelon kokoon.

### **3.5 Caster-ohjauskulma**

Etupyörien caster-kulmalla on suuri merkitys auton käyttäytymiseen. Autossa ei ole jousitusta, eikä siinä ole taka-akselissa tasauspyörästöä, joka antaisi takarenkaiden pyöriä eri nopeudella. Tästä johtuen autonrunгон täytyy joustaa, jotta auto kääntyisi mutkissa.

Caster muuttaa ohjausjärjestelmän olka-akselin kulmaa. Kuvassa 9 on esitetty caster-kulma. Autoa ohjattaessa caster saa aikaan rungon kiertymisen, jolloin se painaa sisäpuolen rengasta alaspäin ja ulkopuolen rengasta ylöspäin, tällöin rungon ulkopuolen etuosa laskeutuu ja takaosan sisäpuoli nousee ja kohottaa takarengasta. Tämä auttaa autoa kääntymään mutkissa.[1, s.58.]



**KUVA 9. Renkaan caster-kulma [4.]**

#### **4 SÄHKÖMOOTTORI**

Auton moottoriksi valitsimme HPEVS AC-20-03.27 -oikosulkumoottorin. Moottorin valintaan vaikuttivat moottorin teho, paino ja hinta. HPEVS AC-20 painaa 27,7 kg, ja siitä saadaan n. 20 kW huipputeho. Liitteistä 1 ja 2 selviää moottorin momenttikäyrä ja fyysiset mitat. Kuvassa 10 on esitetty HPEVS AC-20 -oikosulkumoottori. Kuvassa näkyy moottorin päällä liittimet ohjaimelta tulevalta sähkölle ja moottorin kyljestä lähtevät kaapelit, jotka menevät myös moottorinohjaimelle. Toisessa kaapelissa tulee moottorinlämpötilatieto ja toisessa moottorin asema-anturintieto ohjaimelle.[5.]

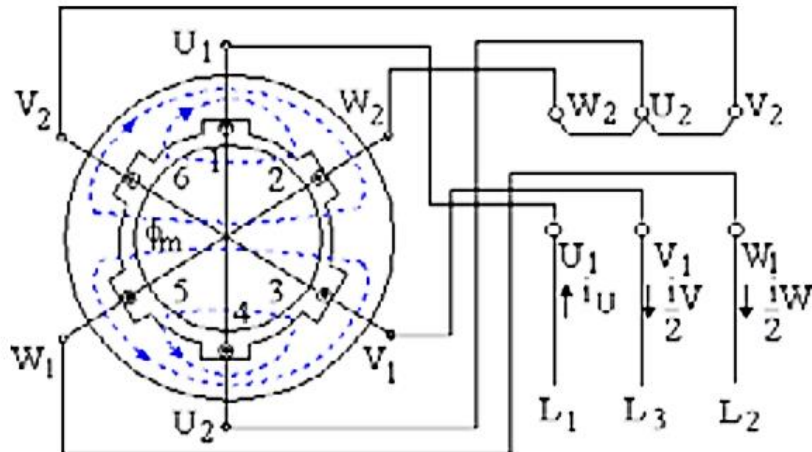


**KUVA 10. Oikosulkumoottori AC-20-03.27 [5.]**

Moottorin koonpuolesta jouduimme asentamaan sen, ei niin ihanteelliseen paikkaan painonjakauman kannalta eli taka-akselin taakse, jolloin rungosta tuli hieman takapainoinen. Jos moottori olisi asennettu muualle, olisi tämä vaatinut rungon muokkaamista kokonaan uudelleenlaiseksi.

#### **4.1 Oikosulkumoottorin toiminta**

Oikosulkumoottorin toiminta vaatii sen, että staattoriin on kehitettävä pyörivä magneettikenttä. Pyörivä magneettikenttä muodostuu kolmivaiheisessa vaihtosähkökooneessa itsestään ilman lisälaitteita, kun symmetriseen kolmivaihekäämitykseen syötetään vaihtosähköä. Kuvassa 11 on esitetty oikosulkumoottorissa esiintyvä pyörivä magneettikenttä. [6, s. 305.]



**KUVA 11. Kaaviollinen esitys pyörivästä magneettikentästä [6, s. 305.]**

Oikosulkumoottorin roottorissa on käämitys, jonka sauvoja pyörivä staattorikentän vuoviiavat leikkaavat, tästä johtuen indusoituu roottorinsauvoihin lähdejännite. Energian siirto oikosulkumoottoriin tapahtuu pelkästään magneettikentän avulla ilman galvanista yhteyttä. Tästä syystä moottorit ovat pitkäikäisiä, koska ainoa kuluva osa käytännössä on koneen laakerointi. [7, s.60.]

Roottorissa oleva häkkikäämitys on oikosuljettu, aiheuttaa indusoituvaa jännitettä käämitykseen virtoja, jotka synnyttävät ympärilleen oman magneettikentän. Syntyvä magneettikenttä pyörii staattorikentän kanssa tahdissa, jolloin se vetää perässään roottorin pyörivään liikkeeseen. Kuvassa 12 on roottorin häkkikäämitys ja roottorin päissä näkyvät oikosulkurenkaat. [7, s.62.]

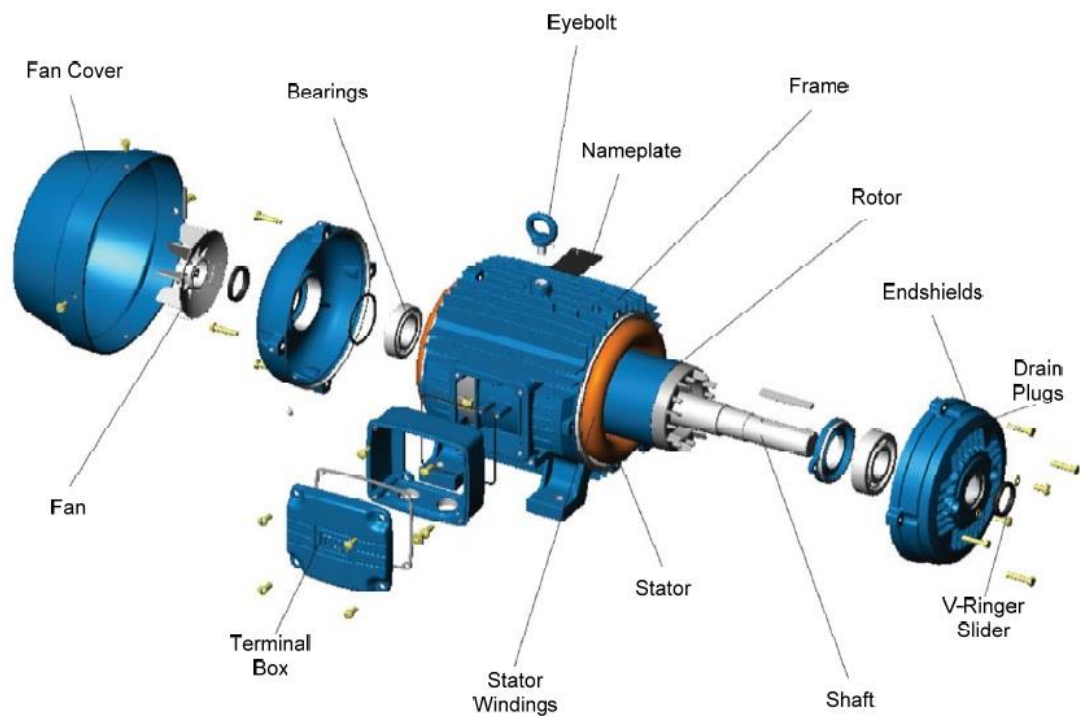


**KUVA 12. Roottorin häkkikäämitys [8.]**



Induktion säilyminen roottorissa edellyttää sen, että roottorin mekaanisen pyörimisnopeuden tulee olla pienempi kuin staattorin luoman magneettikentän. Jos roottori pyörii samassa tahdissa staattorikentän kanssa, sauvarakenne ei kohtaa muuttuvaa kenttää ja näin ollen myös induktio katoaa. Tällöin roottori ei ole enää magneettinen ja koneen vääntömomentti on nollassa.[7, s.62.]

Kolmivaiheinen oikosulkumoottorin pääosat ovat staattori ja staattorinkäämitys sekä roottori, joka pyörii staattorin sisällä. Kuvassa 13 on esitetty oikosulkumoottorin osat.



**KUVA 13. Oikosulkumoottori [9.]**

## 4.2 Oikosulkumoottorin ohjaus

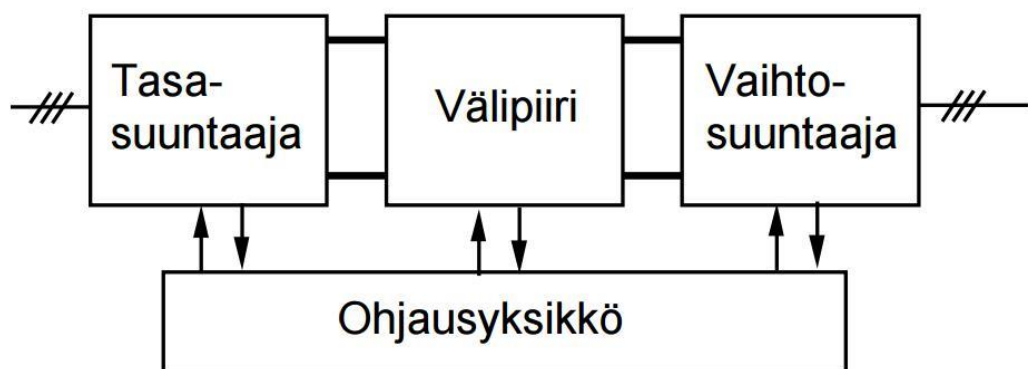
Ajoneuvokäytössä tulee moottorin nopeutta luonnollisesti voida säätää, koska moottorin pyörimisnopeus vaikuttaa ajoneuvon nopeuteen. Autossa käytettiin tähän Curtisin 1238-5601-moottorinohjainta, joka on suunniteltu käytettäväksi valitsemamme moottorin kanssa. Kuvassa 14 on Curtisin moottorinohjain.



**KUVA 14. Curtis 1238-5601 [5.]**

Moottorinohjaimen toiminta perustuu taajuusmuuttajaan. Normaalissa vaihtosähkökäytössä taajuusmuuttajalle syötetään vaihtosähköä, mutta ajoneuvokäytössä käyttövoima otetaan akuista, jolloin käytetään tasasähköä.

Oikosulkumoottoria vaihtosähkökäytössä käytetään välipiirillisiä taajuusmuuttajia. Sellainen taajuusmuuttaja koostuu kuvan 15 mukaan neljästä osasta.



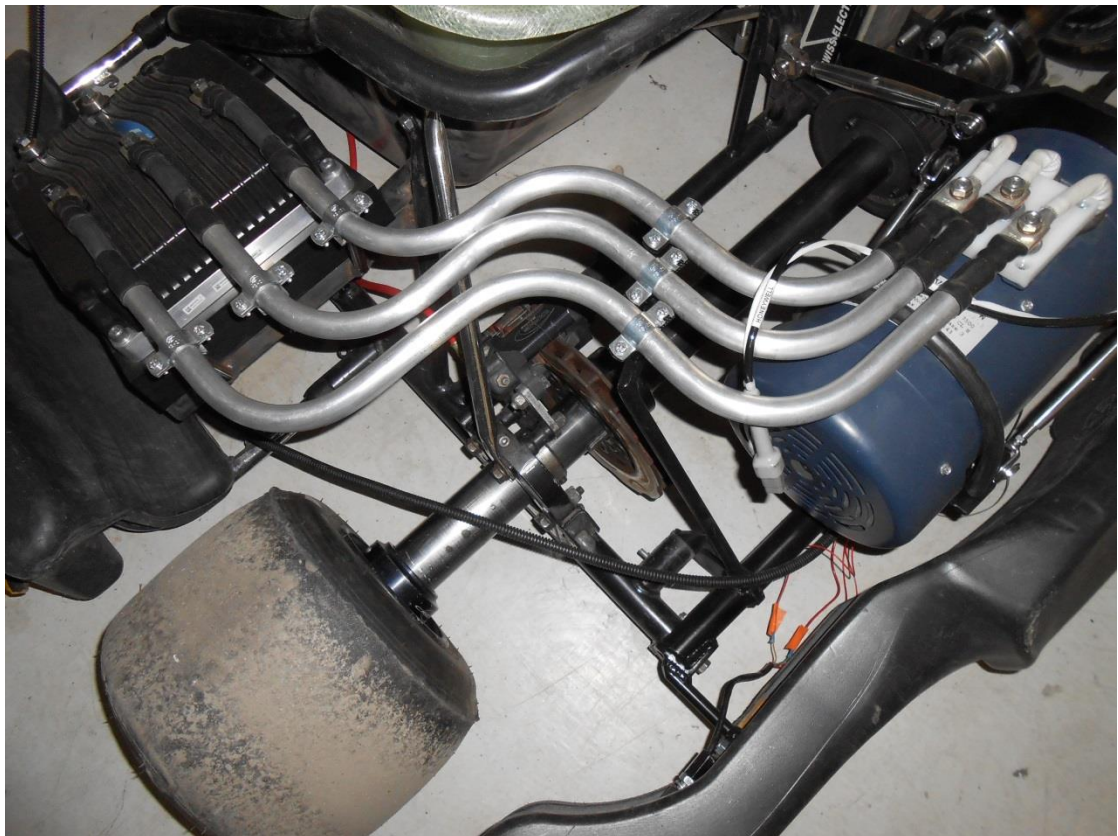
**KUVA 15. Lohkokaavio taajuusmuuttajasta [10 s.17]**

Vaihtosähköä syötetään ensimmäiseksi taajuusmuuttujan tasasuuntaajaan. Siitä syntyy sykkivä tasajännite suodatetaan välipiirissä LC- alipäästösuodattimella tai muutetaan tasoituskuristimella tasasähköksi. Tämän jälkeen vaihtosuuntaajassa tasasähköstä

muodostetaan halutun taajuista vaihtosähköä, jolla ohjataan moottoria. Ohjausyksikkö huolehtii taajuusmuuttujan toiminnasta.[10, s.17.]

### 4.3 Moottorin ja ohjaimen kaapelointi

Moottorin ja moottoriohjaimen sekä ohjaimelle akulta tulleet kaapelit oli asennettu 20 mm alumiiniputkeen. Näin saatiin kaapelit asennettua tukevasti auton runkoon. Putkenkiinnikkeinä käytettiin KOPI-kiinnikkeitä. Kaapeliksi valitsimme 70 mm<sup>2</sup> monisäikeisen kaapelin, jolla saatiin riittävästi siirrettyä virtaa, ilman että kaapelit alkaisivat lämmetä liikaa ja muodostumaan resistanssiksi akuston, ohjaimen tai moottorin välille. Kuvassa 16 on esitetty moottorin ja ohjaimen välinen johdotus.



**KUVA 16. Ohjaimen ja moottorin välinen johdotus**

## 5 VOIMANSIIRTO

Voimansiirroksi oli kaksi vaihtoehtoa, yleisesti käytössä oleva ketjuveto tai hammashihnaveto. Valitsimme hammashihnavedon sen huoltovapauden takia. Ham-

mashihnat ovat oikein säädettyinä todella pitkäikäisiä, eivätkä vaadi huoltoa, toisin kuin ketjuvedossa käytetyt ketjut, joita pitää säännöllisin väliajoin voidella.

## 5.1 Hammashihnapyörät

Voimansiirron suunnittelussa tärkeä aisa oli välityssuhteen päättäminen. Hammashihnapyörien koolla saatiin valittua haluttu välityssuhde. Tässä tapauksessa suunnittelu lähti liikenteeseen halutusta ajonopeudesta. Huippunopeudeksi tavoiteltiin suunnilleen 80 km/h. Sähkömoottorin pyörimisnopeutena laskuissa käytettiin 3500 rpm, käytännössä moottorista saadaan enemmänkin kierroksia, mutta moottorin vääntömomentti alkaa laskea rajusti. Vielä laskukaavaan tarvittiin renkaan kulkema matka yhden kierroksen aikana. Auton renkaan halkaisija oli 270 mm, näin ollen yhden kierroksen matka on 0,848 m.

Välityssuhteeksi valittiin 1:2,2, joka tosin muuttui saatavista hihnapyöristä johtuen. Moottorin akselille laitettiin 25-urainen ja taka-akselille 56-urainen hihnapyörä, jolloin välitykseksi tuli 1:2,24. Muutos on pieni eikä näin ollen juuri vaikuttanut nopeuteen. Auton huippunopeus kokeillaan käytännössä, jolloin saadaan todellinen nopeus mitattua.

Hihapyöriä on todella montaa eri kokoa ja kyseisen välityksen saamiseksi monta eri mahdollisuutta, jolloin avuksi saimme SKS:ltä teknisen puolen myyjän Tommi Takkinen, hän valitsi sopivat hihnapyörät ja hihnan meidän käyttöön.

Renkaan kulkema matka yhden kierroksen aikana laskettiin kaavan 1 mukaisesti

$$s = 2 * \pi * r \tag{1}$$

r = renkaan säde

s= renkaan kulkema matka

Moottorin kierrokset pitää muuttaa 1/s muotoon, se saadaan kaavan 2 mukaisesti

$$n_m = \frac{rpm}{60} \tag{2}$$

rpm = moottorin pyörimisnopeus

$n_m$  = pyörimisnopeus 1/s

Renkaan pyörimisnopeus saadaan kaavan 3 mukaisesti

$$n = s * n_m \quad (3)$$

s = renkaan kulkema matkan, yhden kierroksen aikana

$n_m$  = moottorin pyörimisnopeus

Välityssuhde laskettiin kaavan 4 mukaisesti

$$\frac{1}{i} = \frac{80}{n_m} \quad (4)$$

1/i = välityssuhde

$n_m$  = moottorin pyörimisnopeus km/h

Moottorin akselille asennetussa hammashihnapyörässä on kiilaura, johon asennettiin kiila, joka estää hihnapyörän pyörimisen moottorin akselilla. Hihnapyörä kiinnitettiin pidätinruuvilla, joka estää hihnapyörän liikkumisen akselilla. Hihnapyörä ja kiila lukittiin paikoilleen myös laakerilukitteen avulla.

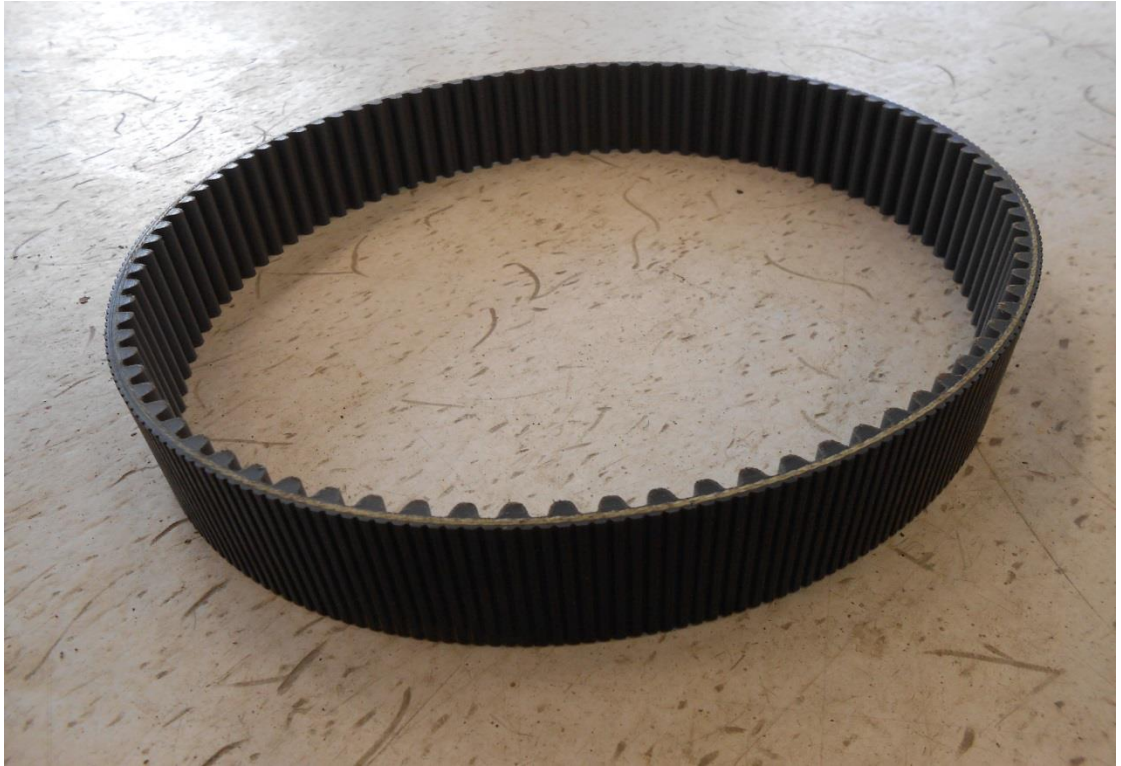
Taka-akselin hihnapyörä asennettiin Taper-lock eli kartioholkin avulla. Holkkiin kuuluu kaksi pulttia, joita tiukkaamalla kartioholkki puristuu akselin ympärille. Kartioholkissa on myös kiilaura. Kuvassa 17 on esitetty taka-akselin hihnapyörä ja kartioholkki.



**KUVA 17. Taka-akselin hammashihnapyörä ja Taper-lock holkki**

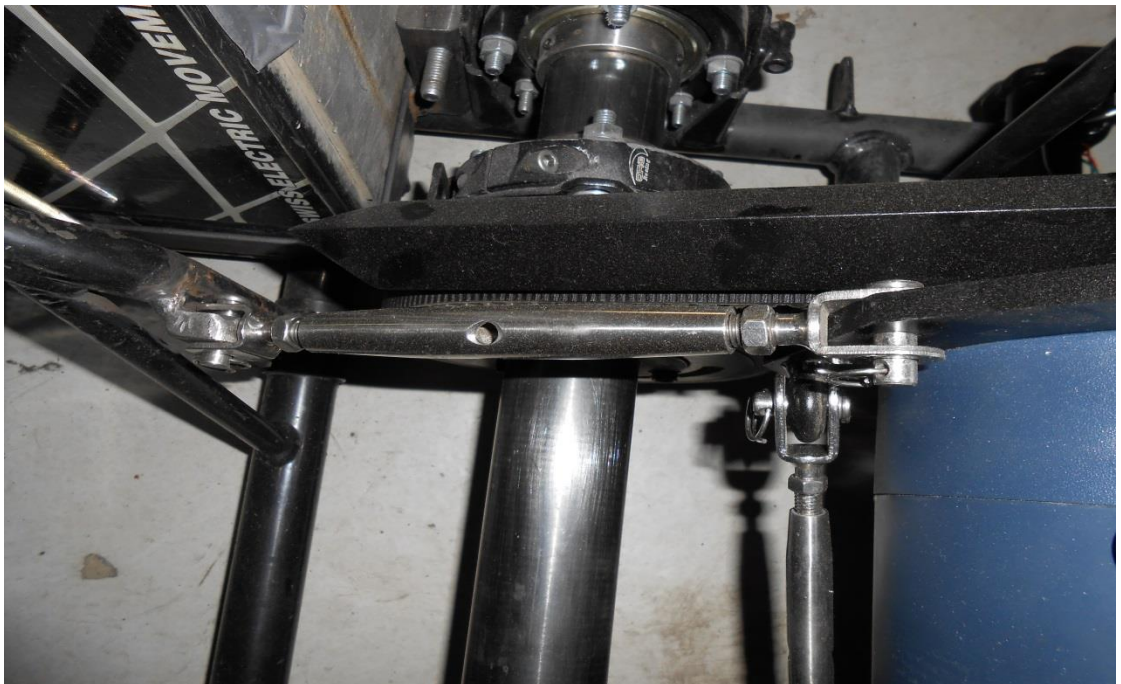
## **5.2 Hammashihna**

Hihnaksi valikoitui hihnapyöristä johtuen Poly Chain GT2 -hammashihna. Hihnan pituus 720 mm, leveys 36 mm ja siinä oli 90 hammasta, sallittu käyttölämpötila on -54°C - +85 °C. Hihnan materiaali on polyuretaani ja sen sisällä on Aramidvetolangat. Kuvassa 18 on Poly Chain GT2 -hammashihna. [11, s.2.]



**KUVA 18. Hammashihna**

Hihnan kiristys tehtiin M8-vanttiruuvilla kuvassa 19 näkyvällä tavalla. Hihnan kireys on oltava kohdallaan, koska liian kireällä oleva hihna kuormittaa laakereita ja hihnaa, lyhentäen niiden elinikää. Liian löysällä oleva hammashihna taas saattaa hypätä hihnapyörän urista yli, jolloin hihna mahdollisesti myös vaurioituisi.



**KUVA 19. Vanttiruuvi hihnan kiristykseen**

Hammashihnan oikean kireys saadaan mitattua eri tavoilla. Kaikista tarkin ja nopein tulos saataisiin mittaamalla hihnan taajuutta, kun se on kiristetty. Taajuuden mittaamiseen tarvitsisi oman mittarin ja tiedon sopivan hihnan tiukkuuden taajuudesta. Liitteestä 3 selviää työssämme käytetyn hihnan kiristysjännitteet ja -taajuudet, jotka saimme Tommi Takkiselta SKS:ltä. Meillä ei ollut käytössä kyseistä taajuusmittaria, joten meidän piti mitata hihnan taipuminen liitteessä 3 annettujen arvojen mukaisesti. Taipuma mitattiin hihnan jännevälin keskeltä, jolloin se piti olla 4 mm 16 kg:n painolla.

## 6 POHDINTA

Työssä opin paljon uutta niin sähköautotekniikasta ja siihen sisältyvistä komponenteista, kuin myös karting- autoista. Autoa ei päästy vielä kokeilemaan käytännössä, koska moottorinohjaimesta puuttui ajonopeutta säätelevä potentiometri. Vaikka osat tilattiin hyvissä ajoin, emme saaneet kaikkia, ennen kuin tämä opinnäytetyö kirjoitettiin valmiiksi.

Auto tullaan tekemään valmiiksi ja tekemään vertailut  $125 \text{ cm}^3$  polttomoottorisen mikroauton välillä. Automme painaa ajokunnossa n. 140 kg, joka on melkein puolet enemmän, mitä kyseinen auto painaisi vakiona. Vääntöä taas saadaan polttomoottoriin autoon nähden nelinkertaisesti.

Rungon muokkaus vaikuttaa varmasti paljon auton käyttäytymiseen, ja moottorin sijoitus taka-akselin taakse ei ole paras paikka näin kevyessä autossa, koska suurin osa painosta on taka-akselilla. Tämä vaikeuttaa varmastikin auton käyttäytymistä mutkissa, jolloin autosta tulee aliohjautuva kevyen keulan johdosta. Tätä saadaan korjattua esim. lisäämällä painoa etuakselilla, mutta tämä taas vaikuttaa suorituskykyyn ja runko kuormittuisi lisää. Kunhan auto saadaan ajokuntoon, päästään kokeilemaan auton käyttäytymistä, ja näin tiedämme enemmän, mitä pitää autossa vielä muokata, jolloin siitä saataisiin hyvin ohjautuva karting- auto.

Työ oli todella mielenkiintoinen, ja lähitulevaisuudessa varmasti tulee kysyntä kasvamaan sähkökäyttöisissä mikroautoissa niin autourheilun puolella kuin niitä vuokraavissa yrityksissä.

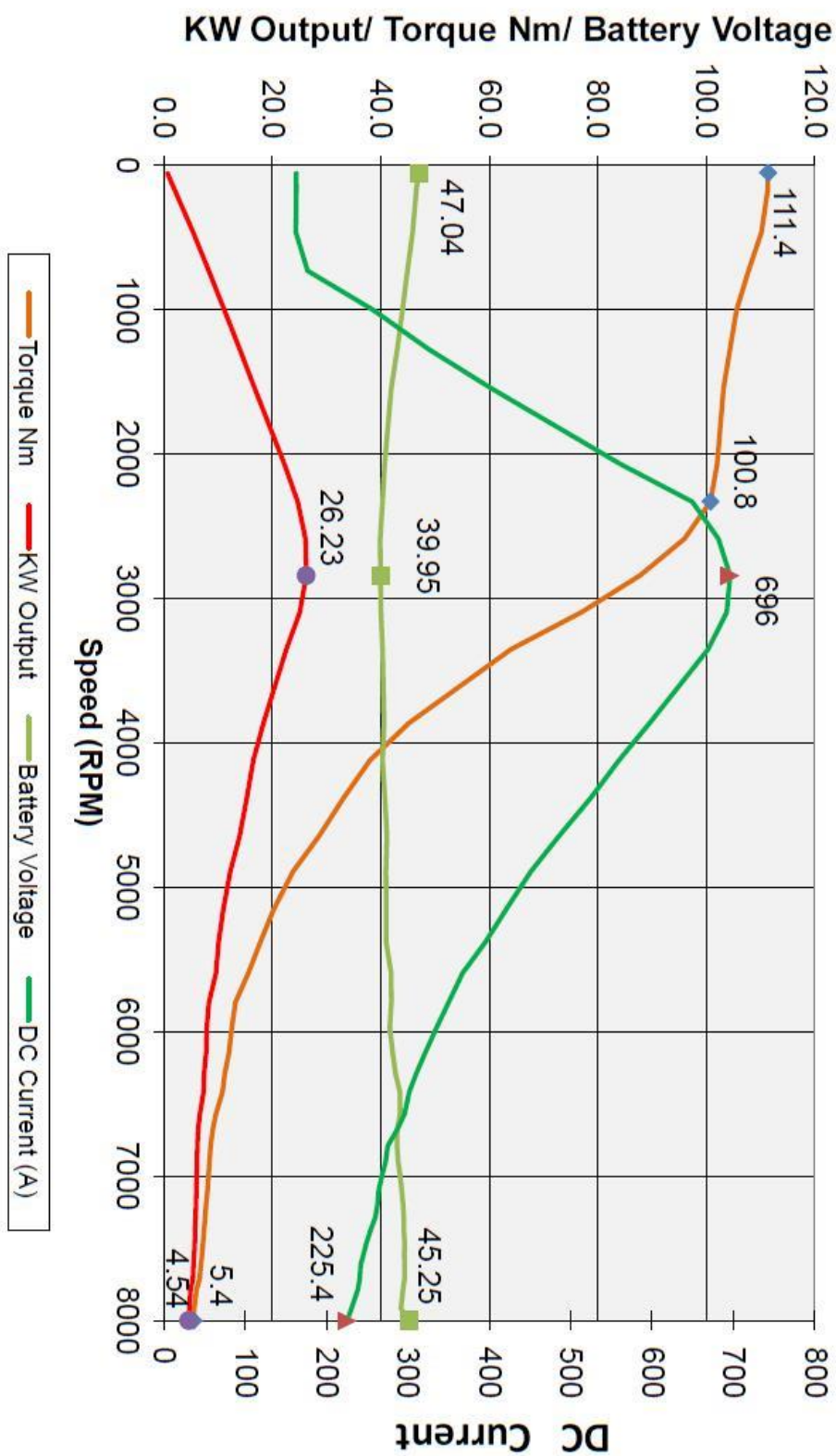


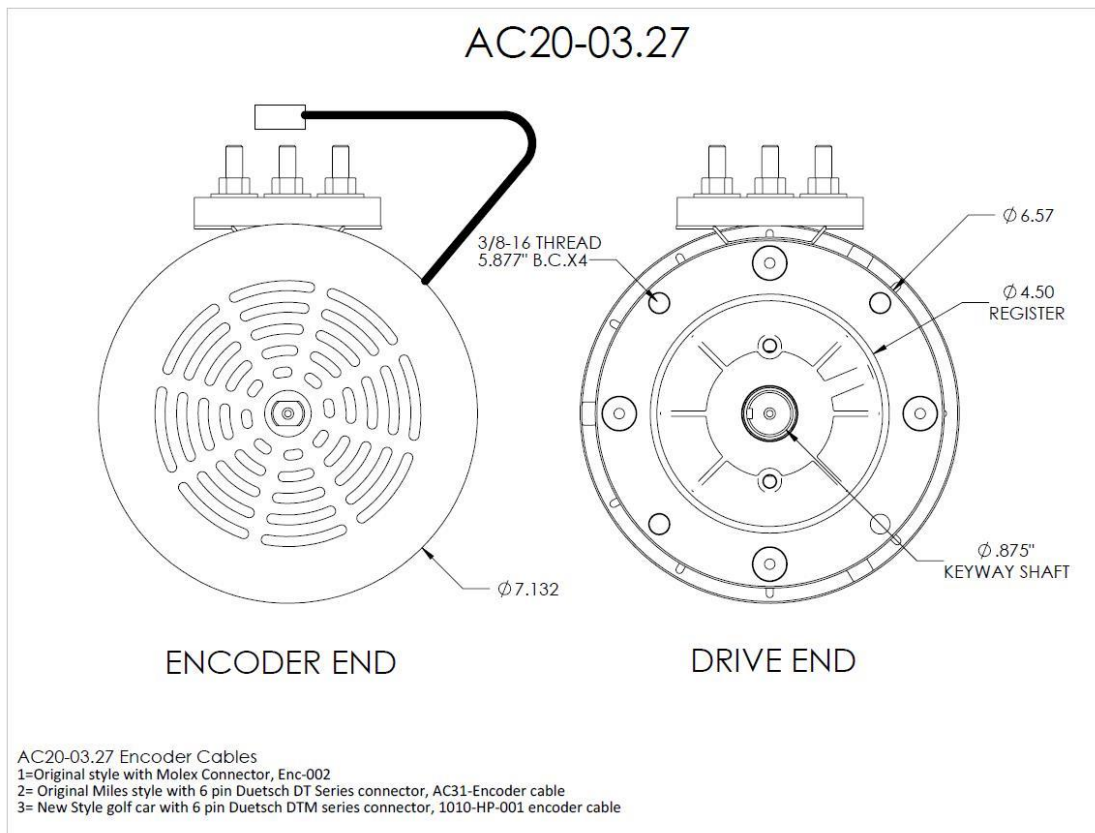
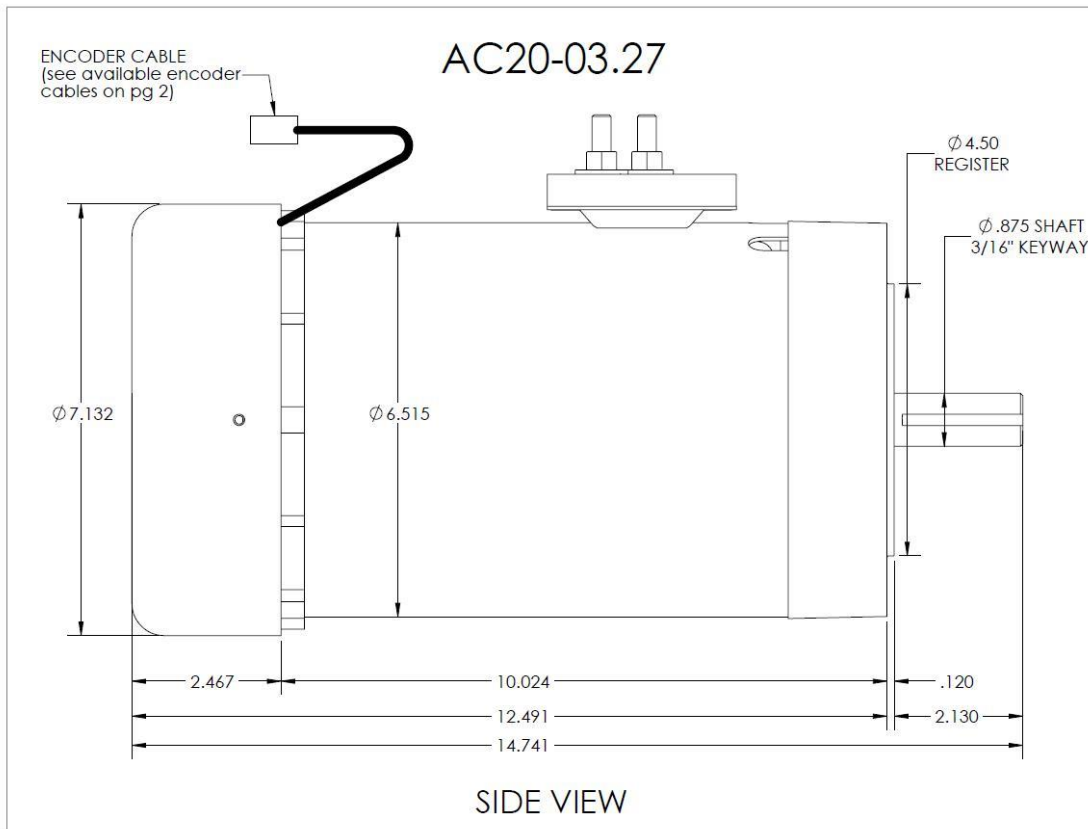
## LÄHTEET

- [1] Shanhes João Diniz. Karting ajajan käsikirja. Jyväskylä: Gummerus. 2007
- [2] British histoic kart club. WWW-dokumentti.  
<http://www.britishhistorickartclub.com/part2.html>. Päivitetty 17.12.2013. Luettu 25.4.2015
- [3] Marifix system-Marin industri arkitektur PDF-katalogi  
<http://www.marifix.se/sv/marin>. Ei päivitystietoa. Luettu 8.4.2015.
- [4] UK karting  
<http://www.britishhistorickartclub.com/part2.html>. Ei päivitystietoa. Luettu 25.4.2015.
- [5] HPEVS. WWW-dokumentti.  
<http://www.hpevs.com/catalog-ac-20.htm>. Päivitetty 16.4.2015. Luettu 25.4.2015.
- [6] Aura Lauri & Tonteri Antti J. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. Porvoo: WSOY. 1994
- [7] Hietalahti Lauri. Muuntajat ja sähkökoneet. Vantaa: Tammertekniikka. 2011
- [8] Slideplayer. WWW-dokumentti  
<http://slideplayer.fi/slide/2030352/>. Ei päivitystietoa. Luettu 14.4.2015
- [9] Ee422\_Applied electrical technology. WWW-dokumentti  
<https://ee422djv.wordpress.com>. Päivitetty 31.12.2014. Luettu 25.4.2015
- [10] Sähkömoottorikäytöt. PDF-dokumentti.  
[http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/18\\_S%84hk%94moottorik%84yt%94t.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/18_S%84hk%94moottorik%84yt%94t.pdf). Ei päivitystietoa. Luettu 14.4.2015.
- [11] Hammashihnakäytön suunnitteluopas. PDF-dokumentti.  
[http://www.sks.fi/www/sivut/186CEF516D83C523C2257B6B003E6E36/\\$FILE/Hammashihnakayton\\_suunnitteluopas\\_LL%20hihnat.pdf](http://www.sks.fi/www/sivut/186CEF516D83C523C2257B6B003E6E36/$FILE/Hammashihnakayton_suunnitteluopas_LL%20hihnat.pdf).  
Päivitetty 3.9.2013. Luettu 2.5.2015.

HPEVS AC-20 Vääntömomentti ja tehokäyrä

HPEVS AC-20 Metric Peak Graph  
48 Volts/650 Amps







## Industrial Belt Design - Drive Detail Report

Design Flex® Pro by the Gates Corporation

<b>Designed For:</b>		<b>Provided By:</b> Tommi Takkinen SKS-mekaniikka Oy Martinkytäntie 50 01720 Vantaa, Etelä-Suomen lääni 01720 Suomi tommi.takkinen@sk.fi +358 9 852661 Phone +358 9 8526624 Fax	
Application: Design #1			
<b>INPUT</b>			
Known Belt: Poly Chain GT2 8MGT-720 - 36,00 mm		Known Size: DriveR 25 Grooves	DriveN 56 Grooves
Speed Ratio: 2,24 Down		RPM: 5000,0	2232,1
Input Load: 40 kW, Efficiency: 94,00 %		Maximum Rim Speed: 33 m/s	33 m/s
Service Factor: 1,0		Bushings Checked: Any	
Design Power: 40 kW		Belts Checked: Poly Chain GT2	
Center Distance: 194,0 mm			
Motor Standards: Electric Motor			
<b>SELECTED DRIVE</b>			
Belt Type: Poly Chain GT2 - 8MGT		Belt	DriveR
		8MGT-720-36	8M-25S-36
		8M-56S-36	8M-56S-36
Speed Ratio: 2,24 Down		Product No: 9275-09027	7726-23025
dN RPM: 2232,1		Top Width: -	46,31 mm
Rated Load: 40,63 kW		Weight: 122 g	4,2 kg
Belt Pull: 3061 N		Rim/Belt Speed: 16,7 m/s	16,5 m/s
Center Distance: 194,0 mm		RPM: 1388,8	5000,0
Install/Take-Up Range: 158,9 mm to 194,7 mm		Bushing Part No: -	MPB
		Bore: -	12,7 mm - 68,3 mm
		Bolt Torque: -	49 N-m
		Pitch Diameter: -	63,66 mm
			142,6 mm
<b>TENSION</b>			
	<b>New Belt</b>	<b>Used Belt</b>	
Static Tension (per rib/strand):	1643 to 1793 N	1195 to 1344 N	
Static Belt Pull (total pull):	3218 to 3510 N	2340 to 2633 N	
Rib/Strand Deflection Distance:	4,00 mm	4,00 mm	
Rib/Strand Deflection Force:	16 to 17 kg	12 to 13 kg	
Sonic Tension Meter:	1643 to 1793 N	1195 to 1344 N	
Belt Frequency:	259 to 271 Hz	221 to 235 Hz	
507C/508C Model STM Settings: Mass 4,7g/m, Width: 36 mm/#R, Span: 190 mm			
<b>NOTES</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- The belt length was user specified.</li> <li>- The belt width was user specified.</li> <li>- Installation allowance falls out of the specified centre distance range.</li> <li>- The DriveR pulley must be bored to the required size. Allow proper lead times.</li> <li>- The DriveR bore &amp; shaft should meet a HB clearance fit. The shaft must penetrate 100%.</li> <li>- Pricing Scheme Used: Default</li> <li>- Design Flex Drive Solutions assume Gates products and are not applicable to non-Gates products.</li> <li>- Gates products are not designed, manufactured, or tested for use on aircraft applications, including aircraft propeller or rotor drive systems, and all manned or unmanned airborne applications of any type. Lift and Braking systems have special considerations. Buyer has sole responsibility for the selection and testing of products for any intended use.</li> </ul>			