

# **Teollisuusvaihteiden koeajopenkin suunnittelu**

Simetek Service Oy

**Kimmo Kauppinen**

Opinnäytetyö

---



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Kimmo Kauppinen	
Työn nimi Teollisuusvaihteiden koeajopenkin suunnittelu	
Päiväys 20.5.2012	Sivumäärä/Liitteet 38/10
Ohjaaja(t) lehtori Pertti Kupiainen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Simetek Service Oy	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella huolletuille teollisuusvaihteille koeajopenkki. Kyseinen laite suunniteltiin siilinjärveläiselle Simetek Servicelle. Yritys on juuri aloittanut teollisuusvaihteiden huollon ja näin ollen koeajopenkki on ajankohtainen investointi yritykselle. Työhön sisältyivät 3D-mallin luominen, valmistuspiirustusten teko sekä tarvittavien komponenttien määrittäminen ja kokoonpanoon kuuluvan sähkökaapin rakentaminen.</p> <p>Koeajopenkki voidaan jakaa kolmeen eri osaan. Näitä osia ovat runko, pöytä ja sähköosat, joista jokaisesta kerrotaan yleisesti tässä opinnäytetyössä. Koeajopenkin vaatimus oli, että sillä pystytään koeajamaan erilaisia vaihteistoja ja mukauttamaan penkkiä kullekin vaihteelle sopivaksi. Lisäksi vaatimuksina olivat työturvallisuus ja koeajopenkin helppokäyttöisyys. Tavoitteena oli täyttää vaatimukset ja lopullinen malli onnistui siinä. Opinnäytetyön tulos palvelee yritystä ja sen tarpeita.</p> <p>Työn toteuttaminen aloitettiin suunnitteleamalla erilaisia malleja, jotka täyttäisivät toimeksiantajan laatimat vaatimukset ja tarvittavista komponenteista lähetettiin tarjouspyyntöjä eri toimittajille. Näitä malleja karsittiin budjetti- ja toteutussyistä, jolloin jäljelle jäi yksi malli, jota ryhdyttiin kehittämään. Työtä varten tutustuttiin yhteistyöyritys SEW Eurodriven tehtaalla Hollolassa jo olemassa olevaan ratkaisuun, josta saatiin apua penkin suunnitteluun.</p>	
Avainsanat koeajopenkki, teollisuusvaihte, testaus	
Julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Kimmo Kauppinen			
Title of Thesis Designing Test Station for Industrial Gears			
Date	May 24, 2012	Pages/Appendices	38/10
Supervisor(s) Mr. Pertti Kupiainen, M.Sc., Lecturer			
Client Organisation/Partners Simetek Service Oy			
<p><b>Abstract</b></p> <p>The purpose of this final year project was to design a testing station for serviced industrial gears. The device was designed to a company called Simetek Service located in Siilinjärvi. The company has just started to maintain industrial gears and therefore the testing station is an essential investment to the company. This project included creating a 3D-model, manufacturing drawings and defining necessary components as well as building an electricity enclosure included in the assembly.</p> <p>As a result of this project there was a testing station that can be divided into three parts. These parts are frame, table and electric parts, which all are reported in this thesis on a general level. The requirements for the testing station were capability of testing different gears and adjusting the station to suit each gear as well as work safety and manageability. The aim was to meet these requirements and the final model succeeded in it. The result of the project benefits the company and meets its needs.</p> <p>The work was started by designing different models to meet the requirements set by the executive organization. Inquiries about the required components were sent to various suppliers. Due to costs and technical reasons only one model was chosen to be developed. To get ideas for planning the testing station an existing model was studied in the factory of SEW Eurodrive, a co-operative company located in Hollola.</p>			
Keywords test station, industrial gearbox, testing			
Public			

## ALKUSANAT

Opinnäytetyö on tehty Kuopiossa Simetek Service Oy:lle keväällä 2012.

Haluan kiittää Simetek Servicen toimitusjohtajaa Timo Roivaista haasteellisesta työnaiheesta ja avusta työn suorittamisessa. Lisäksi haluan kiittää SEW-Eurodriven henkilöstöstä Pertti Poimaata sekä Timo Heikkistä kaikista avuista ja neuvoista. Kiitokset myös työni ohjaajalle Pertti Kupiaiselle sujuvasta ohjauksesta.

Erityiskiitos kuuluu avopuolisolleni sekä läheisilleni opinnäytetyöhön sekä muihin opintoihin saadusta tuesta.

Kuopiossa 20.5.2012

Kimmo Kauppinen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	8
2	YHTEISTYÖYRITYKSET .....	9
2.1	Simetek Service Oy .....	9
2.2	SEW-Eurodrive Oy.....	9
3	LÄHTÖKOHTA .....	11
4	TYÖN TAVOITTEET JA SUORITUS.....	12
5	TEOLLISUUSVAIHTEET .....	14
6	SÄHKÖMEKANIikka.....	15
6.1	Moottorikäytöt .....	15
6.2	Oikosulkumoottorit.....	15
6.3	Taajuusmuuttajat.....	17
7	SUORAVIIVAISEN LIIKKEEN KONEENOSAT .....	18
7.1	Kuularuuvit.....	18
7.2	Lineaarijohteet.....	19
8	HIHNAVAIHTEET .....	21
9	TYÖN KULKU .....	22
9.1	Benchmerkkkaus .....	22
9.2	Suunnittelu.....	22
9.3	Tarjouspyyntöjen lähettely.....	23
9.4	3D-mallien vertailu .....	23
9.5	Valmistuspiirustusten teko .....	23
10	MALLIEN VERTAILU JA LOPULLISET RATKAISUT .....	24
10.1	Pöytämallit .....	24
10.2	Lopullinen pöytämalli.....	26
10.3	Runkomallit .....	27
10.4	Lopullinen runkomalli.....	31
11	LOPULLINEN RATKAISU.....	35
11.1	Sähköosat .....	36
11.1.1	Sähkökaappi .....	36
11.1.2	Taajuusmuuttaja .....	37
11.1.3	Moottori.....	38
12	YHTEENVETO.....	39
	LÄHTEET .....	40

## LIITTEET

Liite 1 Kartiohammaspyöräparin tiedot

Liite 2 Laakeripukkien tiedot

Liite 3 Häätä-seiskaavio

Liite 4 Sähkökaapin sähkökaavio

Liite 5 Taajuusmuuttajan tiedot

Liite 6 Oikosulkumoottorin tiedot

Liite 7 Koeajopenkin rungon piirustus

Liite 8 Koeajopenkin pöydän piirustus

## 1 JOHDANTO

Kasvava kilpailu maailmanmarkkinoilla on nostanut esille yrityksen laaduntuottokyvyn ja kustannustehokkuuden. Nämä kaksi tekijää ovat keskeisiä kilpailukyvyn ylläpitämisessä yhä kovemmin kilpailluilla markkinoilla. Viime aikoina kyseisten käsitteiden merkitys on ymmärretty myös Suomessa ja niitä on alettu kehittää. Aiemmin laatu on ymmärretty vain tuotteiden tekniseksi virheettömyydeksi, mutta nyttemmin käsite on laajentunut myös toiminnan laaduksi. (Silén 1998, 5.)

Opinnäytetyö tehdään siilinjärveläiselle Simetek Service Oy:lle, joka on kunnossapitopalveluita tarjoava yritys. Työn aiheena on suunnitella teollisuusvaihteiden koeajopenkki. Suunnitellusta mallista luodaan 3D-malli sekä valmistuspiirustukset. Koeajopenkin tarkoituksena on testata huollettuja teollisuusvaihteita ja tarkkailla vaihteistojen toimintaa huollon jälkeen. Halu koekäyttää ja tarkkailla huollettuja teollisuusvaihteita ennen asiakkaalle palautusta on tullut yrityksen omasta tahdosta kehittää tuotantoa ja siten parantaa kilpailukykyä.

Työtä varten tutustuttiin jo olemassa olevaan ratkaisuun yhteistyöyrityksen SEW Eurodriven avulla. Yrityksessä käytössä oleva koeajopenkki on myös suunniteltu ja valmistettu opinnäytetyönä. Tutustuminen koeajopenkkiin sekä testattaviin vaihteistoihin antoi käsityksen penkin käyttötarkoituksesta ja tarvittavista komponenteista.

Työn tuloksena on tarkoitus saada suunniteltua helppokäyttöinen ja luotettava laite teollisuusvaihteiden testaamiseen. Koeajopenkin tulee olla muunneltavissa erikokoisille vaihteistoille sekä pysty- että vaaka-akselisillekin. Laitteiston avulla yritys voi tarjota luotettavaa ja laadukasta palvelua ja samalla taataan myös asiakkaiden tyytyväisyys.



## 2 YHTEISTYÖYRITYKSET

### 2.1 Simetek Service Oy

Simetek Service Oy on vuonna 2003 perustettu Simetek Works Oy:n tytäryhtiö, joka on Siilinjärvellä toimiva koneasennuksiin ja kunnossapitoon erikoistunut yritys. Simetek Service Oy:n tavoitteena on palvella asiakkaitaan yksilöllisten tarpeiden mukaan kunnossapidon palvelusopimuksesta aina yksittäisiin huolto- tai korjaustoimenpiteisiin. Yrityksen toimenkuvaan kuuluu myös teollisuusvaihteiden huolto ja kunnostus. Simetek-konserni tarjoaakin asiakkailleen kokonaispalveluketjun suunnittelusta, valmistuksesta ja asennuksesta kunnossapitoon asti. Konsernin asiakkaita ovat prosessiteollisuus, lämpö- ja energialaitokset, kone- ja laitevalmistajat sekä rakennusliikkeit ja yksityiset yritykset. (Simetek 2012.)

Simetek-konserni aloitti vuonna 2011 yhteistyön Sew-Eurodrive Oy:n kanssa. Yhteistyön tavoitteena on tarjota alueen teollisuusyrityksille voimansiirron kokonaisuhoitoa irrotus-, asennus- ja muutostöineen. Yritysten yhteistyön ansiosta Simetek Service Oy pystyy tarjoamaan asiakkailleen myös vaihdemoottoreiden ja teollisuusvaihteiden huolto- ja korjaustoimintaa Itä-Suomessa. (Simetek 2012.)

### 2.2 SEW-Eurodrive Oy

SEW-Eurodrive Oy on osa kansainvälistä SEW-konsernia, joka on alun perin perustettu Saksassa vuonna 1931. Yritys on erikoistunut sähköiseen ja mekaaniseen käyttötekniikkaan. SEW-Eurodrive Oy:n tuoteohjelma koostuu vaihdemoottoreista teollisuusvaihteista, taajuusmuuttaja- ja servokäyttöistä sekä hajautetun käyttöautomaation tuotteista. SEW-Eurodrive Oy aloitti toimintansa vuonna 1975 Lahdessa. Nykyisin yrityksen kokoonpanotehdas ja pääkonttori sijaitsevat Hollolassa, aluekonttorit sijaitsevat puolestaan Helsingissä, Vaasassa ja Rovaniemellä. SEW-Eurodrive on käyttötekniikan markkinajohtaja, ja konsernin liikevaihto on noin kaksi miljardia euroa. SEW-Eurodrive-konsernin tavoitteena on löytää joka asiakkaalleen ihanteellinen ratkaisu. Jotta tämä voitaisiin toteuttaa, konserni panostaa osaavaan henkilöstöön ja laaja-alaiseen toimintaan. Tällä varmistetaan markkinajohtajuus jatkuvan kehityksen ja vahvan sitoutumisen avulla myös tulevaisuudessa. (SEW-Eurodrive 2012a.)

SEW-Eurodriven tuotteisiin voi törmätä monella eri teollisuudenalalla, muun muassa rakennus-, metallinjalostus- ja automaatioalalla (SEW-Eurodrive 2007). SEW-Eurodrive-konserni on levinnyt ympäri maailman, ja sillä onkin 11 tuotantolaitosta ja 61 kokoonpanotehdasta 46 maassa. Näin ollen teknisen kehityksen jatkuminen, yhtenäiset laatustandardit, lyhyet toimitusajat ja maailmanlaajuinen käyttökokemus ovat taattuina. (SEW-Eurodrive 2012a.)

### 3 LÄHTÖKOHTA

Teollisuusvaihteiden käyttö teollisuudessa on varsin yleistä, ja nykyisen ajattelumallin ansiosta kunnossapidosta on tullut tärkeä osa-alue tuotantoa. Vaihteita käytetään muun muassa paperi- ja kemianteollisuudessa kuljettimissa, ruuveissa ja sekoittimissa. Molemmilla aloilla on tärkeää turvata tuotanto ja pitää sitä yllä niin, ettei turhia seisokkeja tule. Juuri tästä syystä luotettavat teollisuusvaihteet ovat tärkeä osa tuotantoa.

Työn lähtökohta oli Simetek Servicen halu valmistaa teollisuusvaihteiden koeajopenkki, jossa yritys voi koekäyttää huoltamiaan teollisuuden vaihteita ennen asiakkaalle palautusta. Huollossa vaihteistojen laakerit vaihdetaan uusiin ja hammasrattaiden sekä koko vaihteiston kunto tarkastetaan. Koeajopenkin avulla Simetek voi taata asiakkailleen toimintavarmen teollisuusvaihteen huollon jälkeen. Näin laadunvarmistuskyky kasvaa ja asiakkaiden tyytyväisyys on taattua. Tällä hetkellä vaihteet huolletaan ja palautetaan asiakkaalle ilman koekäyttöä, joten koeajopenkin avulla yritys pystyy parantamaan laatuaan ja havaitsemaan mahdolliset ongelmat vaihteissa ennen asiakkaalle palautusta. Penkin tarkoituksena on varmistaa, että huolto on onnistunut ja että vaihteisto toimii kuin pitääkin.

Simetek Service toivoi työn alussa koeajopenkiltä tiettyjä ominaisuuksia, jotta työstä saataisiin mahdollisimman suuri hyöty eikä muutoksia tarvitsisi tehdä myöhemmin. Penkin tuli soveltua eri vaihteistotyypeille mukaan lukien pysty- ja vaaka-akseliset, pyörimisnopeutta ja -suuntaa tuli olla muutettavissa, penkin oli oltava tukeva ja alustan muunneltavissa koeajettavalle vaihteelle, työturvallinen ja helppokäyttöinen kokonaisuus.

Koekäyttämisen avulla yritys voi tarkkailla huoltotyön tulosta ja tarpeen vaatiessa muuttaa ja kehittää prosessia. Koeajon aikana on tarkoitus seurata vaihteistojen laakerien lämpötiloja, värinöitä ja käyttäytymistä. Samalla mahdolliset öljyvuodot ilmenevät ja ne voidaan korjata ennen asiakkaalle palautusta.

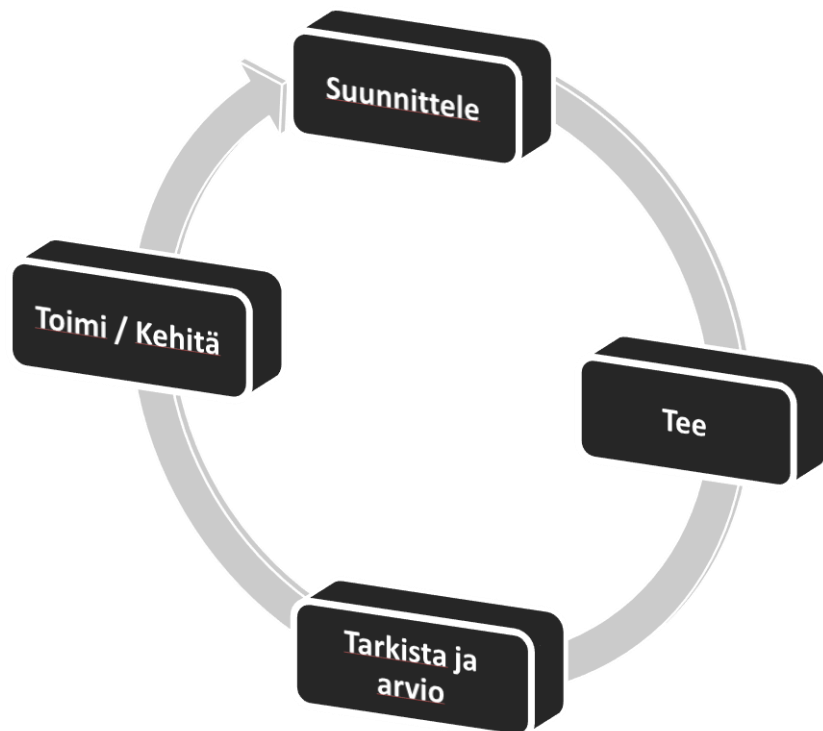
#### 4 TYÖN TAVOITTEET JA SUORITUS

Opinnäytetyöntyön tavoitteena oli mallintaa ja suunnitella teollisuusvaihteiden koeajopenkki, jossa huollettuja vaihteita voitaisiin koekäyttää ennen asiakkaalle palautusta. Tarkoituksena koeajossa on ajaa teollisuusvaihdetta niin kauan, että öljyt vaihteen sisällä lämpiävät käyttölämpötilaan, ja sen jälkeen seurata laakerien käyttäytymistä ja tiivisteiden pitävyyttä. Näin varmistetaan huollon onnistuminen ja laatikon oikeaoppinen toiminta ennen palautusta asiakkaalle. Työhön kuului myös alustavan kustannuslaskelman laatiminen, jolloin eri malleja voitiin vertailla ja pitää huoli, ettei budjetti kasvaisi liikaa. Toimeksiantaja pystyi valmistamaan suurimman osan osista mutta tietyt komponentit jouduttiin tilaamaan. Työn aikana pitikin olla yhteydessä eri komponenttitoimittajiin ja pyytää heiltä tarjouksia, jotta oikeat osat saataisiin hankittua.

Työn hyväksyttävä tulos edellytti tiettyjen kirjallisten dokumenttien laadintaa, jotka työn alussa määritettiin kirjallisessa vaatimuslistassa. Näitä dokumentteja olivat:

- projektisuunnitelma
- loppuraportti
- 3D-malli koeajopenkistä
- valmistuspiirustukset koeajopenkistä
- alustava kustannuslaskelma
- komponenttistausta.

Työ oli pääasiassa suunnittelu- ja kehitystyötä, koska ennestään olevista sovelluksista ei löytynyt juurikaan tietoja, jotka olisivat auttaneet. Työn aikana valmistui useita malleja, ja joista kerrotaan lisää luvussa 10. Perusajatuksena oli kuitenkin tarjota yritykselle mahdollisimman monta eri vaihtoehtoa, joista voitaisiin karsia vähiten sopivat ja kehittää jäljelle jääneitä. Juuri tähän tarkoitukseen käytettiin jatkuvan kehityksen ympyrää (ks. kuvio 1).



KUVIO 1. Jatkuvan kehityksen ympyrä

Jatkuvan kehityksen ympyrä on jaettu neljään vaiheeseen. Jokainen vaihe käydään läpi ja lopussa havaittuja epäkohtia pyritään kehittämään ja näin aloittamaan ympyrän kierto alusta. Menetelmää voi soveltaa monessa tapauksessa; kyseisessä suunnittelutyössä siitä oli iso apu.

## 5 TEOLLISUUSVAIhteET

Teollisuusvaihteita käytetään paljon raskaan teollisuuden parissa, kuten paperi- ja energiateollisuudessa, kaivostoiminnassa, puutavarankäsittelyssä ja laivanrakennuksessa. Pääpiirteittäin niitä käytetään kaikissa sovelluksissa missä tarvitaan suuria vääntömomenteja isojen massojen liikutteluun, esimerkkinä kuljettimet ja sekoittimet. Teollisuusvaihteet ovat moduulirakenteisia, jolloin niitä voidaan hyödyntää monipuolisesti eri käyttötarkoituksissa. Vaihdetyypin valintakriteereitä ovat muun muassa käytettävissä oleva tila, kiinnitysmahdollisuudet ja kytkeminen työkoneseen. Vaihteistoja on olemassa monenlaisia, mutta yleisimmät ovat hammas-, lieriö-, kartio-, kierukka-, ja planeettavaihteita. (Product overview – industrial gear units, 4-5.)

Vaihteen koko määräytyy toisiovääntömomentin mukaan, eli mitä isompi vääntömomentin tarve, sitä isompi vaihde on myös fyysisesti. Myös ennakoitujen säteis- ja aksiaalikuormat vaikuttavat oleellisesti vaihdekokoon. Vääntömomenttialue voi ulottua jopa 480 000 newtonmetriin, ja välityssuhteet ovat 6 ja 4000 välillä. Koska lisävarustevalikoima on laaja, on vaihteiden liittäminen erilaisiin sovelluksiin helppoa.

Teollisuusvaihteet on suunniteltu käytettäväksi tasaisella kuormituksella ja vain harvoilla käynnistyksillä ja pysäytyksillä. (SEW – Eurodrive, Käyttötekniikka – käytännön sovelluksia, 1998.)

Teollisuusvaihteissa niin sanottuja kuluvia osia ovat laakerit, akselitiivisteet sekä öljy. Näistä kolmesta öljy on ainoa, joka tulee vaihtaa säännöllisin väliajoin. Käyttämällä synteettistä öljyä mineraaliöljyn sijaan voidaan öljynvaihtoväliä kasvattaa joka kolmannesta vuodesta joka viidenteen vuoteen. Laakereiden käyttöikään vaikuttaa kuormitus, pyörimisnopeus sekä käytettävä laakerityyppi. Akselitiivisteiden kulumiseen vuorostaan vaikuttaa käyntinopeus sekä ympäristö, mutta niiden käyttöikä on mahdoton ennustaa, sillä vaikuttavia ympäristötekijöitä on niin vaikea määritellä. (SEW – Eurodrive, Käyttötekniikka – käytännön sovelluksia, 1998.)

## 6 SÄHKÖMEKANIikka

Koeajopenkkistä päätettiin heti alussa tehdä sähkökäyttöinen helposti saatavien komponenttien johdosta ja kustannussyistä. Hydraulilla tai pneumatiikalla toimivasta penkistä olisi tullut liian monimutkainen ja kallis. Seuraavissa kappaleissa kerrotaan pääperiaatteet ja toimintaperiaatteet koeajopenkkiin liittyvistä sähköosista.

### 6.1 Moottorikäytöt

Nykypäivänä teollisuuden sähkökäytöstä suurimman osan muodostavat sähkömoottorikäytöt. Sähkömoottori muuttaa sähköenergia mekaaniseksi energiaksi, jotta sitä voitaisiin käyttää erilaisten laitteiden ja koneiden voimanlähteenä. Sähkömoottoreita käytetään teollisuudessa muun muassa erilaisissa kuljettimissa, nostimissa, työstökoneissa, roboteissa ja paperikoneissa. Perinteinen kolmivaiheoikosulkumoottori on yksinkertaisin tapa käyttökohteiden hoitamiseen, sillä se on edullinen, eikä se tarvitse monimutkaisia käyttölaitteita. (Keinänen ym. 2002, 132 – 133.)

Käytettäessä 50Hz oikosulkumoottoria voidaan päästä enintään 3000r/min pyörimisnopeuteen ja mikäli pyörimisnopeutta halutaan kasvattaa isommaksi, kytketään välitys ennen toimilaitetta tai hankitaan taajuusmuuttaja. Vuorostaan alennettaessa pyörimisnopeutta voidaan lisätä oikosulkumoottoriin napapareja, käyttää hammasvaihdemoottoreita tai alentaa verkkotaajuutta taajuusmuuttajalla. Tärkein peruste pyörintänopeudensäätöön on energian säästäminen. (Keinänen ym. 2002, 132 – 133.)

### 6.2 Oikosulkumoottorit

Tässä kappaleessa käsitellään tarkemmin oikosulkumoottoria, joka on yleisimmin teollisuudessa käytetty moottorityyppi yksinkertaisen, käyttövarman, huoltovapaan rakenteensa sekä edullisen hintansa johdosta.

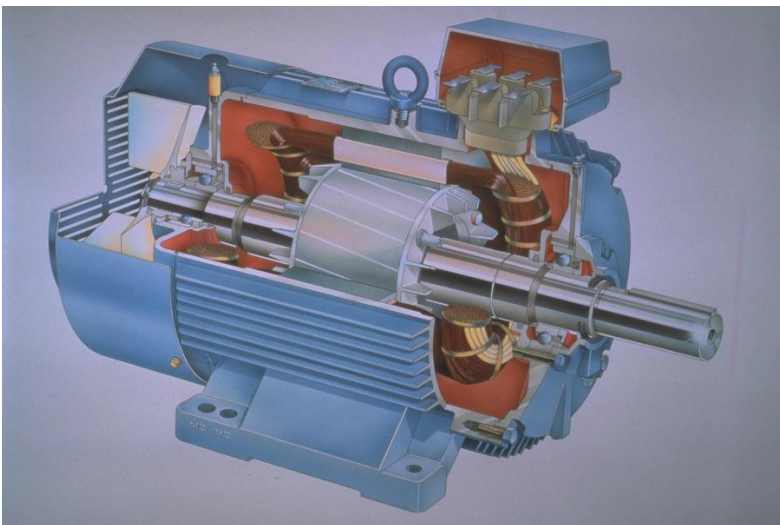
Moottorien tehot vaihtelevat muutamasta kymmenestä watista aina useisiin kymmeneen kilowatteihin. Oikosulkumoottori muodostuu sen rungon staattorissa olevasta kolmivaihekkäämityksestä ja pyörivän roottorin häkkikäämityksestä, joka muodostaa roottorille suljettuja virtapiirejä, jotka ovat oikosulussa keskenään. Juuri kyseisen ominaisuuden johdosta moottoria kutsutaan oikosulkumoottoriksi. (Keinänen ym. 2002, 132 – 133.)

Moottorin toiminta perustuu staattorikäämiin johdettavaan vaihtovirtaan, joka aiheuttaa vaihtelevan magneettivuon. Tämä muodostaa roottorin ja staattorin välissä sijaitsevaan ilmvälisiin pyörivän magneettikentän. Kyseistä magneettikentän pyörimisnopeutta kutsutaan moottorin tahtinopeudeksi ja se on suoraan verrannollinen napaparilukuun. Roottorin pyörimisliikkeen saa aikaan voimavaikutus magneettikentän ja roottorin välillä ja sen seurauksena roottori pyörii jättämän verran hitaammin kuin magneettikenttä. Oikosulkumoottoria kutsutaan myös epätahti- eli asynkronimoottoriksi juuri kyseisen jättämän vuoksi. (Keinänen ym. 2002, 132 – 133.)

Oikosulkumoottori voidaan varustaa staattorikäämyksillä, joiden napapariluvut ovat erilaiset. Kuitenkin pienin napapariluku on yksi, jolloin pyörimisnopeus on 3000 r/min mutta jättämän kanssa se putoaa 2700-2980 r/min. Pienempiin pyörimisnopeuksiin päästään kasvattamalla napaparilukumäärää. (Keinänen ym. 2002, 134.)

Eniten virtaa oikosulkumoottori ottaa verkosta käynnistyksen aikana mutta tämäkin seikka voidaan välttää tähtikolmiökäynnistyksellä, jolloin staattorikäämien kytkentää ohjataan kontaktorilla. Suunnanvaihtoon helpoin ratkaisu on vaihtaa staattorikäämien kytkentäjärjestystä, joka yleensä tapahtuu kontaktorihjatuksi. (Keinänen ym. 2002, 134.)

Oikosulkumoottori menettää pyörimisnopeutta, kun kuormitus kasvaa ja näin ollen se myös samalla ottaa enemmän virtaa verkosta. Kuitenkin moottorin hyötysuhde ja tehokerroin paranevat kuormituksen kasvaessa. (Keinänen ym. 2002, 134.)



KUVIO 2. Oikosulkumoottori (Mindconnection 2012)



### 6.3 Taajuusmuuttajat

Oikosulkumoottorien ollessa käytetyin toimilaitte koneautomaatiossa, on niiden ohjaamiseen kehitetty erilaisia ohjauslaitteita ja keinoja, jotta pyörimisnopeuteen ja -suuntaan voitaisiin vaikuttaa. Näitä ovat napapariluvun muuttaminen, hammasvaihteen tai variaattorin käyttö. Vuorostaan jarrutukseen voidaan vaikuttaa asentamalla moottoriin mekaaninen jarru. Näihin kaikkiin edellä mainittuihin seikkoihin voidaan vaikuttaa käyttämällä taajuusmuuttajaa. (Keinänen ym. 2002, 146 – 147.)

Taajuusmuuttajan toimintaperiaatteena on muuttaa moottorin syöttöjännitteen taajuutta, joka vaikuttaa moottorin pyörimisnopeuteen muttei oleellisesti vääntömomenttiin. Syöttöjännitteen taajuuden muuttaminen tapahtuu siten, että sähköverkon syöttämä vaihtojännite tasasuunnataan ja johdetaan vaihtosuuntaajaan eli invertteriin, joka muuttaa sen halutun taajuiseksi vaihtojännitteeksi. (Keinänen ym. 2002, 146 – 147.)

Taajuusmuuttaja voidaan liittää verkkojännitteeseen joko yksivaiheisesti (230V) tai kolmivaiheisesti (400V). Verkkojännite tasasuunnataan ja suodatetaan elektrolyyttikondensaattoreilla, jolloin saadaan niin sanottu välipiirin jännite. Jotta taajuutta voitaisiin muuttaa, muodostetaan välipiirin tasajännitteestä vaihtojännite vaihtosuuntausosassa. Jännitettä on alennettava taajuutta pienennettäessä, jottei virta nousisi liian korkeaksi. Tämä johtuu siitä, että moottorin käämien impedanssi alenee, kun taajuutta pienennetään. Taajuusmuuttajan oman elektroniikan tarvitsema tasajännite muodostetaan välipiirin jännitteestä. (Keinänen ym. 2002, 146 – 147.)

Taajuusmuuttajaa voidaan käyttää myös moottorin jarrutukseen, jolloin moottorista tuleva vaihtojännite tasasuunnataan ja syötetään välipiiriin. Tällöin taajuusmuuttajan häviöt ja oma sähkönkulutus vaikuttavat moottoriin jarruttamalla sitä. Mikäli halutaan vielä suurempaa jarrutusvoimaa, voidaan taajuusmuuttajaan kytkeä jarruvastus, johon jarrutuksesta syntyvä energia voidaan syöttää. Moottori voidaan myös lukita tiettyyn asentoon nykyaikaisten taajuusmuuttajien avulla, jolloin ulkoiset voimat eivät pääse pyörittämään moottoria. Tämä tapahtuu syöttämällä moottoriin tasajännite, jolloin moottorin vapaa pyöriminen estyy. (Keinänen ym. 2002, 146 – 147.)

## 7 SUORAVIIVAISEN LIIKKEEN KONEENOSAT

Suoraviivaista liikettä kutsutaan lineaariliikkeeksi ja sitä käytetään paljon konerakennuksen sovelluksissa. Käyttökohteita ovat muun muassa:

- työstökoneet
- robotit ja kappaleenkäsittelyautomaatit
- nostokoneet.

Jokainen sovellus määrittää erikseen vaatimukset liikeratojen toteutukseen. Esimerkiksi työstökoneissa vaaditaan suuria tarkkuuksia suurillakin kuormituksilla. Pyörivän liikkeen muuttamiseksi suoraviivaiseksi on kehitetty useita eri lineaarivaihteita, kuten rulla- ja kuularuuveja, hammashihna- tai ketjuvaihderatkaisuita sekä kampiluistinmekanismeja ja suoravientimekanismeja. On myös olemassa lineaarimoduuleita, joissa yhdessä paketissa on vaihde, johteet ja runkorakenne. Näiden huono puoli on korkeat hankintahinnat. Lineaarijohteet ovat paras ratkaisu suoraviivaisen liikkeen tarkkaan ohjaamiseen. Johteissa käytetään lineaarisia liuku- tai vierintälaakereita kitkan alentamiseksi. Vierintäosina voidaan käyttää myös kuulia (kuulajohteet), rullia (rullajohteet) tai neuloja (neulajohteet). (Airila 1999, 55.)

### 7.1 Kuularuuvit

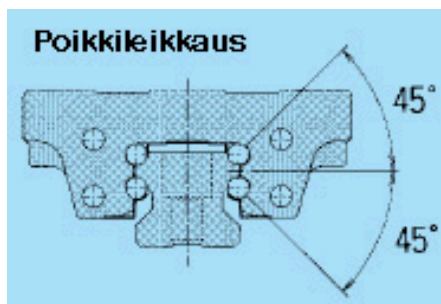
Kuularuuvin tarkoituksena on muuttaa pyörivä liike suoraviivaiseksi. Kuularuuvijohteet koostuvat ruuvista ja mutterista (ks. kuvio 3). Ruuviin on koneistettu vierintäurat kuulalaakereille, mitä pitkin mutterissa oleva kuulalaakeriketju kulkee. Tämä kuulalaakeriketju saa aikaan mutterin lineaarisen liikkeen, kun ruuvia pyöritetään jommastakummasta päästä. Hyvänä esimerkkinä voidaan mainita kokoonpano, jossa toimilaitte pyörittää ruuvia ja varsinainen lineaariliike otetaan mutterin aksiaaliliikkeestä. Perinteinen ruuvin ja mutterin välinen liukukitka on korvattu kuulien avulla vierintäkitkalla, joka muodostuu kuulien ja radan välille. Tämän ansiosta kitka pienenee ja tarjoaa mahdollisuuden käyttää myös mutteria ensiöpuolena eli liike voidaan kohdistaa mutteriin, jolloin se saa ruuvin pyörimään ja liikkumaan lineaarisesti. Kuularuuvin hyvänä puolena mainittakoon myös tasainen ja nykimätön liike sekä pitkä käyttöikä alhaisen kitkan ansiosta. (Airila 1999, 55 – 58.)



KUVIO 3. THK Kuularuuvi (THK 2012)

## 7.2 Linearijohteet

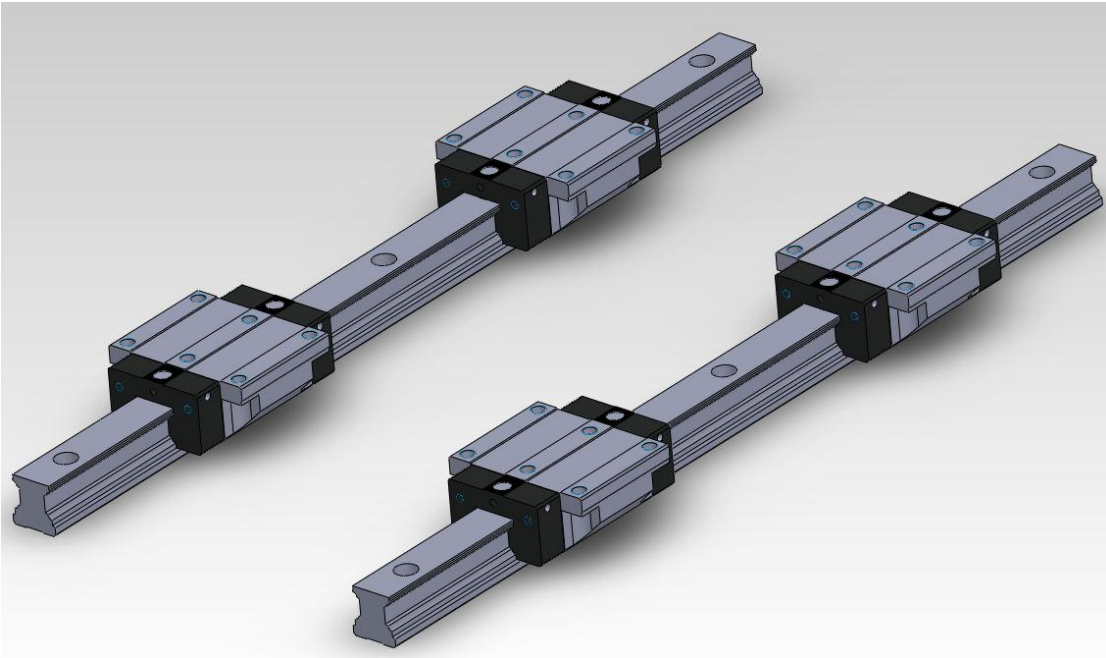
Johteiden tehtävänä on ohjata aikaansaattua liikettä lineaarisesti. Linearijohde koostuu profiilijohdekiskosta ja siinä kulkevasta kelkasta. Esimerkiksi koeajopenkissä käytettävässä HSR -linearijohteessa kosketus johdekiskoon tapahtuu neljän kuularivin välityksellä (ks. kuvio 4). Kuularivi kiertää kehää laakerin sisällä kuulapitimien ja päätylevyjien ohjaamana. Kosketus tapahtuu  $45^\circ$  kulmassa vaakatasoon nähden, mikä mahdollistaa johteen vapaan asettamisen missä asennossa vaan. (SKS Mekaniikka 2012.)



KUVIO 4. HSR -linearijohteen poikkileikkaus (SKS Mekaniikka 2012)

Lineaarijohteen toiminta perustuu kuulien vierintään, jotta kitka saataisiin mahdollisimman pieneksi. Perinteisessä johteessa kuulat koskettavat toisiaan pistekosketuksella, kun taas kuulaketjun avulla eliminoidaan kuulien välinen pistekosketus ja kosketuksesta aiheutuva kitka. Molemmissa tapauksissa liikkeen ohjaamiseen käytetään samanlaista profiilijohdetta. (Airila 1999, 58 – 60.)

Johteita käytetään perinteisesti pareittain eli vierekkäin on kaksi profiilijohdetta, joissa kulkee yksi tai kaksi kelkkaa puolellaan (ks. kuvio 5). Koska johteet ovat tarkkaan mitoitettuja, on johteet asennettava erittäin tarkasti. Asennusta ja huoltoa varten yleensä jompaankumpaan johteista suunnitellaan säätömahdollisuus. (Airila 1999, 58 – 60.)



KUVIO 5. Lineaarijohdepari

## 8 HIHNAVAIHTEET

Hihnavaihteet ovat konetekniikan vanhimpia tapoja pyörimisliikkeen ja vääntömomentin välittämiseen kahden tai useamman akselin välillä. Hihnavaihteilla on paljon hyviä puolia, jotka puoltavat hihnojen käyttöä voimansiirrossa. Näitä ovat muun muassa:

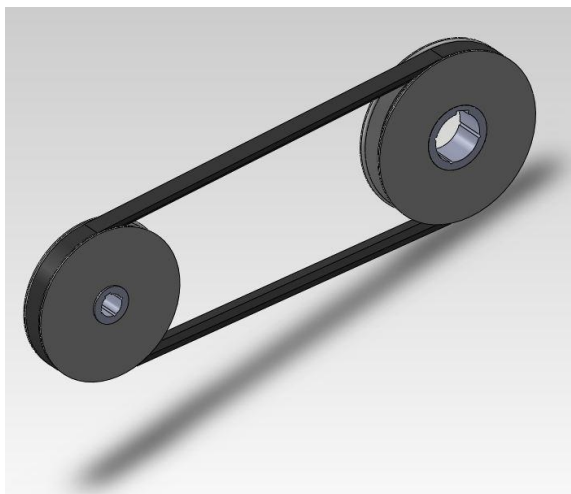
- Akseliväli voi olla suuri ja epätarkka.
- Rakenne on yksinkertainen ja varsin halpa.
- Käynti on melutonta.
- Voimansiirto on elastista, joten nykäykset ja iskut vaimenevat.
- Huollontarve on vähäinen.
- Hyötysuhde on hyvä, jopa 90...98 %.

Hihnavaihteiden haittoina mainittakoon:

- mahdollinen luistaminen ja ryömiminen
- varsin suuri tilantarve
- arka ympäristöoloille (lämpötila, kosteus, lika, öljy yms.)
- hihnan vaatima esikiristys rasittaa sekä akseleita että laakereita
- tiettyjen hihnatyyppeiden vaatima jälkikiristys.

(Airila 1985, 417.)

Hihnavaihteiden yleisin käyttötapa on avovaihde (ks. kuvio 6), joka valittiin myös koeajopenkissä käytettäväksi. Se on hihnan kestävyysnäköiseltä kannalta paras vaihtoehto.



KUVIO 6. Hihnavälitys

## 9 TYÖN KULKU

Koeajopenkin suunnittelu alkoi vaatimuslistan luomisella, jotta jokainen ominaisuus, jota tarvittaisiin, tulisi huomioiduksi koko suunnitteluprosessin aikana. Vaatimuslista muodostui seuraavista ominaisuuksista:

- ensiöakselin kiinnitys sovelluttava erikokoisille akseleille
- pysty- ja vaaka-akselisille soveltuva kokonaisuus
- vaihteistoille tukeva ja säädettävä alusta
- pyörintänopeuden ja -suunnan muuttaminen mahdollista.

Nämä olivat siis toiminnan kannalta tärkeitä ominaisuuksia. Myös helppokäyttöisyys sekä työturvallisuus tuli huomioida suunnitteluvaiheessa. Työturvallisuuteen panostettiin muun muassa suojaamalla kaikki liikkuvat osat, joihin esimerkiksi haalari voisi tarttua.

### 9.1 Benchmerkkkaus

Työn aloitettiin tutustumalla jo olemassa olevaan sovellukseen yhteistyöyrittäjä SEW-Eurodriven avulla. Hollolassa sijaitsevassa tehtaassa yrityksellä on teollisuusvaihteiden huoltopiste ja sinne on insinööryönä suunniteltu vastaavaan tarkoitukseen koeajopenkki. Yhteistyöyrittäjän henkilökunta auttoi paljon kertoessaan nykyisestä penkistä ja mitä kannattaa ottaa huomioon ja mitkä seikat eivät ole niin olennaisia. Koeajosta heillä on jo sen verran kokemusta, että he osasivat suositella, mitä ehostuksia Simetekille suunniteltavaan penkkiin kannattaisi tehdä.

### 9.2 Suunnittelu

Vaatimuslistan laadinnan ja benchmerkkauksen jälkeen itse suunnittelutyö aloitettiin. Tiedon etsiminen internetistä ja muista kirjallisista lähteistä oli iso osa suunnittelua. Karkeaa suunnittelua tehtiin ensin paperille ja koottiin ajatuksia erilaisista vaihtoehdoista. Kun paperille alkoi hahmottua mitä lähdettiin hakemaan, siirryttiin 3D-mallinnukseen. Tähän käytettiin SolidWorks -ohjelmistoa. Syy miksi kyseiseen ohjelmaan päädyttiin, oli koulussa opitut taidot ja se, että toimeksiantaja käytti samaa ohjelmistoa. Mallinnettaessa tuli olla tarkka, että mitat ovat tarkkoja, ja että osat käyvät yhteen. Suunnitteluvaiheessa tehdyt virheet tulevat vastaan viimeistään lopullista mallia rakennettaessa. Kaiken kaikkiaan erilaisia malleja suunniteltiin muutama erilainen perusajatuksen pysyessä samana. Jokaista mallia tutkittiin eri kanteilta ja pyrittiin

miettimään hyviä ja huonoja puolia. Myös erilaisia komponentteja käytiin läpi internetin avulla ja pyrittiin valitsemaan parhaiten vaatimukset täyttävä vaihtoehto. Jokaiseen malliin tarvittiin kuitenkin sellaisia komponentteja, ettei niitä voitu itse valmistaa, josta päästiinkin kyselemään eri toimittajien hintoja, jotta saataisiin jotain kuvaa kuinka kalliiksi kukin koeajopenkin malli tulisi.

### 9.3 Tarjouspyyntöjen lähettely

Yksi suurimmista suunnannäyttäjistä koeajopenkin mallin valinnassa oli tarjouspyynnöt. Budjetti penkin valmistukseen oli rajallinen, joten oli tärkeää tietää missä hintaluokissa kunkin osan kohdalla liikuttiin. Tarjouspyyntöjä lähetettiin useille eri tavarantoimittajille, jotta hinnat ja toimitusajat saataisiin selville. Esimerkkinä mainittakoon yhden mallin täydellinen poissulkeminen kustannusten noustessa yli budjetin jo pelkän komponentin hinnalla.

### 9.4 3D-mallien vertailu

3D-mallien vertailu voitiin aloittaa, kun useampi kokonaisuus oli suunniteltu ja suuntaa antavat budjetit oli laskettu kullekin mallille. Itse runkomalleja oli neljä, kuten myös pöytämalleja. Pöytä ja runko eivät olleet pareja, joten jokainen pöytämalli kävi yhteen jokaisen runkomallin kanssa. Kaikista vaihtoehdoista otettiin tarkasteluun toimivimmat, joista lopullinen malli muodostui.

### 9.5 Valmistuspiirustusten teko

Viimeisimpänä työvaiheena oli valmistuspiirustusten teko. Tähänkin käytettiin SolidWorks -ohjelmaa. Jokaisesta itse valmistettavasta osasta tehtiin piirustus johon merkittiin kaikki tarvittavat koneistukset, hitsaukset ja kierteytykset. Myös tarvittavista kokoonpanoista tehtiin kokoonpanopiirustukset. Piirrettäviä osia oli todella paljon, koska osien lisäksi täytyi piirtää myös kokoonpanot. Kaiken kaikkiaan piirustuksia valmistui noin 60 kappaletta.

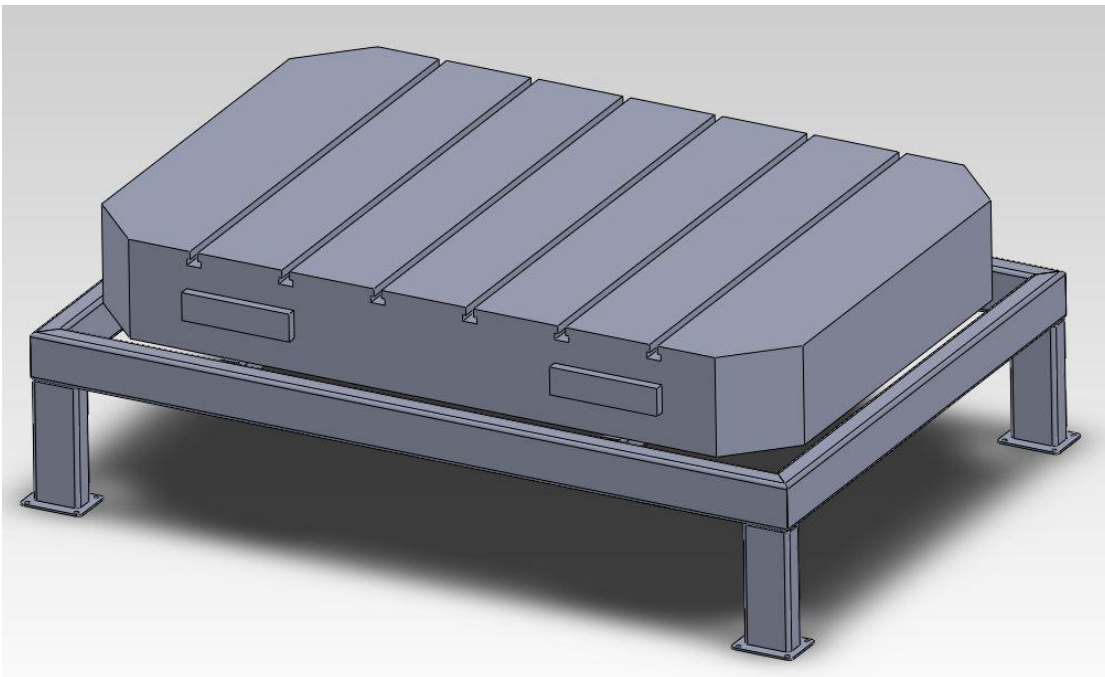
## 10 MALLIEN VERTAILU JA LOPULLISET RATKAISUT

Tässä kappaleessa kerrotaan kuinka lopullisiin malleihin päädyttiin ja kuinka eri mallit autoivat suunnittelemaan toimivan kokonaisuuden.

### 10.1 Pöytämallit

Jokaisessa pöytämallissa tarkoituksena oli saada koeajettava teollisuusvaihte tukevasti kiinni niin, ettei se alkaisi koeajotilanteessa värisemään. Vaihteistot ovat melko isoja ja voivat painaa jopa yli 2000 kg, joten pöydän rungon oli oltava tarpeeksi vahvasta materiaalista ja profiilista. Myös helppo- ja monikäyttöisyys oli tärkeässä asemassa pöydän suunnittelussa.

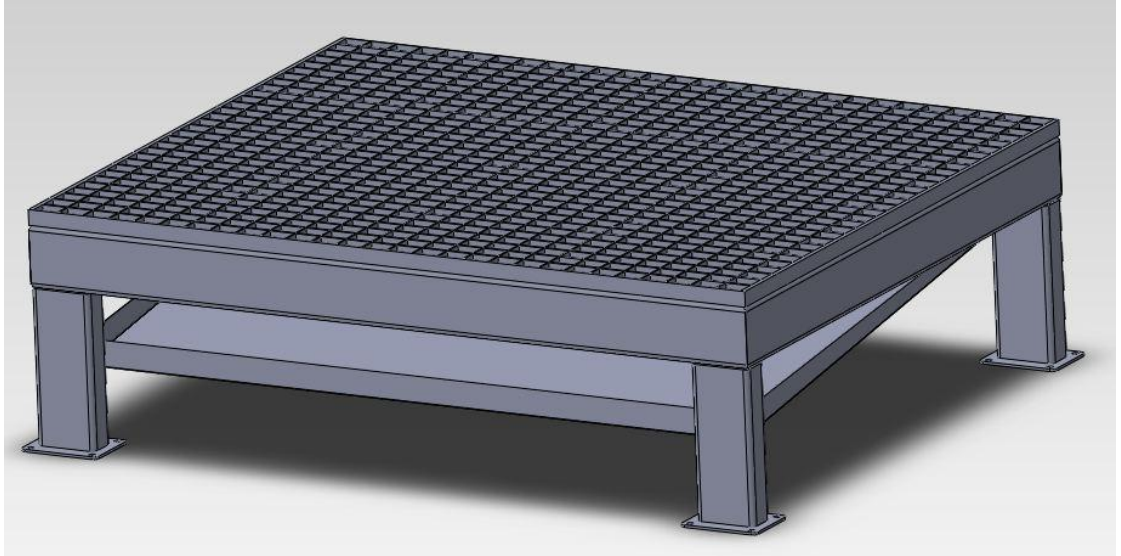
Rungon profiiliksi valittiin 120x60x4 putkipalkki ja materiaaliksi kuumavalssattu rakenneteräs S355. Jokaisen pöytämallin perusrunko on samanlainen, vain vaihteiston kiinnitysalusta muuttuu jokaisen mallin kohdalla.



KUVIO 7. Ensimmäinen pöytämalli (Kimmo Kauppinen)

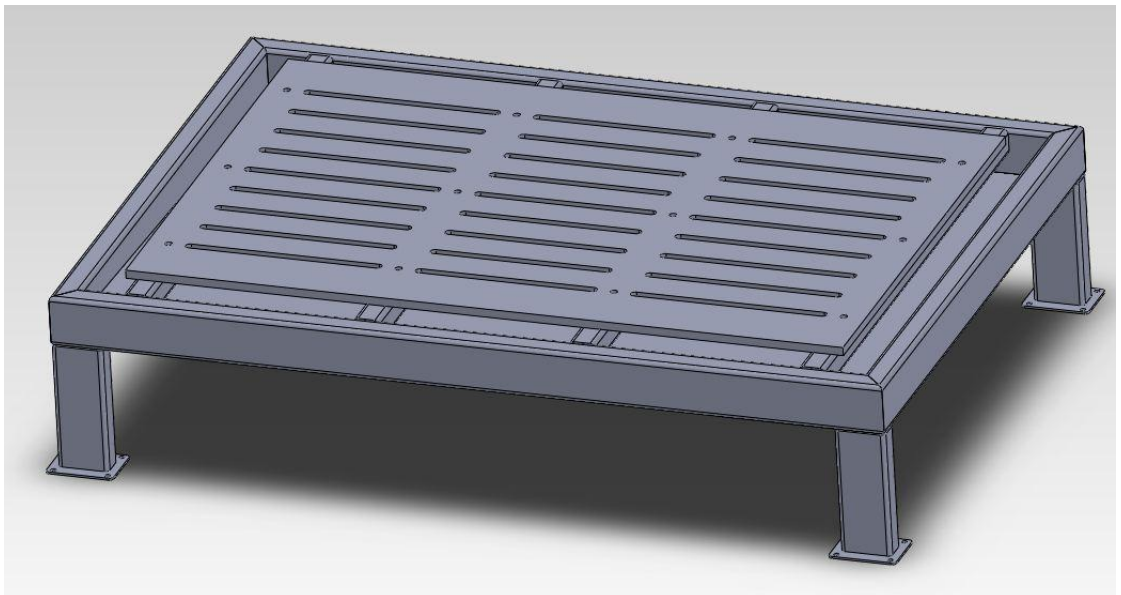
Ensimmäisessä versiossa ajatuksena oli asentaa valmiiksi koneistettu t-ura levy runkokohikon päälle, jota kaksi poikittaispalkkia kannattelee. Testattavan vaihteen kiinnitys olisi tapahtunut t-ura ruuvien avulla.





KUVIO 8. Toinen pöytämalli (Kimmo Kauppinen)

Toisessa versiossa t-ura levy vaihdettiin valmiiseen ritilikköön, jonka alle suunniteltiin allas. Mikäli koeajossa esiintyisi öljyvetoja, saataisiin ne pidettyä aisoissa. Vaihteen kiinnitys olisi tapahtunut normaalein pultein ritilän reikiä apuna käyttäen.



KUVIO 9. Kolmas pöytämalli (Kimmo Kauppinen)

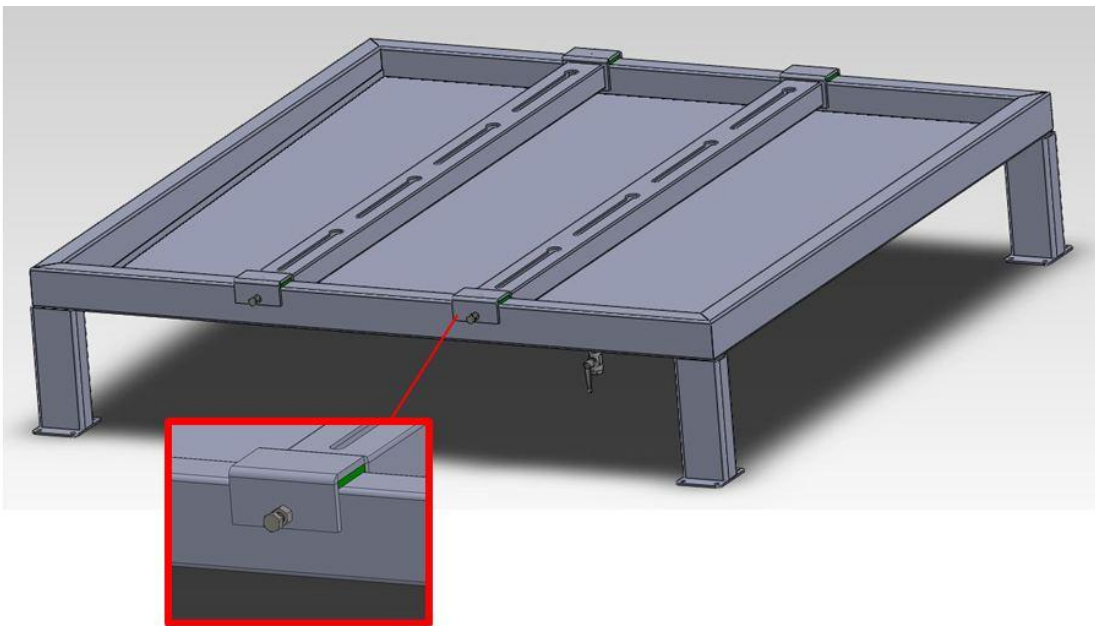
Kolmannessa versiossa ritilälevy korvattiin itse koneistetulla levyllä, kiinnitys tapahtuisi normaaleilla pulteilla koneistettuihin uriin. Vuoto allasta muokattiin sen verran, että runko itsessään toimisi altaana, kun kehikon sisälle hitsattaisiin pohjalevy.

TAULUKKO1. Kolmen ensimmäisen pöytämallin vertailu

Pöytämalli	Hyvät puolet	Huonot puolet
1	- tukeva koneistettu pinta - vain runko tehtävä itse - helppo vaihteiston kiinnitys	- kallis - portaaton säätömahdollisuus vain pitkittäin
2	- vain runko tehtävä itse - edullinen	- hankala vaihteiston kiinnitys - herkkä värinälle
3	- hyvät kiinnitys mahdollisuudet - edullinen - tukeva	- hankala vaihteiston kiinnitys

Kuten taulukko 1 osoittaa, oli jokaisessa pöydässä parannettavaa, josta päädyttiin lopullisen mallin ratkaisuihin.

## 10.2 Lopullinen pöytämalli



KUVIO 10. Lopullinen malli (Kimmo Kauppinen)

Lopulliseen malliin otettiin vaikutuksia jokaisesta aiemmista malleista. Rungon mittoja kasvatettiin, jotta isommatkin vaihteet mahtuisivat ongelmitta. Lopullinen pöydän koko on 1,7 m x 1,7 m eli pinta-alaksi tuli noin 2,9 m<sup>2</sup>. Pöytä valmistettiin jykevistä putkipalkista, jotta vaihteistolla olisi mahdollisimman tukeva alusta ja näin ollen isompien vaihteistojen koekäyttö onnistuu ongelmitta. Runko muodostuu neljästä kulmassa

sijaitsevasta jalasta, joiden välissä on kehikko. Jalat on tarkoitus pultata kiinni maahan ja laittaa kumipalat väliin tärinän ehkäisemiseksi. Kehikon sisään tulee kantattu teräslevy viistosti, joka toimii altaana mahdollisten öljyvuotojen varalle. Kallistetussa päässä on palloventtiilihana, jolloin altaaseen jääneet öljyt voidaan tyhjentää helposti.

Rungon kehikon päälle tulee säätöpalkit, joita voidaan liikutella vapaasti sivuttaisuunnassa. Säätöpalkkeihin on koneistettu urat t-urapulteille, joiden avulla vaihteisto kiinnitetään tukevasti. Koneistettujen urien päissä on levennetty aukko, jonka kautta t-ura pultin voi ottaa pois jos se on tiellä tai tarpeeton. Säätöpalkkien portaaton säätäminen joka suuntaan mahdollistaa täydellisen muokattavuuden jokaiselle koeajettavalle laitteelle. Pöydän säätöpalkit on mitoitettu kestäväksi 2000kg painoisen vaihteiston tarvittaessa. Mitoitukseen on käytetty seuraavaa kaavaa taipuman laskemiseen.

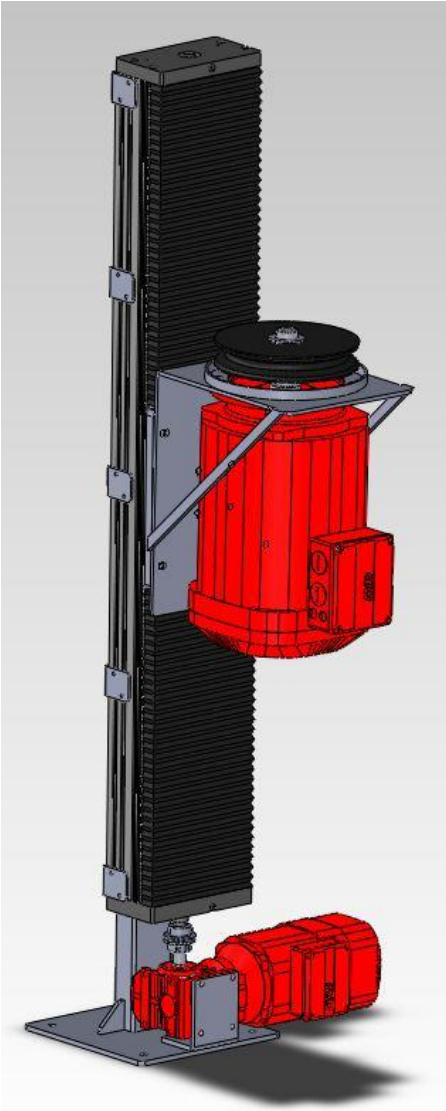
$$y_{max} = \frac{F \times l^3}{48 \times E \times I}$$

jossa  $F$  = palkkiin kohdistuva voima (N)  
 $l$  = palkin pituus (mm)  
 $E$  = materiaalin kimmokerroin (N/mm<sup>2</sup>)  
 $I$  = palkin jäyhyysmomentti (mm<sup>4</sup>)  
 (Karhunen 1992, 546.)

Palkit mitoitettiin niin, ettei taipuma ylitä yhtä promillea. Säätöpalkkien päässä olevien pulttien avulla palkki voidaan lukita haluttuun paikkaan koeajon ajaksi. Pöydästä pyrittiin suunnittelemaan mahdollisemman tukeva ja helppo valmistaa, kuitenkin sen menettämättä kantokykyään ja monipuolisuuttaan.

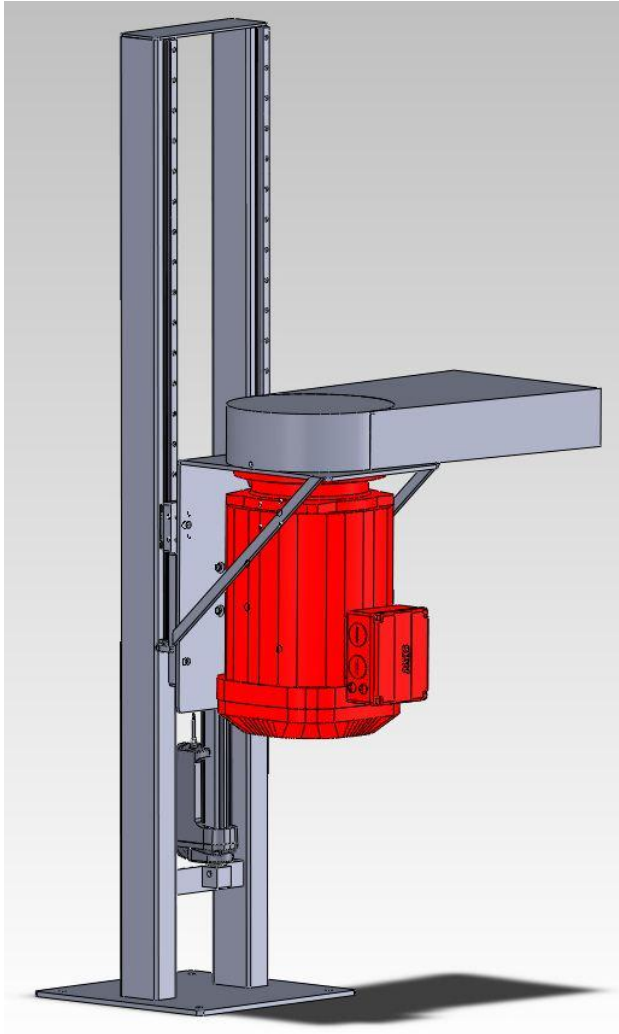
### 10.3 Runkomallit

Koeajopenkin runkomalleihin suunniteltiin kiinnitettäväksi sähkömoottori, joka kiilahihnan välityksellä pyörittäisi testattavaa teollisuusvaihdetta. Koska vaihteiden koot vaihtelevat suuresti, oli voimanlähteenä toimivan sähkömoottorin oltava säädettävissä eri korkeuteen ja myös käännettävissä pysty- ja vaaka-asentoon. Näin taattiin, että koeajopenkki soveltuu niin pysty- kuin vaaka-akselisille teollisuusvaihteille. Kaikissa malleissa perusajatus pysyy miltei samana, vain korkeudensäätö muuttuu.



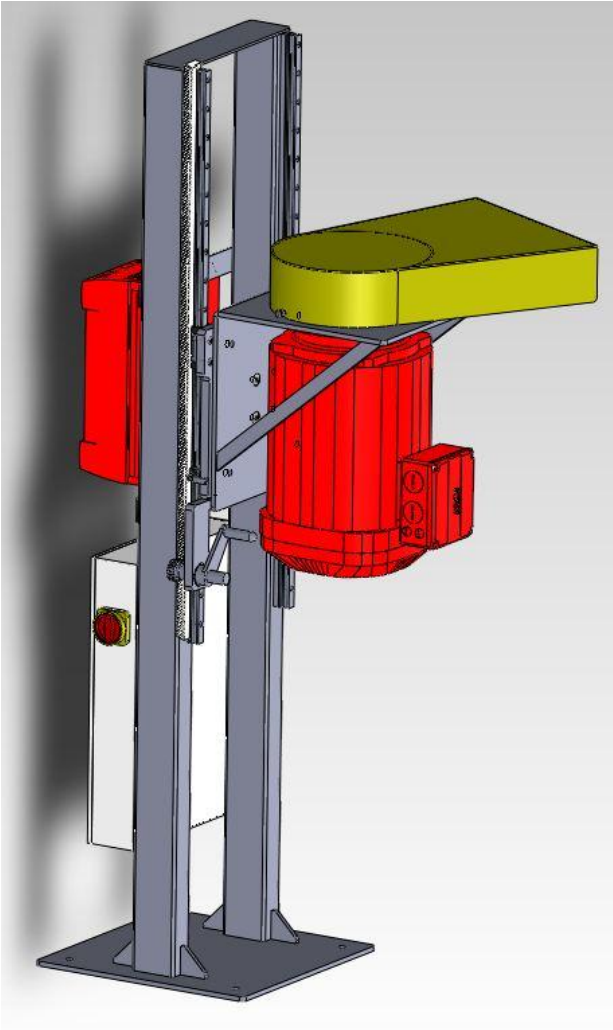
KUVIO 11. Ensimmäinen runkomalli (Kimmo Kauppinen)

Ensimmäinen malli suunniteltiin toteutettavaksi valmiin moduulin avulla. Moottorin korkeudensäätö toteutettiin toisen 0,75kW:n tehoisella sähkömoottorilla. Itse valmistettavaa oli vain moduulin kannakerunko. Tämä vaihtoehto olisi ollut vähätöisin, mutta ylivoimaisesti kallein.



KUVIO 12. Toinen runkomalli (Kimmo Kauppinen)

Toiseen runkomalliin muutettiin korkeudensäädön toteutus. Moduuli korvattiin itse tehdyllä rungolla, johon liitettäisiin lineaarijohteet. Runko suunniteltiin tehtäväksi samasta putkipalkista kuin pöytämallitkin olivat. Jotta runko olisi mahdollisimman tukeva, pultattaisiin se lattiaan kiinni. Korkeudensäädön toteuttaminen tapahtui lineaarimoottorin avulla. Ainoa epäilyttävä asia tämän mallin kohdalla oli lineaarimoottorin luotettavuus ja toimivuus.



KUVIO 13. Kolmas runkomalli (Kimmo Kauppinen)

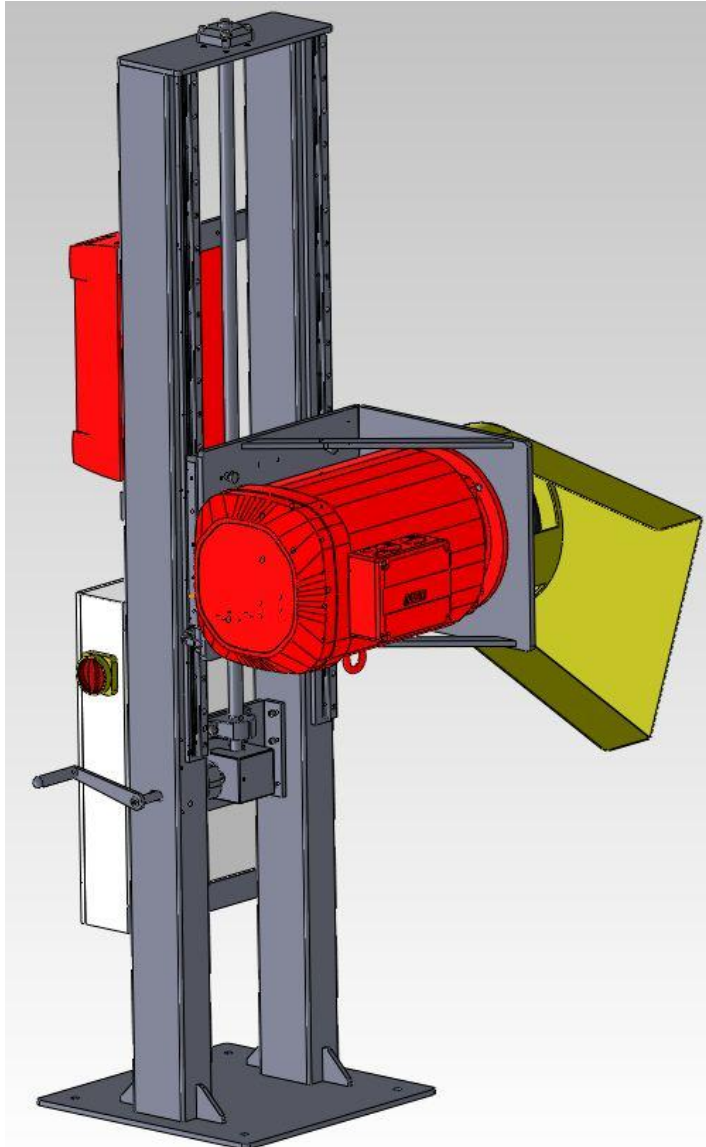
Kolmannesta mallista päätettiin pois jättää sähköinen korkeudensäätö ja korvata se käsikammella, joka on yhteydessä hammasjohteeseen rattaan avulla. Käsissäätöinen korkeuden säätö on tarkempi ja edullisempi kuin sähköinen.

TAULUKKO 2. Kolmen ensimmäisen runkomallin vertailu

Runkomalli	Hyvät puolet	Huonot puolet
1	- helppokäyttöinen - vähän itse valmistettavia osia	- erittäin kallis - ei niin luotettava kuin käsikäyttöinen
2	- helppokäyttöinen	- ei niin luotettava kuin käsikäyttöinen
3	- tarkka korkeudensäätö	- hankala käyttää kammien korkeuden muuttuessa

#### 10.4 Lopullinen runkomalli

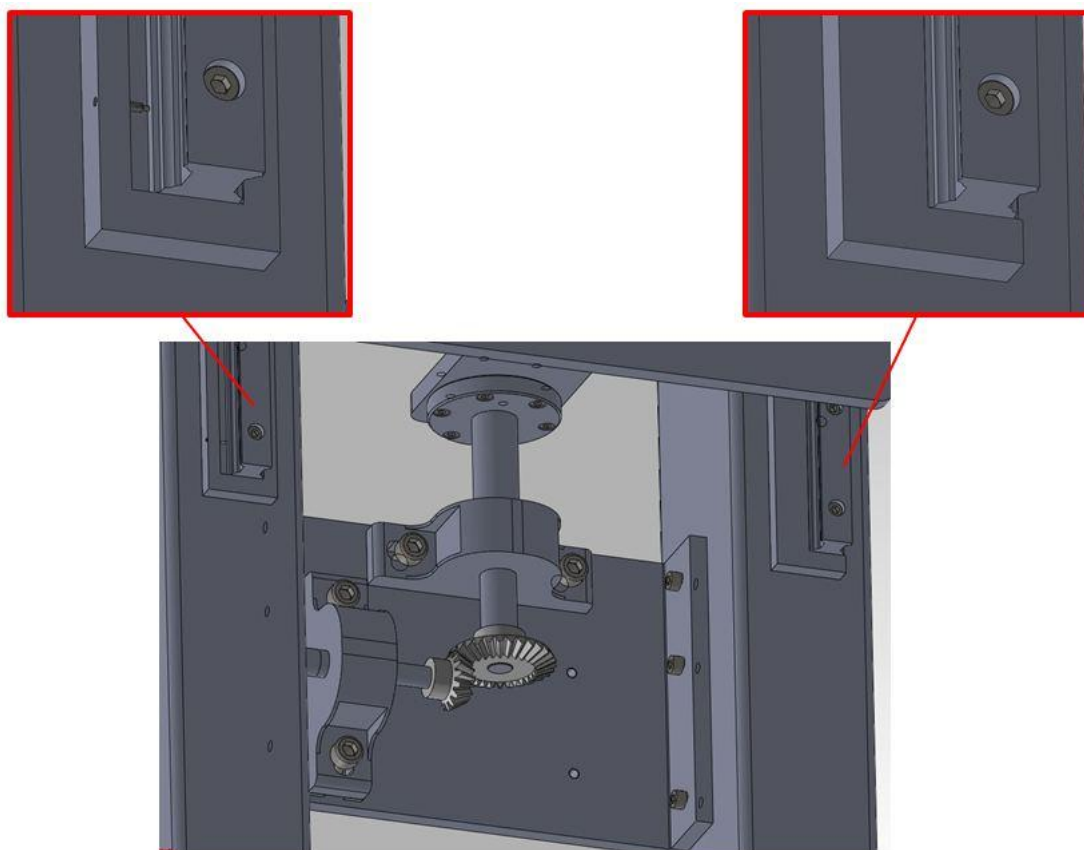
Lopullisessa mallissa korkeudensäädössä päädyttiin käsikäyttöiseen kampeen luotettavuuden ja tarkkuuden osalta. Ainoastaan korkeudensäädön toteuttava kuularuuvi on ainoa muutos kolmanteen malliin. Kampea pyörittämällä kartiohammaspyöräpari siirtää momentin kuularuuville välityssuhteen ollessa 1:2.



KUVIO 14. Lopullinen runkomalli (Kimmo Kauppinen)

Kuularuuvin pyöriessä mutteri liikkuu lineaarisesti ja sen mukana myös moottori, koska sen kannake on kiinni mutterissa erillisellä tuella (ks. kuvio 15). Tarkempia tietoja kartiohammaspyöräparista on liitteessä 1. Kuvioista 15 voi nähdä kartiohammaspyöräparin toiminnan. Työturvallisuuden takaamiseksi hammaspyöräpari suojattiin kote-

lolla, ettei koeajopenkin käyttäjän haalari tai käsine pääse hampaiden väliin ja aiheuta vaaratilannetta.

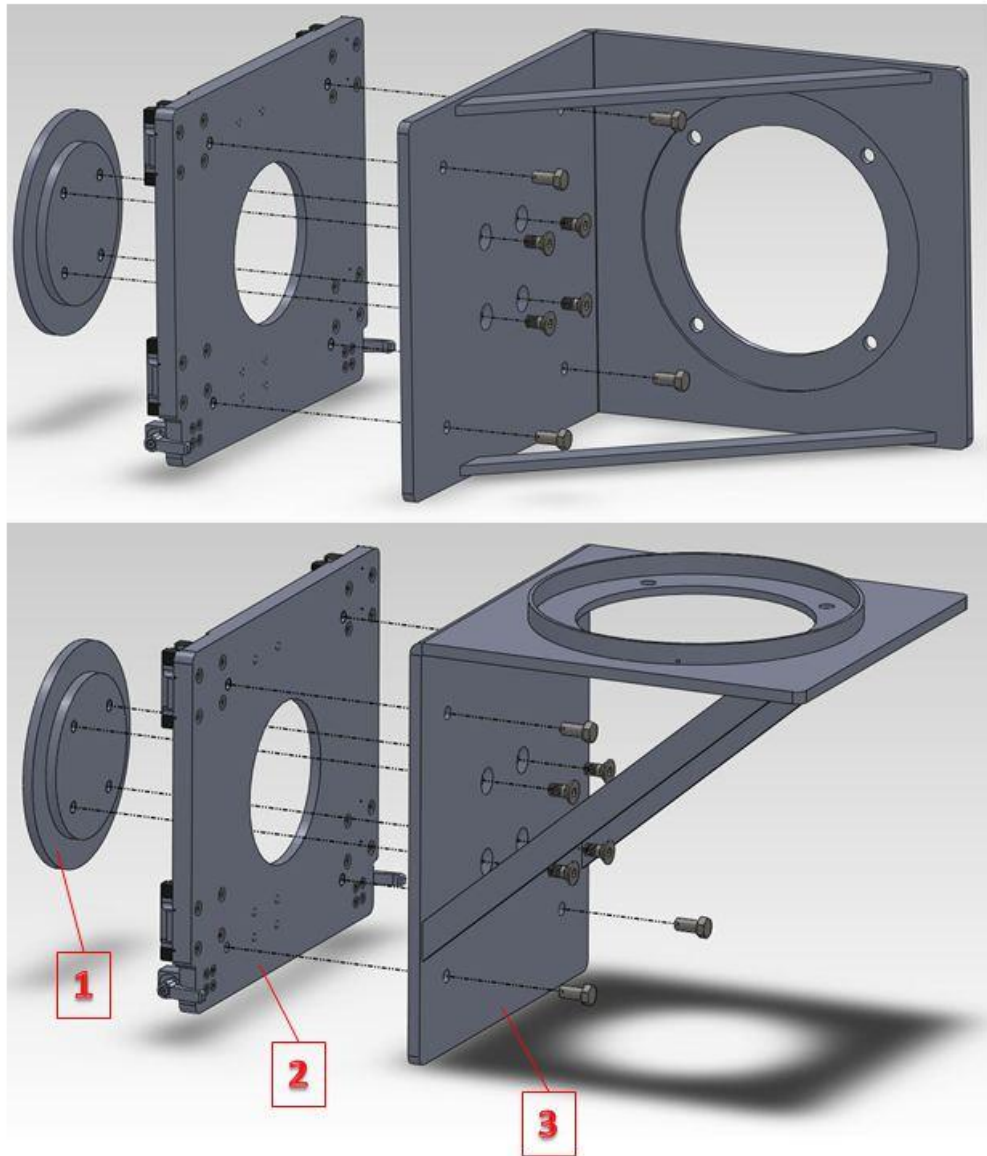


KUVIO 15. Kartiohammaspyöräpari ja johteiden säätötoteutus (Kimmo Kauppinen)

Lineaarijohteiden paikoittaminen on erittäin tarkkaa ja heittoja johdekiskojen välillä ei sallita. Tästä syystä profiilijohteille hitsattiin lattaraudat putkipalkkeihin. Tämä tehtiin siksi, että johteille voitiin koneistaa tasainen alusta, johon myös kiinnitysruuveille tehtiin kierteet. Johteet kiinnitetään kuusiokoloruuvien avulla. Kuvion 14 oikealla puolella olevalle johteelle koneistettiin syvennys lattaraudan reunaan, jota vasten johde on tukevasti. Vasemman puolen johteelle koneistettiin kouru, johon johteelle jäi hieman liikkumavaraa. Lattaraudan reunaan tehtiin kierteet säätöruuveille tasaisin välimatkoin. Säätöruuvien avulla johde saadaan paikoitettua tarkasti.

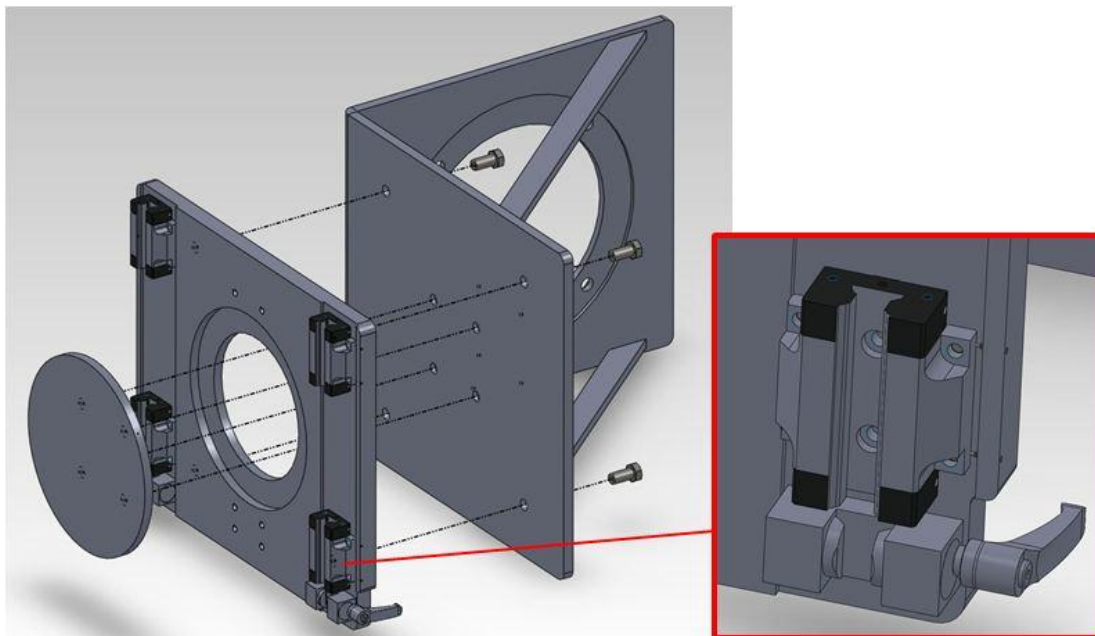
Lopulliseen malliin tuli kolme kappaletta laakeripukkeja, kaksi kuularuuville ja yksi käsikammen akselille. Jokaisen laakeripukin tarkemmat tiedot on esitetty 2. Laakeripukeiksi valittiin SKF:n tuotteet niiden hyvän saattavuuden ja edullisen hankintahinnan vuoksi. Laakeripukkeihin asennettavat akselit koneistettiin h8 tarkkuuteen valmistajan ilmoittamien toleranssien mukaan.





KUVIO 16. Oikosulkumoottorinkannake pysty- ja vaaka-asennossa (Kimmo Kauppi-  
nen)

Oikosulkumoottorin kannake (ks. kuvio 16 no.3) suunniteltiin itse ja moottori kiinnitettiin laipalla kannakkeeseen. Laipalliseen kiinnitykseen päädyttiin siksi, että se helpotti moottorin kääntämisen suunnittelua ja toteutusta. Moottorin kiinnityslaipalle koneistettiin myös pieni syvennys, jotta moottori saataisiin mahdollisimman tukevasti kiinni kannakkeeseen. Oikosulkumoottorin kääntäminen pysty- ja vaaka-asentoon toteutettiin niin sanotun kääntöympyrän (ks. kuvio 16 no.1) avulla.



KUVIO 17. Oikosulkumoottorin kääntäminen ja kuulajohdekelkat (Kimmo Kauppinen)

Kääntöympyrälle on koneistettu peti kelkkojen runkoon (ks. kuvio 17). Moottorinkannake kiinnitetään ympyrään neljällä kuusiokoloruuvilla. Tässä vaiheessa moottorinkannake pystyy pyörimään täydet 360°. Moottorinkannakkeessa on neljä läpäreikää kulmissa, kuten samoissa kohdissa myös johdekelkkojen rungossa (ks. kuvio 16 no.2) on kierteet. Nämä reiät ovat samankeskiset, oli sitten kannake pysty- tai vaakasennossa. M12-pulttien avulla voidaan moottorinkannake lukita haluttuun asentoon tukevasti ja helposti.

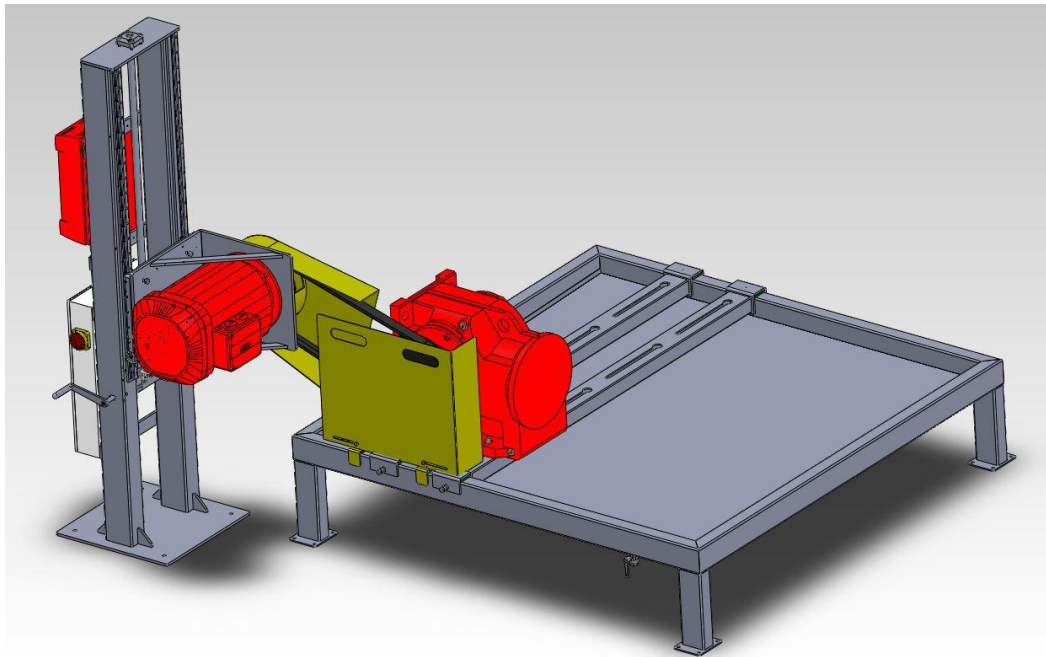
Kuularuuvien tuottamaa lineaariliikettä ohjataan kuulajohdekelkoilla. Molemmilla puolilla kuularuuvia on kaksi kelkkaa sekä niiden alapuolella lukituskelkat. Lukituskelkkojen avulla moottori saadaan nopeasti ja tukevasti lukittua haluttuun korkeuteen. Kelkoille koneistettiin urat johdekelkkojen rungon taakse. Koska kelkkojen paikoittaminen on erittäin tarkkaa eikä mittavirheitä sallita, päätettiin myös kelkoille suunnitella säätöruuvit (ks. kuvio 17).

## 11 LOPULLINEN RATKAISU

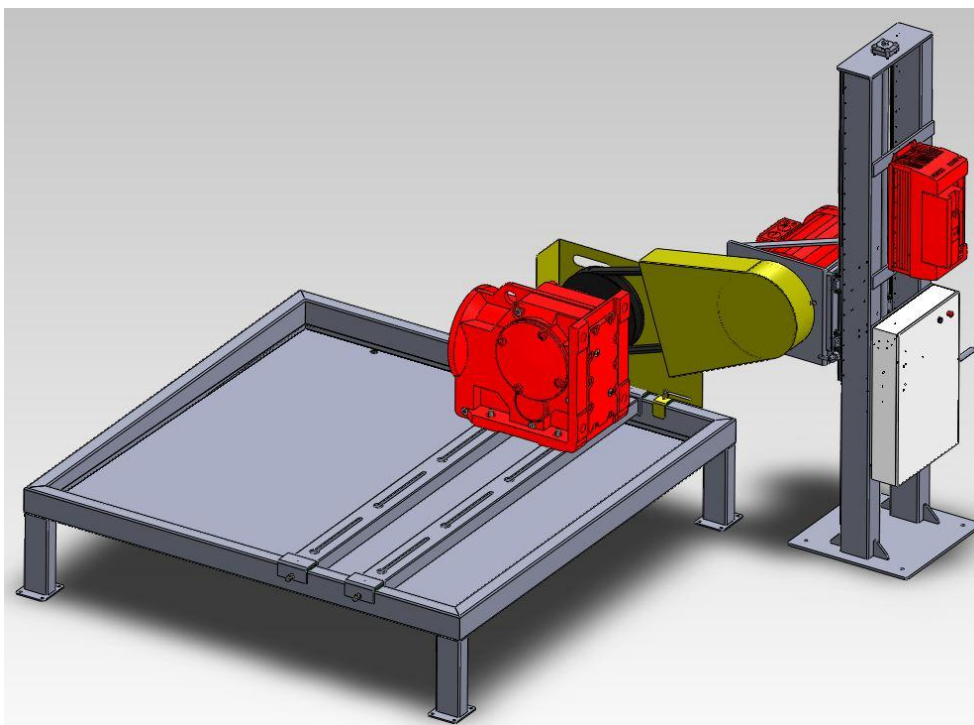
Kuvioissa 18 ja 19 on esitetty koeajopenkin kokoonpano ja toimintaperiaate. Ajatuksena on siis ohjata oikosulkumoottoria taajuusmuuttajan avulla. Oikosulkumoottoriin ja testattavan vaihteen ensiöakseleihin on asennettu kiilahihnapyörät taperlock kartioholkkien avulla. Hihnatyypiksi valittiin kiilahihna sen useiden etujen vuoksi, koska:

- kiilahihnat sietävät poikkeusoloja
- hihnat pysyvät hyvin pyöriillään
- ylikuormituksessa hihna luistaa ja toimii täten suojakytkimenä.

Työturvallisuuden takaamiseksi moottorin hihnapyörän ympärille suunniteltiin suoja, jota voidaan tarpeen vaatiessa säätää eri asentoon. Myös pöydän päälle suunniteltiin hihnasuoja, joka on nopea asentaa paikalleen ja ottaa pois. Kyseinen suoja suojaa testattavan vaihteen ensiöakselissa olevan hihnapyörän pyörimiseltä.



KUVIO 18. Koeajopenkki etupuolelta (Kimmo Kauppinen)



KUVIO 19. Koeajopenkki takapuolelta (Kimmo Kauppinen)

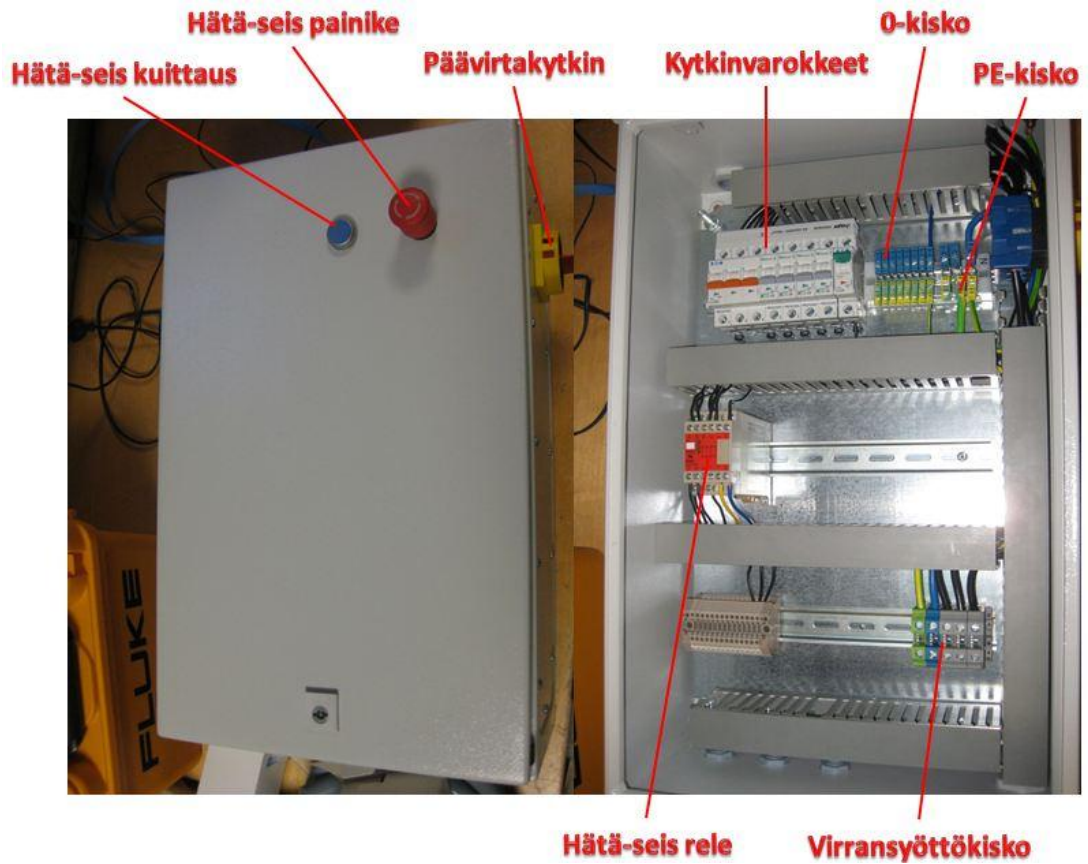
Säätöpalkeissa olevien koneistettujen urien avulla vaihdetta voidaan siirrellä, jotta hinnapyörät saadaan samaan linjaan.

## 11.1 Sähköosat

Koeajopenkkiin tuli loppujen lopuksi kolme varsinaista sähköosaa. Näitä olivat sähkökaappi, taajuusmuuttaja ja oikosulkumoottori. Seuraavissa kappaleissa kerrotaan lyhyesti näistä osista.

### 11.1.1 Sähkökaappi

Koeajopenkin kokonaisuuteen kuului myös sähkökaappi, joka kytkettiin ennen taajuusmuuttajaa. Sähkökaapin komponenttien määrittämiseen saatiin apua koulun puolelta ja itse kaapin rakentaminen tapahtui myös koulun tiloissa. Työturvallisuuden puolesta kaapin avulla toteutettiin hätä-seis -piiri, mikäli koeajossa tulisi tarve äkilliselle pysäytykselle. Hätä-seis painike ja hätä-seis kuittauspainike sijoitettiin sähkökaapin kanteen ja päävirtakytkin laitettiin kaapin kylkeen. Sähkökaappiin laitettiin myös ylimääräisiä kytkinvarokkeita, mikäli tulevaisuudessa haluttaisiin esimerkiksi muuttaa korkeudensäätö sähköiseksi. Sähkökaapin sähkökaavio sekä hätä-seis piirin kaavio löytyvät liitteistä 3 ja 4.



KUVIO 20. Sähkökaappi ulkoa ja sisältä (Kimmo Kauppinen)

### 11.1.2 Taajuusmuuttaja

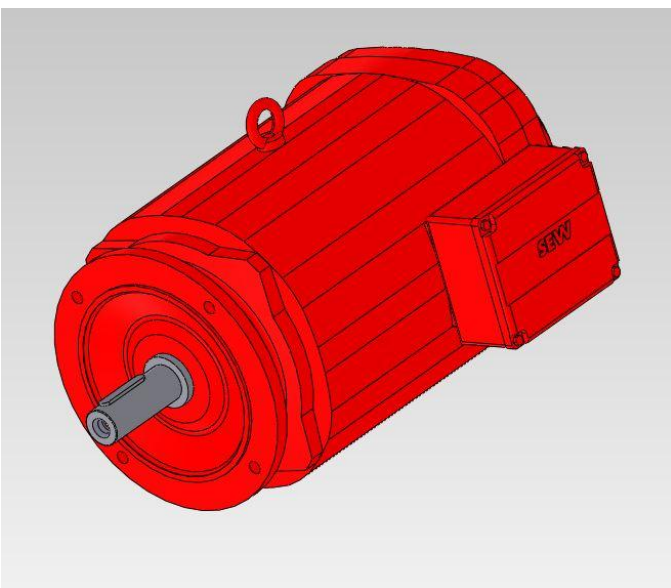
Taajuusmuuttajaksi valikoitui SEW Eurodriven valikoimasta 22 kW:n tehoinen Movitrac® B -taajuusmuuttaja (ks. kuvio 14). Taajuusmuuttajan tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 5. Taajuusmuuttajan avulla oikosulkumootorin pyörimisnopeutta ja -suuntaa voidaan ohjata ja jokaiselle vaihteelle voidaan säätää halutut arvot. Aluksi taajuusmuuttajan käyttö tapahtuu kuviossa 14 näkyvästä paneelistä, mutta tarkoituksena myöhemmin on lisätä kaukosäädin, jolla koeajoa ohjataan.



KUVIO 21. Taajuusmuuttaja Movitrac® B (SEW Eurodrive 2012b.)

### 11.1.3 Moottori

Voimanlähteeksi koeajopenkkiin valittiin SEW-Eurodriven valikoimasta 15 kW:n oikosulkumoottori (ks. kuvio 22). Moottoriksi valittiin riittävän tehokas isompien testattavien vaihteiden varalle. Tarkemmat tiedot oikosulkumoottorista löytyvät liitteestä 6.



KUVIO 22. Oikosulkumoottori (Kimmo Kauppinen)

## 12 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli suunnitella teollisuusvaihteiden koeajopenkki, jossa huollettuja vaihteita voitaisiin koeajaa ennen asiakkaalle palautusta. 3D-mallin sekä valmistuspiirustusten luominen kuului tärkeimpänä osa-alueena työn tuloksiin. Työn aikana valmistui useita malleja ja lopullinen malli oli varsin onnistunut niin yrityksen kuin työntekijänkin mielestä. Työn tulos täytti siis alussa laaditut vaatimukset ja budjetissa pysyttiin helposti.

Koeajopenkin suunnittelu oli hyvin vaativa työ. Aiemmista vastaavista laitteista oli hyvin vähän tietoa saatavilla, mikä vaikeutti työtä entisestään. Onneksi kuitenkin yhteistyöyritys SEW-Eurodrive oli valmis auttamaan ja esittelemään omaa koeajopenkkiään. Yhtenä ongelmana työn etenemisen kannalta oli, että vain harvat yritykset vastasivat lähetettyihin tarjouspyyntöihin. Arviolta vain kolmasosaan lähetetyistä tarjouspyynnöistä saatiin vastaus ja olennaista tietoa.

Koeajopenkki tarjoaa yritykselle mahdollisuuden kehittää teollisuusvaihteiden huoltoa ja parantaa laatua. Nämä molemmat ovat tärkeitä seikkoja kilpailukyvyn ylläpitämisessä ja asiakkaan tyytyväisyyden takaamisessa.

Työn edetessä vastaan tuli paljon uusia asioita, joista pystyi oppimaan uutta ja joita voi myöhemmin työelämässä käyttää hyväkseen. Suunnittelutyöstä ei ollut entuudestaan paljoa kokemusta, joten työn myötä sekin osa-alue tuli tutummaksi. Myöskään sähköoppia ei opintojen aikana ollut paljoa ja olikin hyvä ja havainnollistava tilaisuus päästä rakentamaan sähkökaappi omin voimin. Kaiken kaikkiaan työ antoi hyvän kuvan siitä, millaista insinöörin työ on työelämään siirryttäessä.

## LÄHTEET

Airila, M. 1999. Mekatroniikka. Helsinki: Otatieto Oy.

Airila, M. 1985. Koneenosien suunnittelu 4. Porvoo: WSOY.

Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Metso, T. & Putkonen, K. 2002. Logiikat ja ohjausjärjestelmät - koneautomaatio 2. Porvoo: WSOY.

Karhunen, J., Lassila, V., Pyy, S., Ranta, A., Räsänen, S., Saikkonen, M. & Suosara, E. 1994. Lujuusoppi. Otatieto.

Mindconnection 2012. www-sivu [viitattu 14.5.2012]

Saatavissa: <http://www.mindconnection.com/library/electrical/motorslip.htm>

SKS Mekaniikka 2012. www-sivu [viitattu 20.4.2012]

Saatavissa: [http://www.sks.fi/tuotteet/THK\\_lineaarijohde\\_HSR](http://www.sks.fi/tuotteet/THK_lineaarijohde_HSR)

SEW-Eurodrive. 2012a. www-sivu [viitattu 15.4.2012]

Saatavissa: <http://www.sew-eurodrive.fi/>

SEW-Eurodrive. 2012b. www-sivu [viitattu 16.5.2012]

Saatavissa: <http://aprivod.ru/pchmb.htm>

SEW-Eurodrive 2007. Industrial gear units: Helical and bevel-helical gear units X.. series horizontal gear units. Catalog.

Silén, T. 1998. Laatujohtaminen. Porvoo: WSOY.

Simetek 2012. www-sivu [viitattu 15.4.2012]

Saatavissa: <http://www.simetek.com/Yrityys>

THK 2012. www-sivu [viitattu 15.5.2012]

Saatavissa: [https://tech.thk.com/upload/catalog\\_claim/pdf/331E\\_SBN.pdf](https://tech.thk.com/upload/catalog_claim/pdf/331E_SBN.pdf)



## LIITE 1 Kartiohammaspyöräparin tiedot

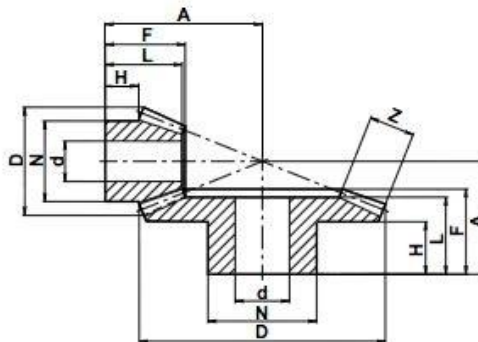
**KONISKA KUGGHJUL****Utvüxling 1:2 (=D)****Material**

S = Stål SS EN 10083-1-34Cr4, kuggkvalitet 8f24  
M = Mässing SS 5170



1

Modul	Kugg	Artikelnr	Material	D	N	H	L	F	Z	A	d	Överförbar effekt (kW)		
												H7	100	500
1,0	15	D1015M30	M	16,50	12,0	6,0	10,0	12,0	6,0	21,5	5			
	30			31,00	16,0	6,0	10,0	13,0	6,0	17,2	5			
1,0	15	D1015S30-1	S	17,40	13,3	6,5	-	11,9	5,0	22,0	4	0,01	0,02	0,05
	30			30,60	20,3	9,0	14,0	15,1	5,0	20,0	5			
1,5	15	D1515S30	S	25,20	18,0	10,4	18,8	19,8	8,8	34,0	8	0,07	0,14	0,33
	30			46,30	24,0	12,0	17,6	19,6	8,8	26,0	11			
2,0	15	D2015S30	S	33,60	22,0	10,0	21,6	23,1	11,7	42,0	11	0,14	0,22	0,62
	30			61,80	28,0	12,4	19,6	22,4	11,7	31,0	14			
2,5	15	D2515S30	S	41,90	28,0	11,2	25,5	27,3	14,7	51,0	14	0,18	0,47	1,21
	30			77,20	36,0	15,8	24,8	28,3	14,7	39,0	18			
3,0	15	D3015S30	S	50,40	34,0	13,2	30,5	32,6	17,6	61,0	17	0,21	0,95	2,13
	30			92,70	44,0	20,1	30,9	35,1	17,6	48,0	22			
3,5	15	D3515S30	S	58,80	40,0	14,4	34,4	36,9	20,5	70,0	20	0,33	1,32	3,12
	30			108,00	50,0	22,5	35,1	40,0	20,5	55,0	25			
4,0	15	D4015S30	S	67,10	46,0	15,5	38,4	41,2	23,5	79,0	23	0,51	1,84	4,41
	30			123,60	60,0	27,8	42,2	47,8	23,5	66,0	30			
4,5	15	D4515S30	S	75,50	52,0	16,7	42,2	45,4	26,4	88,0	26	0,58	2,57	6,10
	30			139,00	68,0	31,1	47,4	53,7	26,4	73,0	34			
5,0	15	D5015S30	S	83,90	58,0	17,8	46,2	49,7	29,3	97,0	29	0,66	3,46	7,87
	30			154,65	74,0	33,5	51,5	58,5	29,3	80,0	37			

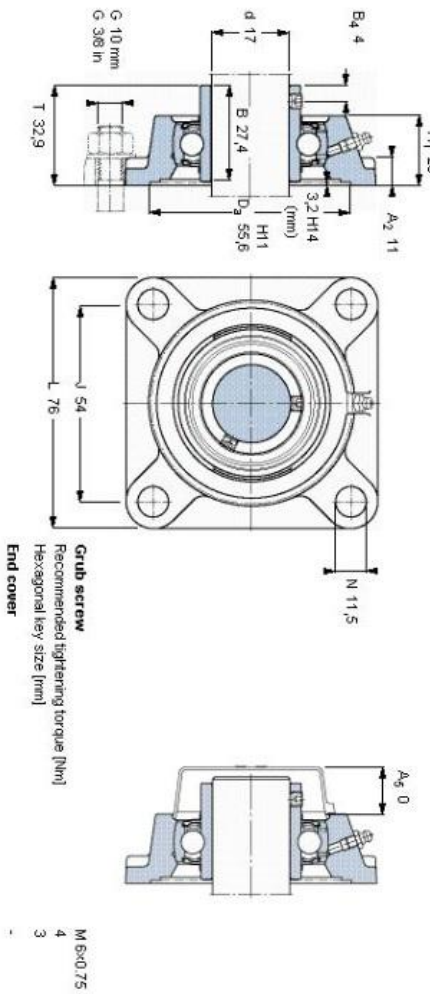


LIITE 2 Laakeripukkien tiedot

**Y-bearing flanged units, cast housing, square flange, grub screw locking, metric bearings**



Product information		Basic load ratings		Limiting speed		Mass	Designations			
Dimensions		dynamic	static	with shaft tolerance h6			Bearing unit	Housing	Bearing	
d	A <sub>1</sub>	J	L	T	C	C <sub>0</sub>				
mm					KN	r/min	kg			
17	26	54	76	32,9	9,56	4,75	0,44	FV 17 TF	FV 503 M	YAR 203-2F



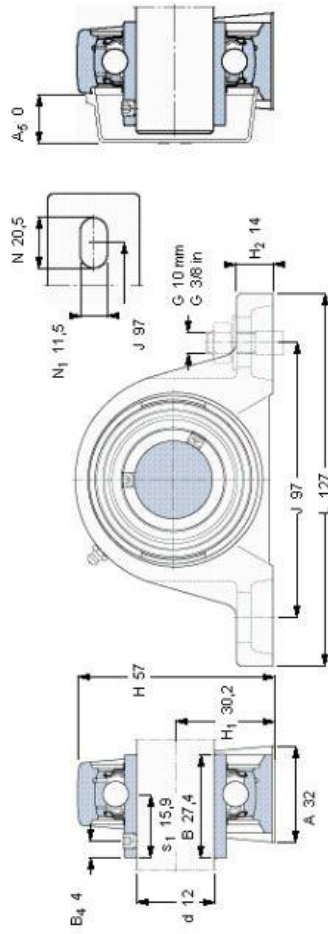
- M 6x0,75
- 4
- 3
-



**Y-bearing plummer block units, cast housing, grub screw locking, metric bearings**

Product information

Dimensions		Basic load ratings		Limiting speed		Mass		Designations				
d	A	H	H <sub>1</sub>	L	C	C <sub>0</sub>	static	dynamic	with shaft tolerance h6	Bearing unit	Housing	Bearing
mm					kN				r/min	kg		
12	32	57	30,2	127	9,56	4,75			9500	0,52	SY 503 M	YAR 203/12-2F



**Grub screw**  
 Recommended tightening torque [Nm]  
 Hexagonal key size [mm]

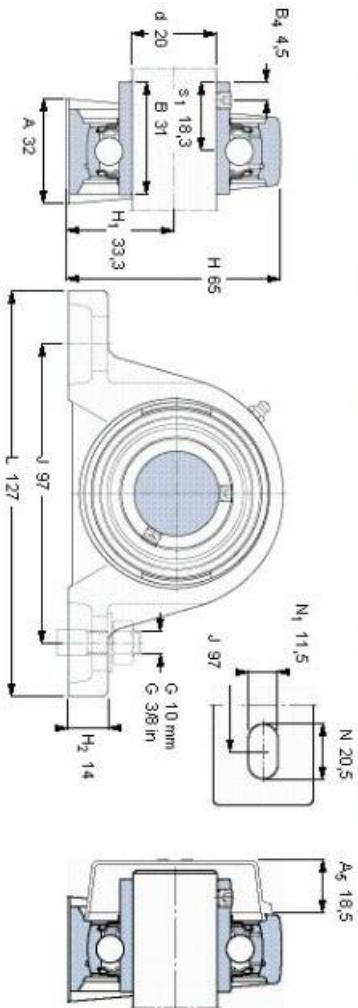
M 6x0,75  
 4  
 3

**End cover**

**Y-bearing plummer block units, cast housing, grub screw locking, metric bearings**

Product information

Dimensions	Basic load ratings				Limiting speed with shaft tolerance h6	Mass	Designations					
	dynamic	static	C	C <sub>0</sub>			Bearing unit	Housing	Bearing			
d	A	H	H <sub>1</sub>	L								
mm					r/min	kg						
20	32	65	33.3	127	12.7	6.55	8500	0.57	SY 20 TF			
										SY 504 M		VAR 204-2F

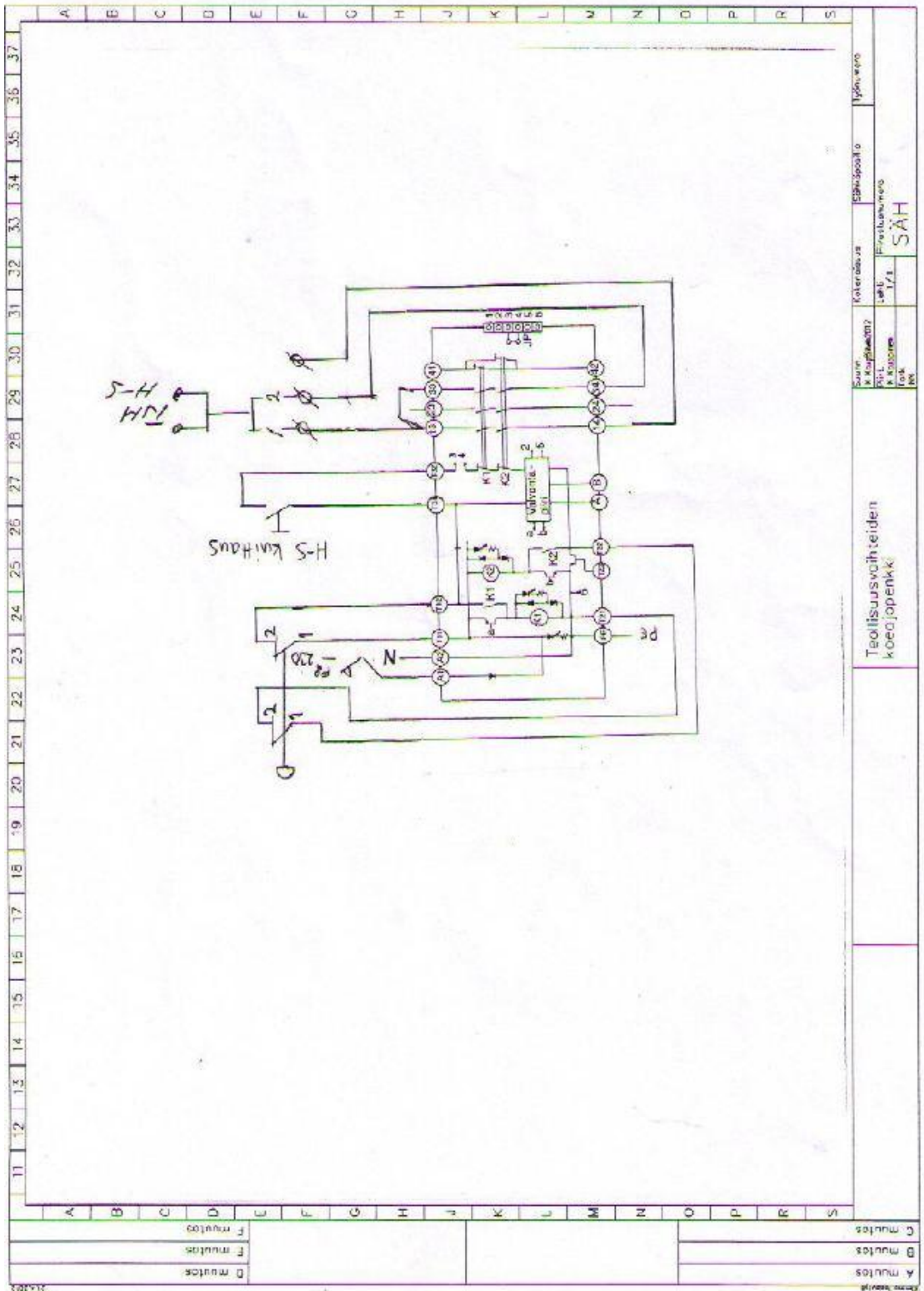


**Grub screw**  
 Recommended tightening torque [Nm]  
 Hexagonal key size [mm]

**End cover**

M6x0.75  
 4  
 3  
 ECY 204

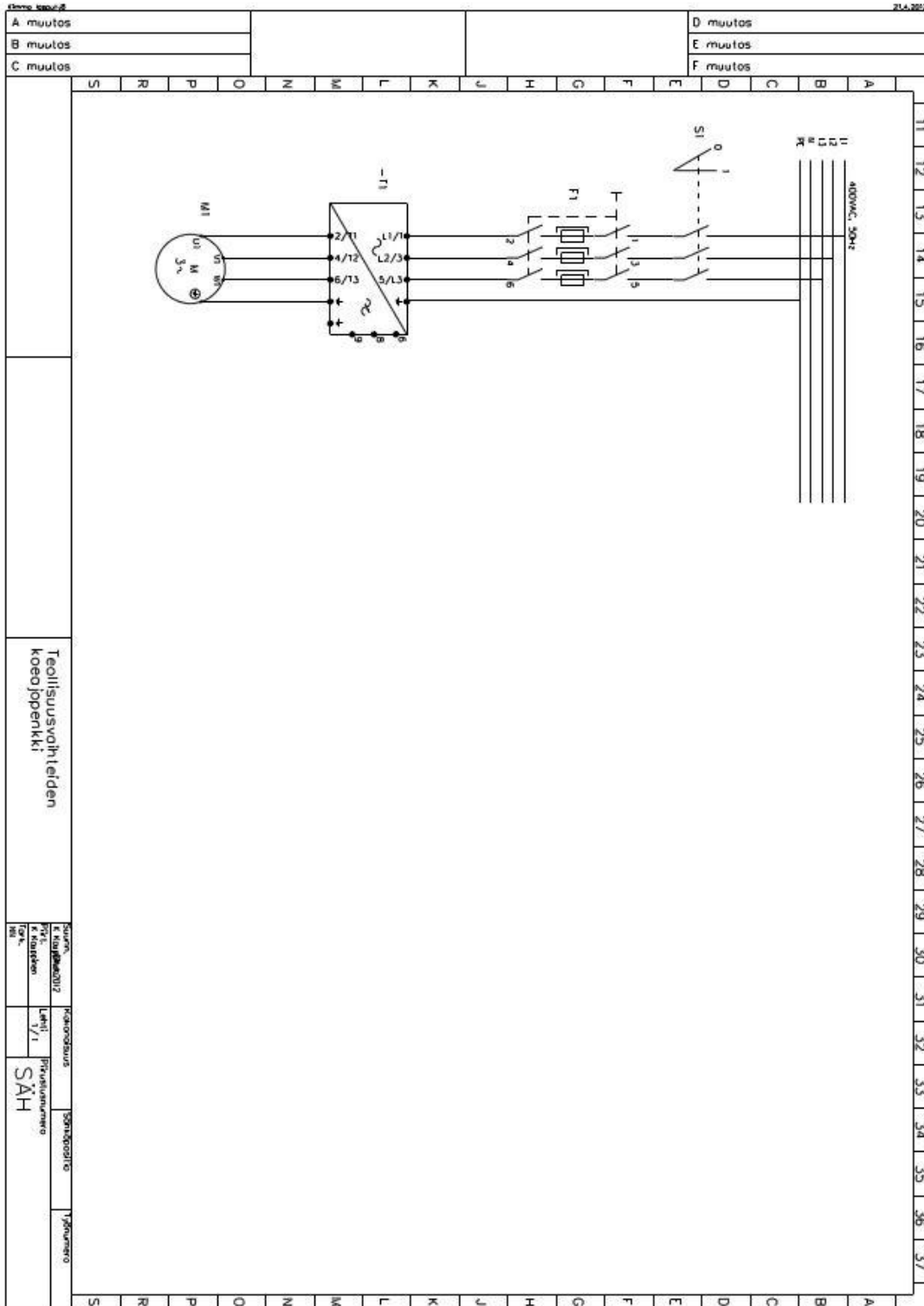
LIITE 3 Häätä-seiskaavio



Katodisuus	ESK:oppilisto	Työnväro
Luovi	Erstusnumero	
171	SÄH	
Teollisuuslaitteiden koeajopöytä		

A	mutto
B	mutto
C	mutto
D	mutto
E	mutto
F	mutto
G	mutto
H	mutto
I	mutto
J	mutto
K	mutto
L	mutto
M	mutto
N	mutto
O	mutto
P	mutto
Q	mutto
R	mutto
S	mutto

LIITE 4 Sähkökaapin sähkökaavio

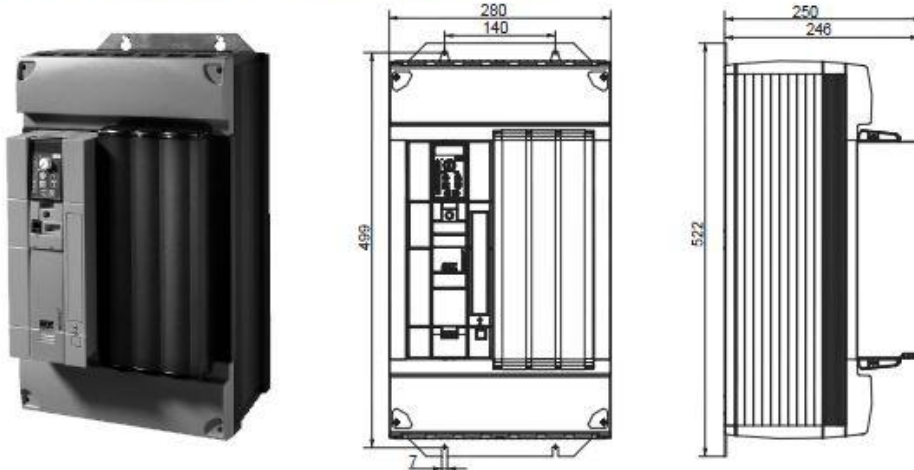


## LIITE 5 Taajuusmuuttajan tiedot

4


**Technical Data**  
**MOVITRAC® B technical data**

## 4.4.11 AC 230 V / 3-phase / size 4 / 22 ... 30 kW (30... 40 HP)



MOVITRAC® MC07B (3-phase mains)		0220-203-4-00	0300-203-4-00
Part number		828 513 6	828 514 4
<b>INPUT</b>			
Permitted rated supply voltage	$V_{\text{Mains}}$	3 × AC 400 V $V_{\text{Mains}} = \text{AC } 380 \text{ V} - 10 \% \dots \text{AC } 500 \text{ V} + 10 \%$	
Rated supply frequency	$f_{\text{Mains}}$	50 / 60 Hz ± 5 %	
Rated mains current 100 % operation	$I_{\text{Mains}}$	AC 72 A	AC 86 A
Rated mains current 125 % operation	$I_{\text{Mains } 125}$	AC 90 A	AC 107 A
<b>OUTPUT</b>			
Output voltage	$V_{\text{Output}}$	3 × 0 ... $V_{\text{Mains}}$	
Recommended motor power 100 % operation	$P_{\text{Mot}}$	22 kW (30 HP)	30 kW (40 HP)
Recommended motor power 125 % operation	$P_{\text{Mot } 125}$	30 kW (40 HP)	37 kW (50 HP)
Rated output current 100 % operation	$I_{\text{Rated}}$	AC 80 A	AC 95 A
Rated output current 125 % operation	$I_{\text{Rated } 125}$	AC 100 A	AC 118.8 A
Apparent output power 100 % operation	$S_{\text{Rated}}$	31.9 kVA	37.9 kVA
Apparent output power 125 % operation	$S_{\text{Rated } 125}$	39.9 kVA	47.4 kVA
Minimum permitted braking resistance value (4 quadrant operation)	$R_{\text{Br\_min}}$	3 Ω	
<b>GENERAL INFORMATION</b>			
Power loss 100 % operation	$P_{\text{Loss}}$	1100 W (1.475 HP)	1300 W (1.743 HP)
Power loss 125 % operation	$P_{\text{Loss } 125}$	1400 W (1.877 HP)	1700 W (2.280 HP)
Current limitation		150 % $I_{\text{Rated}}$ for at least 60 seconds	
Connections/tightening torque	Terminals	25 mm <sup>2</sup> / AWG4	35 mm <sup>2</sup> / AWG2
		14 Nm (124 in-lb)	
Dimensions	W × H × D	280 × 522 × 250 mm (11.0 × 20.6 × 9.8 in)	
Mass	m	27 kg (59.5 lb)	

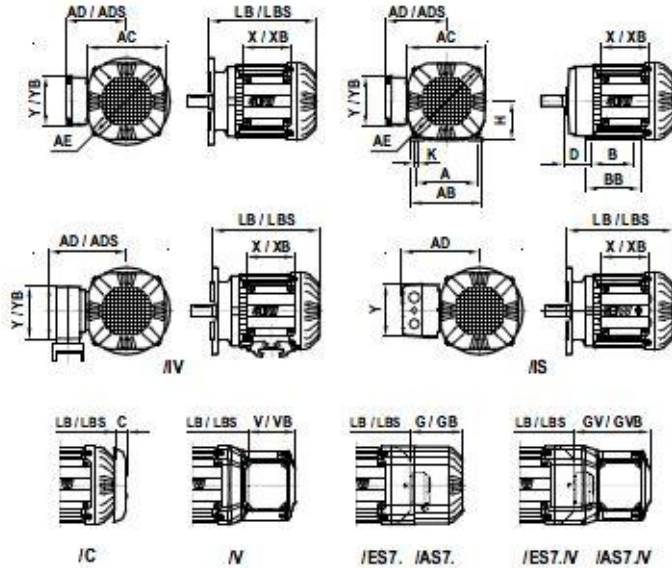
## LIITE 6 Oikosulkumoottorin tiedot

Motor Data  
D(F)V160L4 ↔ DRS160MC4, DRS180S4, 15 kW, 50 Hz

kVA	n
f	
I	P
Hz	

3

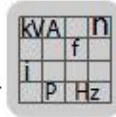
## 3.33 D(F)V160L4 ↔ DRS160MC4, DRS180S4, 15 kW, 50 Hz



## 3.33.1 Technical data

15 kW / 50 Hz	DV160L4	DRS160MC4		DRS180S4	
$M_N$ [Nm]	96.1	97	-1.1%	98	-0.1%
$n_N$ [rpm]	1460	1470	0.7%	1460	0%
$M_A/M_N$	2.4	2.1	-12.5%	2.3	-4.2%
$M_r/M_N$	1.8	1.7	-5.6%	2	11.1%
$I_N$ [A]	31	30	-3.2%	29	-6.5%
$I_A/I_N$	5.5	6.3	14.5%	6.2	12.7%
cos $\phi$	0.82	0.8	-2.4%	0.83	1.2%
$\eta$ 75% A [%]	90.3	90.2	-0.1%	91.1	0.9%
$\eta$ 100% A [%]	90	89.1	-1.0%	90.3	0.3%
$\eta$ 75% B [%]	90.3	90.8	0.6%	91.6	1.4%
$\eta$ 100% B [%]	90	90.1	0.1%	91.1	1.2%
$J_{Mot}$ [ $10^{-4}$ kgm <sup>2</sup> ]	925	590	-36.2%	900	-2.7%
$J_{EMot}$ [ $10^{-4}$ kgm <sup>2</sup> ]	1060	640	-39.6%	960	-9.4%
$J_{2EMot}$ [ $10^{-4}$ kgm <sup>2</sup> ]	-	-	-	-	-
$J_{Mot+JZ}$ [ $10^{-4}$ kgm <sup>2</sup> ]	-	1090	-	-	-
$m_{Mot}$ [kg]	124	94	-24.2%	122	-1.6%
$m_{EMot}$ [kg]	166	120	-27.7%	154	-7.2%
$m_{2EMot}$ [kg]	-	-	-	-	-
$Z_{0BE}$ [1/h]	-	-	-	-	-
$Z_{0BE}$ [1/h]	1000	900	-10.0%	900	-10.0%
$Z_{0BE}$ 2 [1/h]	-	-	-	-	-
S1 temp. [K]	80	95	18.8%	60	-25.0%





## Motor Data

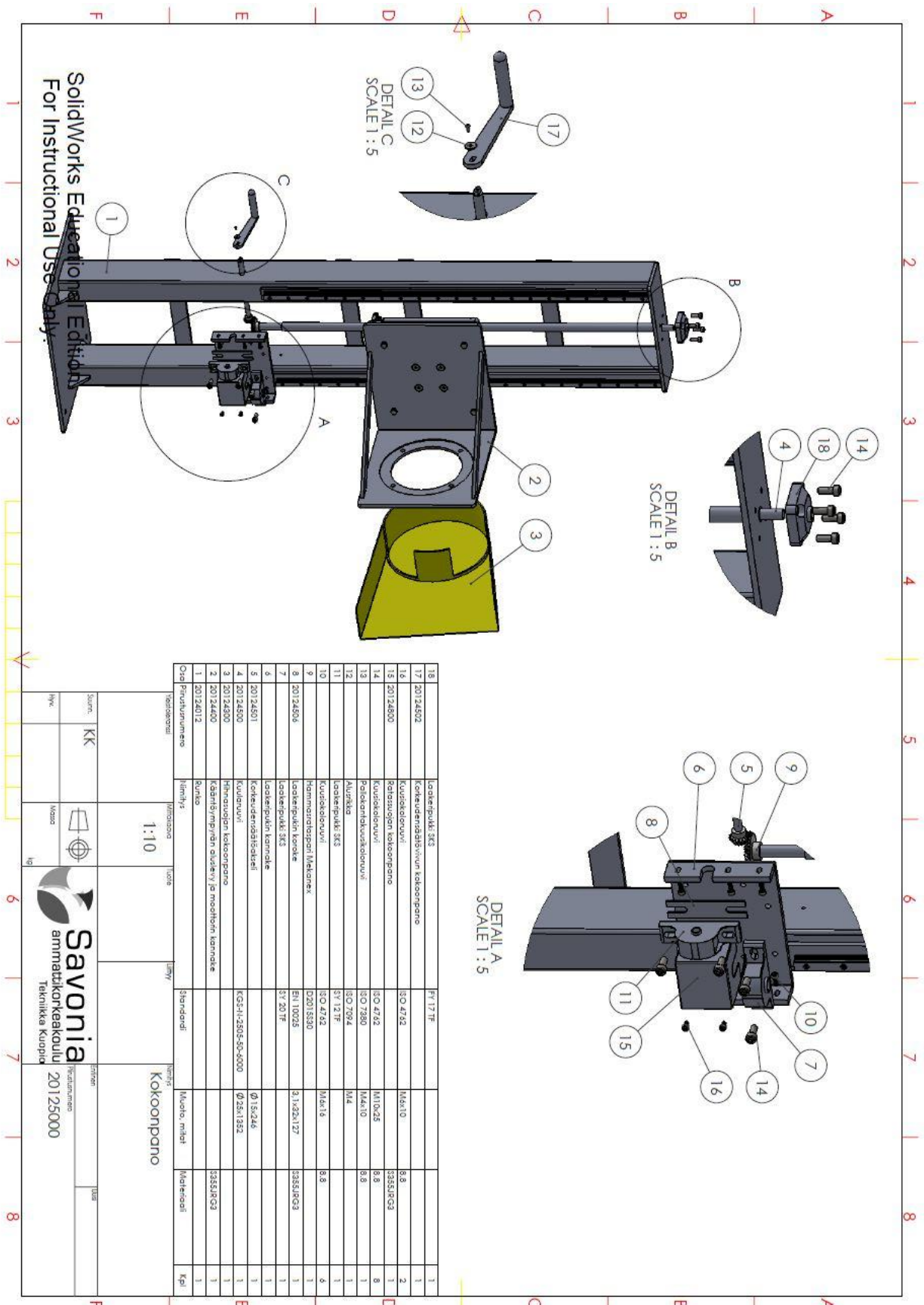
D(F)V160L4 ↔ DRS160MC4, DRS180S4, 15 kW, 50 Hz

## 3.33.2 Dimensioning [mm]

15 kW / 50 Hz	DV160L4	DRS160MC4		DRS180S4	
AC	331	272	-59	317	-14
AD	258	228	-30	253	-5
ADS	258	228	-30	253	-5
AE <sup>1)</sup>	-	291	-	359	-
X	182	182	0	182	0
Y	152	152	0	152	0
XB	182	182	0	182	0
YB	152	152	0	152	0
LB	503	460	-43	529.5	+26.5
LB B9	-	-	-	-	-
LB LIA120	-	-	-	-	-
LB LIA160	-	-	-	-	-
LB LIA200	-	470	-	-	-
LB LIA250	514	465	-49	534.5	+20.5
LB LIA300	509	460	-49	529.5	+20.5
LB LIA350	503	454	-49	523.5	+20.5
LB L08400	496	447	-49	516.5	+20.5
LB L08450	488	439	-49	508.5	+20.5
LB L08550	480	431	-49	500.5	+20.5
Delta LBS	156	137	-19	199	+43
LB FF	503	460	-43	523.5	+20.5
IEC D	42	42	0	42	0
IEC L	110	110	0	110	0
RZ D	28	28	0	28	0
H	160	160	0	160	0
A	254	254	0	254	0
B	254	210	-44	254	0
D	108	108	0	108	0
K	14.5	14.5	0	14.5	0
AB	308	289	-19	308	0
BB	294	252	-42	294	0
C	40	35	-5	35	-5
V	156	131	-25	180	+24
VB	152	131	-21	180	+28
AD /IS	-	-	-	-	-
X /IS	-	-	-	-	-
Y /IS	-	-	-	-	-
AD /IV	259	228	-31	253	-6
X /IV	191	182	-9	182	-9
Y /IV	161	152	-9	152	-9
ADS /IV	259	228	-31	253	-6
XB /IV	191	182	-9	182	-9
YB /IV	161	152	-9	152	-9
G /E	280	79	-201	79	-201
GB /E	124	79	-45	79	-45
GV /E+IV	405	194	-211	240	-165
GVB /E+IV	249	194	-55	240	-9

1) The AE dimension can be compared with to the AC dimension of the DT/DV motor

LIITE 7 Koeajopenkin rungon piirustus



18	loakeripuuhi 3x3	FR/17 TF				1
17	korkeudenmittausruutu kokoonpano					1
16	kuulokoloonuuri	ISO 4742	M6x10			2
15	20124600	kehysruuvin kokoonpano				1
14	kuulokoloonuuri	ISO 4742	M10x25			8
13	polkokennuskoloonuuri	ISO 7380	M4x10			1
12	alustus	ISO 7094	M4			1
11	loakeripuuhi 3x3	SV/12 TF				1
10	kuulokoloonuuri	ISO 4742	M6x16			8
9	formaattiteippi/Makrexi	D2015330				1
8	formaattiteippi/korke	EN 10925	3,1x2x1,27			1
7	loakeripuuhi 3x3	SV/20 TF				1
6	loakeripuuhi korke					1
5	20124601	korkeudenmittauslaite	Ø15,2x6			1
4	20124600	kuulokoloonuuri	IG541-2502-50-6000	Ø25x132x2		1
3	20124600	kehysruuvin kokoonpano				1
2	20124600	kasas/ruuvien aukavyt ja moottori korke				1
1	201246012	ruuvi				1

Suunn. **KK**  
 Maa   
 Koko **1:10**  
  
**Savonia**  
 ammattikorkeakoulu  
 Tekniikka Kuopio  
 Tekninen  
 Piirustusnumero **20125000**  
 Koko **Kokoonpano**  
 Materiaali **Muoto, mitali**  
 Kpl

SolidWorks Educational Edition  
For Instructional Use Only

LIITE 8 Koeajopenkin pöydän piirustus

