

Tapani Larikka

# Automaattisen hitsauskoneen modernisointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka / Sähkövoimatekniikka

Insinööriytyö

24.11.2015

Tekijä Otsikko	Tapani Larikka Automaattisen hitsauskoneen modernisointi
Sivumäärä Aika	40 sivua 24.11.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Lehtori Jukka Karppinen Toimitusjohtaja Risto Hurskainen
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Insinööritoimisto Ketema Oy:lle (Ketema). Ketema on pieni suomalainen yritys jonka päätoimiala on teollisuuden sähkökäyttöjen suunnittelu ja toteutus asiakkaan yksilöllisten tarpeiden mukaisesti.</p> <p>Tämän insinöörityön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa automaattisen hitsauskoneen liikkeenohjauslaitteistojen modernisointi. Modernisoinnissa käytettäväksi laitteistoiksi oli valittu jo ennen tämän työn aloitusta Siemensin uudemmat version aiemmin käytetyistä laitteista. Modernisoinnin yhteydessä ohjaus- ja käyttölaitteistojen välinen kommunikaatio muutettiin Profinet -väyläpohjaiseksi ratkaisuksi, joka osaltaan vähentää työmäärää sekä sähkösuunnittelun että -asennusten osalta.</p> <p>Työn tuloksena saatiin laadittua suunnitelmat ja ohjelmistototeutus hitsauskoneen modernisoimiseksi. Suunnittelun lähestymistavaksi otettiin tarpeettomien muutosten minimointi alkuperäisen ja uuden koneen välillä. Tämä lähestymistapa mahdollisti kaksi käytännöllistä asiaa: 1) saavutettiin aikaisemmin tehdyn ohjelmistototeutuksen mahdollisimman suuri uudelleenkäyttöaste ja 2) pidettiin koneen käytettävyys operaattorin kannalta ennallaan.</p> <p>Työn suunnitteluosuuden aikana kävi ilmeiseksi, että modernisoinnin kohteeksi ajateltua konetta ei voida vapauttaa päivittäisestä tuotantokäytöstä johtuen asiakasyrityksen tuotantotilanteesta. Asiakasyrityksellä oli muutenkin tarve lisätä automaattista hitsauskapasiteettia, joten ratkaisuksi tilanteeseen tuli uuden koneen rakentaminen. Mekaniikka kopioidaan vanhasta koneesta minimaalisin muutoksin ja ohjaus- ja käyttölaitteistot toteutetaan tämän työn suunnitelmien mukaisesti. Insinöörityön tekemisen ja alkuperäisen tavoitteen kannalta asiassa ei kuitenkaan ole eroa.</p> <p>Tämän työn valmistumisen aikaan uusi kone on kokoonpanossa, joten koneen käyttöönotosta ei tämän työn tekemisen aikana saatu kokemusta. Perustavanlaatuisia ongelmia aikaisempien koneiden kohdalla saadun kokemuksen perusteella ei ole odotettavissa, mutta joitain pieniä yllätyksiä lähes varmasti.</p>	
Avainsanat	servokäyttö, liikkeenohjaus, automaatio, Profinet

Author Title	Tapani Larikka Modernization of an Automatic Welding Machine
Number of Pages Date	40 pages 24 November 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Jukka Karppinen, Senior Lecturer Risto Hurskainen, Managing Director
<p>This thesis work was done for Insinööritoimisto Ketema Oy (Ketema). Ketema is small Finnish company that has specialized in planning and implementing industrial automation systems according to customers' needs.</p> <p>The goal of this thesis work was to design and implement modernization of motion control devices in an automatic welding machine. The new devices are manufactured by Siemens. As part of the project, the communication between control unit and drive units was changed to Profinet. This change helps in reducing the work load both in electric design as well as in wiring the equipment during the device installation work.</p> <p>The thesis work resulted in appropriate design plans and software implementation fulfilling the set goal. All unnecessary changes were minimized. This approach gave two practical benefits: 1) maximal re-use of existing SW implementation and 2) daily operation of the machine is as close to original machine as possible.</p> <p>During the design phase it became obvious that the target machine could not be released from daily production for the modernization work. Since the client had clear need for increasing welding capacity, the solution was to build a new welding machine where the mechanics were copied from old machine and the motion control systems were as designed in this project. However, this makes no significant change considering the original goal of the thesis work.</p> <p>At the time of completing the thesis work, the new machine is under construction. Because of this, the introduction of the machine into production use remains to be done. No major challenges are expected but naturally there will be some minor surprises to cope with.</p>	
Keywords	servo drives, motion control, automation, Profinet

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tyypillisiä moottorikäyttöjä	2
3	Moottorikäytön valinta ja mitoitus	2
4	Esimerkki moottorikäytön momentin mitoittamisesta	3
5	Moottorin syöttöjärjestelmien mitoitus	7
6	Erilaisia sähkömoottoreita ja niiden keskeisiä ominaisuuksia	8
6.1	DC-moottori	8
6.1.1	Sarjamoottori	8
6.1.2	Sivuvirtamoottori	9
6.1.3	Kompaundimoottori	10
6.1.4	Kestomagneettimoottori	10
6.2	EC-moottori	11
6.3	AC-moottori	12
6.3.1	Epätahtimoottori	12
6.3.2	Tahtimoottori	13
6.3.3	Reluktanssimoottori	13
7	Sähkökäyttöjen sovelluskohteita teollisuudessa	15
8	Koneturvallisuus	16
9	Työn kohteena oleva hitsauskone	17
9.1	Hitsauskoneen yleisesittely	17
9.2	Lähtökohta työlle	20
9.3	Sähkösuunnittelu	22
9.4	Yleistä Siemensin liikkeenohjausjärjestelmästä	24
9.5	Hitsauskoneen liikkeenohjausjärjestelmä	26
9.6	Ohjausjärjestelmä ja sen ohjelmointi	27
9.7	Liikeradan laskenta	30
9.8	Käyttöliittymä ja sen ohjelmointi	35
10	Käyttöönotto	38

11 Yhteenveto

38

Lähteet

39

## Lyhenteet

a	kiihtyvyys [m/s <sup>2</sup> ]
DP	Profibus
F <sub>μ</sub>	kitkavoima [N]
h	kuularuuvien nousu [mm]
i	vaihteen välityssuhde
J	hitausmomentti [kgm/s <sup>2</sup> ]
m	massa [kg]
M	momentti [Nm]
n	pyörimisnopeus [rpm]
P	teho [kW]
PN	Profinet
TIA	Totally Integrated Automation
v	nopeus [m/s]

## 1 Johdanto

Tämä Insinööritoimisto Ketema Oy:lle tehty insinöörityö käsittelee servokäyttöjä ja niiden soveltamista teollisessa tuotantokoneessa. Insinöörityön tekeminen aloitettiin tarkoituksena toteuttaa olemassa olevan automaattisen hitsauskoneen modernisointi. Asiakasyrityksen tuotantotilanteesta johtuen modernisoinnin kohteeksi suunniteltua konetta ei voitu irrottaa päivittäisestä tuotannosta modernisointiprojektia varten. Koska yrityksellä oli muutenkin tarve lisätä automaattista hitsauskapasiteettia, yritys päätyi modernisoinnin sijaan tekemään uuden hitsauskoneen, jossa mekaniikka on olemassa olevan koneen mukainen ja sähkökäytöt sekä ohjausjärjestelmät ovat modernisoinnissa käyttöön suunnitellun mukaiset laitteistot. Lopputulos insinöörityön tekemisen kannalta tarkastellen on olennaisesti alkuperäisen ajatuksen mukainen, eli asiakasyrityksen käyttöön saadaan moderneilla ohjausjärjestelmällä toteutettu automaattinen hitsauskone. Samalla yritys saa myös lisäkapasiteettia hitsaukseen. Vanhan koneen mahdollinen modernisointi on erillinen projekti, ja jos se päätetään toteuttaa uuden koneen tuoman lisäkapasiteetin saamisen jälkeen, on modernisointi hyvin suoraviivainen kopiaintiprojekti siinä vaiheessa tuotantokäytössä olevan koneen sähköisten komponenttien osalta.

Teoriaosuudessa luodaan yleiskatsaus tyypillisiin sähkökäyttöihin ja näihin liittyviin valinta- ja mitoitusasioihin sekä käydään esimerkin avulla läpi yksinkertaisen sähkökäytön mitoitus. Lisäksi tarkastellaan lyhyesti sähkömoottorityyppejä ominaispiirteineen ja niiden sovelluskohteita teollisuudessa sekä koneturvallisuuteen liittyviä asioita.

Teoriaosuuden jälkeen siirrytään tämän työn kohteena olevaan hitsauskoneeseen ja sen ominaisuuksiin joilla on välillinen tai välitön vaikutus sähkösuunnitteluun.

**Insinööritoimisto Ketema Oy** on vuonna 1992 perustettu teollisuusautomaatioon ja liikkeenohjaukseen erikoistunut insinööritoimisto. Yritys tarjoaa asiakkailleen innovatiivisia automaatoratkaisuja päämääränä asiakkaan tehokas ja keskeytymätön tuotanto. Kuluneiden vuosien aikana yritys on toimittanut ohjausjärjestelmiä teollisuuteen pienistä konepajoista paperitehtaisiin ympäri maailmaa, mutta yrityksen ensisijainen markkina-alue on kuitenkin Suomi. [1.]

## 2 Tyypillisiä moottorikäyttöjä

Moottorikäytöt voidaan jakaa kuormitusmomentin perusteella kolmeen pääryhmään.

- *Neliöllinen momentti*: momentin tarve kasvaa neliöllisesti ja tehon tarve kasvaa kuutiollisesti moottorin pyörintänopeuden funktiona. Tämä on yleisin kuormitustyyppi moottorikäytöissä ja esimerkkinä tällaisesta käytöstä voidaan mainita erilaiset pumput ja puhaltimet.
- *Vakiomomentti*: momentin tarve on vakio moottorin koko kierroslukualueella tehon tarpeen kasvaessa lineaarisesti pyörintänopeuden funktiona. Esimerkkinä tällaisesta käytöstä voidaan mainita erilaiset nosturit, kuljettimet ja lastuavat työstökoneet.
- *Vakioteho*: momentin tarve laskee kääntäen verrannollisesti moottorin pyörintänopeuden funktiona tehon tarpeen pysyessä vakiona koko kierroslukualueella. Esimerkkinä tällaisesta käytöstä voidaan mainita erilaiset rullaimet. [2.]

Käytännössä työkonen aiheuttama vastamomentti muodostuu usein edellä lueteltujen pääryhmien yhdistelmistä ja lisäksi vastamomentti on usein jaksollinen. Tällaisesta käytöstä voidaan mainita esimerkkinä paperikonekäyttö, jossa momentti on vakio nimellistehoon saakka ja siitä eteenpäin teho on vakio. Myös säätökäytöt, joissa toimitaan kentänheikennysalueella, ovat toiminnalliselta luonteeltaan tällaisia. [2.]

## 3 Moottorikäytön valinta ja mitoitus

ABB:n TTT -käsikirja [3] esittää yksityiskohtaisesti moottorikäytön valinnan ja mitoittamisen perusteet. Tämä käsikirja on saatavissa verkosta PDF -tiedostoina joiltakin verkkosivuilta.

Moottorikäyttöön valittavan moottorin mitoitus aloitetaan moottorikäytön kohteena olevan koneen ominaisuuksien ja sen aiheuttaman vastamomentin selvittämisestä. Koneen vastamomenttikäyrä määritetään moottorin kierrosluvun funktiona. Erityisiä tarkastelukohtia momenttikäyrällä ovat hetkelliset ääriarvot, joita ovat liikkeellelähdössä tapahtuva irrotus sekä toiminnan aikana esiintyvät maksimi- ja minimiarvot.

Vastamomenttikäyrän perusteella on laskettavissa moottorin eri käyttötilanteissa vaatima virta ja edelleen moottorin terminen kuormitus. Jos päädytään käyttämään säädettyä käyttöä, on huomioitava moottorin jäähdystystarve erityisesti pienillä



kierrosnopeuksilla toimittaessa etenkin silloin, kun ei jostain syystä ole mahdollista käyttää jäähdytyspuhallinta moottorin toimintalämpötilan rajoittamiseksi.

Valittavan moottorin koko riippuu tarvittavasta vääntömomentista. Vääntömomentti  $M$  (Nm) on moottorin tehon  $P$  (kW) ja kierrosnopeuden  $n$  (rpm) välinen suhde kaavan 1 mukaan.

$$M = 9550 * \frac{P [kW]}{n [rpm]} [Nm] \quad (1)$$

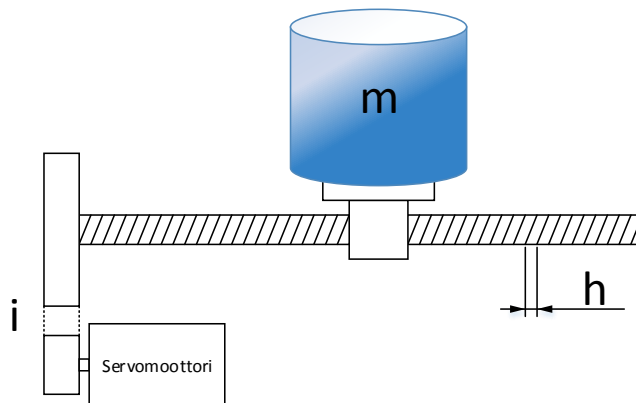
Jos moottorikäytön kohteena olevan koneen normaali pyörimisnopeus eroaa selvästi vakiomootoreiden pyörimisnopeuksista, on yleensä perusteltua valita sopivalla välityksellä varustettu standardimoottori. Tällainen valinta on tehty työn kohteena olevan hitsauskoneen molempien akseleiden kohdalla.

Vääntömomentin lisäksi tulee moottorikäytön mitoituksen ja valinnan yhteydessä kiinnittää huomiota kohteena olevan koneen käyttötarkoitukseen laajemminkin. Selvitettäviä asioita ovat esimerkiksi koneelta haluttu pyörimisnopeus, tarvittava teho, kuormitustapa, asennuspaikan olemassa olevat sähköjärjestelmät sekä ulkoiset käyttöolosuhteet. Moottorin kotelointiluokka ja jäähdytysratkaisu riippuvat olennaisesti käyttöolosuhteista. Suuritehoisella moottorilla on merkittävä häviöistä johtuva lämpöteho jonka hallitseminen tulee ottaa kokonaissuunnittelussa huomioon. Käyttöpaikan korkeus merenpinnasta on myös huomioitava, sillä ylempänä ohuemmasta ilmasta johtuen ilmajäähdytys ei ole yhtä tehokas kuin alempana. Useilla vakio sähkölaitteilla suurin sallittu käyttökorkeus on tuhat metriä merenpinnasta ilman lisätoimenpiteitä.

#### 4 Esimerkki moottorikäytön momentin mitoittamisesta

Sähkökäytön mitoittaminen aloitetaan tarkastelemalla käyttökohteen mekaanista momentin tarvetta ja edeten siitä edelleen kohti sähkönsyöttöä. Mekaanisen momentintarpeen laskennassa sähkökäyttöön kohdistuvien kuormien aiheuttamat momentintarpeet redusoidaan moottorin akselille. Laskennassa huomioidaan kaikki moottoriakseliin kohdistuvat kuormitusta aiheuttavat tekijät varsinaisen hyötykuorman lisäksi. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi kitkat ja mekaniikan aiheuttamat sekä käyttöön kohdistuvan hyötykuorman, esimerkiksi siirrettävän massan, hitausmomentit.

Kun momentintarpeet redusoidaan vaihteen yli moottorin akselille, täytyy laskennassa huomioida vaihteen välityssuhde. Seuraavassa esitetään yksinkertaisen sähkökäytön mitoitus koneessa, jossa siirretään kappaletta (hyötykuormaa) kuularuuvilla. Tämän työn kohteena olevassa hitsauskoneessa X-akseli on tässä esimerkissä esitetyn mukainen kuularuuvikäyttö. Hitsauskoneen tapauksessa ei ole varsinaista liikutettavaa hyötykuormaa, vaan sen sijaan kuularuuvilla toteutetaan hitsauselektrodin pituusliike.



Kuva 1. Mitoitettava sähkökäyttö

Kuvassa 1 esitetystä tapauksesta sähkökäytöltä vaadittavan momentin laskennassa tarvitaan seuraavat lähtötiedot:

- ruuvin nousu,  $h$  [mm/kierros],
- ruuvin hitausmomentti,  $J_r$  [kgm<sup>2</sup>],
- vaihteen välityssuhde,  $i$ ,
- ruuvin esikiristyksen aiheuttama momenttitarve,  $M_{ekr}$  [Nm],
- kitkavoima,  $F_\mu$  [N],
- vaadittu kiihtyvyys,  $a$  [m/s<sup>2</sup>],
- vaadittu siirtonopeus,  $v$  [m/s],
- vaadittu siirrettävä massa (hyötykuorma + muu hyötykuorman mukana liikkuva massa),  $\Sigma m$  [kg].

Edellä annettuja lähtötietoja käyttäen laskennassa suoritetaan seuraavat vaiheet:

- liikkuvien massojen hitausmomenttien redusointi siirtoruuville

- liikkuvien massojen hitausmomenttien redusointi vaihteen yli moottoriakselille
- staattisten voimien redusointi vaihteen yli moottorin akselille
- moottorilta vaadittavan pyörimisnopeuden ja kulmakihtyvyyden määrittely
- halutun kiihtyvyyden vaatiman momentintarpeen laskeminen moottorin akselilla
- suurimman momentintarpeen määrittely moottorin akselilla.

Näiden tietojen pohjalta saadaan laskettua järjestelmän vaatima suurin momentintarve ja edelleen valittua tarpeen täyttävä moottori. Moottorin valinnan yhteydessä on vielä huomioitava moottorin oma hitausmomentti, lisättävä se järjestelmän kokonaismomentin tarpeeseen ja edelleen tarkastettava, että valittu moottori täyttää tämän lopullisen momentin tarpeen.

Liikkuva massa kuvan 1 tapauksessa ei ole pelkästään hyötykuorman massa  $m$  vaan myös hyötykuormaa liikuttavan laitteen liikkuva massa  $m_2$ . Näiden massojen hitausmomentti  $J_{mred}$  ruuville redusoituna saadaan laskettua kaavalla 2.

$$J_{mred} = \frac{(m+m_2) \cdot h^2}{4 \cdot \pi^2} \quad (2)$$

Lisäämällä kaavalla 2 laskettuun hitausmomenttiin kuularuuvien oma hitausmomentti  $J_r$  saadaan tulokseksi koneen kokonaishitausmomentti  $J_{tot}$ .

$$J_{tot} = J_{mred} + J_r \quad (3)$$

Kaavalla 3 lasketun kokonaishitausmomentin redusointi vaihteen välityksen yli moottorin akselille lasketaan kaavalla 4.

$$J_{red} = \frac{J_{tot}}{i^2} \quad (4)$$

Seuraavaksi lasketaan staattisten voimien kumoamiseksi vaadittava momentti. Tässä täytyy huomioida esimerkiksi lineaarisen liikkeen kitkavoima (kaava 5) ja muut mahdolliset staattiset voimat sekä myös kuularuuvien esikiristykseen käytettävä momentti (kaava 6). Saatu tulos redusoidaan moottorin akselille (kaava 7).

$$M_{\mu} = \frac{F_{\mu} * h}{2 * \pi} \quad (5)$$

$$M_{tot} = M_{\mu} + M_{ekr} + \sum M_{muut} \quad (6)$$

$$M_{stat} = \frac{M_{tot}}{i} \quad (7)$$

Nyt on saatu laskettua koneen staattisten voimien aiheuttama momentintarve moottorin akselilla. Tämä ei ole kuitenkaan vielä moottoria kuormittava kokonaismomentti vaan tämän lisäksi on laskettava moottoria kuormittava dynaaminen momentti  $M_{dyn}$  (kaava 9). Dynaaminen momentti moottoriakselilla riippuu moottorin kulmakihtyvyydestä  $\alpha_m$  (kaava 8) ja moottorin akselille redusoidusta koneen hitausmomentista  $J_{red}$  joka laskettiin kaavalla 4. Moottorin kulmakihtyvyys riippuu välityksen yli moottorin akselille redusoidusta vaaditusta siirtoliikkeen kiihtyvyydestä  $a$  käytettävällä ruuvilla.

$$\alpha_m = \frac{a * 2 * \pi}{h} * i \quad (8)$$

$$M_{dyn} = J_{red} * \alpha_m \quad (9)$$

Nyt on saatu selville koneelta vaadittavat momentit: staattinen momentti  $M_{stat}$  ja dynaaminen momentti  $M_{dyn}$ . Laskemalla nämä kaksi momenttia yhteen saadaan koneen vaatima suurin momentti  $M_{max}$  (kaava 10).

$$M_{max} = M_{stat} + M_{dyn} \quad (10)$$

Moottorin valitsemiseksi on vielä laskettava moottorilta vaadittava pyörimisnopeus  $n_m$  (kaava 11). Tämä riippuu vaaditusta siirtonopeudesta  $v$ , käytettävän kuularuuvien noususta  $h$  sekä mahdollisen vaihteen välityssuhteesta  $i$ .

$$n_m = \frac{v * i}{h} \quad (11)$$

Nyt on saatu selville moottorilta vaadittava momentti  $M$  ja koneessa tarvittava pyörimisnopeus  $n$ . Näiden tietojen perusteella on mahdollista tehdä koneen vaatimukset täyttävä moottorin alustava valinta moottorivalmistajan taulukkoja

käyttäen. Kun moottori on alustavasti valittu, on selvítettävä valitun moottorin hitausmomentti  $J_m$  ja laskettava kokonaismomentintarve  $M_{tot}$  moottorin oma hitausmomentti huomioiden. Moottorin oman hitausmomentin kompensoimiseksi tarvittava lisämomentti  $M_{add}$  lasketaan kaavan 9 mukaisesti. Kun tarvittava lisämomentti  $M_{add}$  on laskettu, tämä lisätään kaavassa 10 laskettuun suurimpaan vaadittavaan momenttiin  $M_{max}$ .

$$M_{tot} = M_{max} + M_{add} \quad (12)$$

Näin on saatu lasketuksi lopullinen kokonaismomentintarve  $M_{tot}$ , johon valittavan moottorin nimellismomenttia verrataan siten, että  $M_n \geq M_{tot}$ . Laskenta- ja muiden mahdollisten mittausepätkäkkyyksien kompensoimiseksi on syytä valita moottori, jonka nimellismomentti on hiukan suurempi kuin edellä olevia kaavoja käyttäen on laskennallisesti saatu tulokseksi.

## 5 Moottorin syöttöjärjestelmien mitoitus

Moottorin syöttöjärjestelmiin kuuluu kaikki järjestelmät joilla moottoria ohjataan tai suojataan. Moottorin ohjausjärjestelmiä ovat esimerkiksi erottaminen, hätäseis ja ohjauskomennot (käy, seis, eteen, taakse, jne.). Suojausjärjestelmiä ovat yli- ja vikavitasuojaus (nopeat) sekä ylikuormittumissuojaus (hidas). Lisäksi on erilaisia mittaus- ja valvontatoimintoja joilla moottorin toimintaa ja kuntoa voidaan seurata.

Moottorikäyttöä syöttävien järjestelmien ja laitteiden, mukaan lukien kaapeloinnit, mitoittaminen tulee tehdä siten, että ne kestävät moottorin ottaman huippuvirran normaaleissa käyttötilanteissa. Tämä korostuu etenkin säädettyjen moottorikäyttöjen kohdalla, koska nämä laitteet perustuvat nykyisin tehoelektroniikkaan. Tehoelektroniikkaa sisältävien laitteiden kohdalla tulee olla huolellinen termisten aikavakioiden mitoittamisen suhteen. Jos mahdollista, syöttöjärjestelmien mitoittaminen on hyvä tehdä siten, että nämä järjestelmät kestävät yhtä kokoa suuremman vakiomoottorin vaihtamisen kohteena olevaan koneeseen. Tällainen vaihtotarve voi tulla ajankohtaiseksi esimerkiksi momentintarpeen kasvaessa koneen mahdollisen käyttötarkoituksen muuttuessa.

## 6 Erilaisia sähkömoottoreita ja niiden keskeisiä ominaisuuksia

Tässä kappaleessa luodaan lyhyt katsaus yleisimpiin sähkömoottoreihin ja niiden keskeisimpiin ominaisuuksiin.

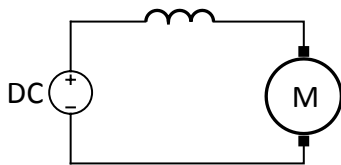
### 6.1 DC-moottori

DC- eli tasavirtamoottori on vanha sähkömoottoritekniikka, joka on ollut varsin hallitsevassa asemassa sellaisissa koneissa, joissa on tarvittu säädettävää pyörimisnopeutta. DC-moottoreita onkin käytetty laajasti erilaisissa työstö- ja tuotantokoneissa sekä liikennevälineissä helpon säädettävyytensä takia. Kääntöpuolena DC-moottorissa on suhteellisen monimutkainen ja huoltoa vaativa rakenne. Erityisesti kommutaattori perinteisissä DC-moottoreissa on kuluva osa.

DC-moottorit voidaan jakaa neljään pääluokkaan magnetointiratkaisunsa perusteella. Seuraavissa alakappaleissa annetaan lyhyt katsaus näihin neljään pääluokkaan ja niiden ominaisuuksiin.

#### 6.1.1 Sarjamoottori

Sarjamoottorissa moottorin magnetointikäämitys on kytketty sarjaan ankkurikäämityksen kanssa. Tätä moottorityyppiä kutsutaan toisinaan nimellä ”universaalimoottori” koska sitä voidaan käyttää myös AC-syötöllä. Tällaista ratkaisua käytetään monissa pienkoneissa, esimerkiksi käsityökoneissa, kotitalouden pienissä keittiökoneissa, jne. Kuvassa 2 esitetään periaatekuva sarjamoottorin rakenteesta.



Kuva 2. Sarjamoottorin rakenne.

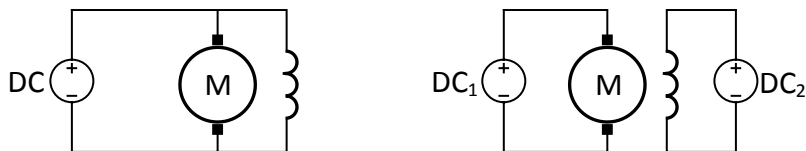
Koska magnetointikäämitys on kytketty sarjaan ankkuripiirin kanssa, on näiden piirien virtojen suuruus kaikissa käyttötilanteissa sama. Käynnistyksen yhteydessä kytkentä vastaa oikosulkua, jonka takia käynnistysvirtaa rajoitetaan sarjavastuksella tai

jännitteen säädöllä. Rakenteesta johtuen sarjamoottoria ei voi käyttää tyhjäkäynnillä, koska moottorin pyörimisnopeus kasvaa ja moottori ryntää ankkuri- ja magnetointivirran arvon lähestyessä nollaa ankkurijännitteen pysyessä vakiona. Pyörimisnopeuden säätäminen tapahtuu ankkurijännitteen muuttamisella siten, että  $U=0...U_n$  vastaa pyörimisnopeuksia  $n=0...n_n$ . Sarjamoottorin keskeinen ominaispiirre on pyörimisnopeuden laskiessa kasvava momentti.

Sarjamoottori on helpon säädettävyyden ja hyvän vääntömomentin takia ollut yleisesti käytetty ratkaisu vanhoissa liikennevälineissä. Nykyisin sarjamoottori on menettänyt merkityksensä muille ratkaisuille tehoelektronikan kehityksen seurauksena.

### 6.1.2 Sivuvirtamoottori

Sivuvirtamoottorissa magnetointikäimitys on kytketty ankkuriin rinnalle. Magnetointikäimitystä voidaan syöttää samasta virtalähteestä kuin ankkuriin tai vaihtoehtoisesti erillisestä tasavirtalähteestä. Jälkimmäistä ratkaisua kutsutaan vierasmagnetoiduksi moottoriksi. Kuvassa 3 esitetään periaatekuva sivuvirtamoottorin rakenteesta sekä yhdellä (vasen) että kahdella (oikea) virtalähteellä toteutettuna.



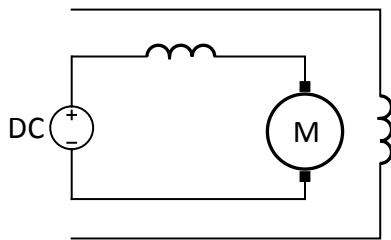
Kuva 3. Sivuvirtamoottorin rakenne yhdellä (vasen) ja kahdella (oikea) DC-virtalähteellä.

Sarjamoottorin tapaan käynnistykseen yhteydessä kytkentä vastaa oikosulkua jonka takia käynnistysvirtaa rajoitetaan käynnistysvastuksella tai jännitteen säädöllä. Käytettäessä erillisellä tasavirtalähteellä syötettävää magnetointipiiriä, tämän piirin syöttöä ei saa katkaista moottorin käynnin aikana eikä tähän piiriin saa laittaa edes sulakkeita tai muita suojuksia. Syynä tähän on se, että magnetointivirran katketessa ankkurivirta kasvaa ja moottori ryntää. Sivuvirtamoottoria voi käyttää tyhjäkäynnillä. Pyörimisnopeuden säätäminen tapahtuu ankkurijännitteen muuttamisella siten, että  $U=0...U_n$  vastaa pyörimisnopeuksia  $n=0...n_n$ , tai siirtymällä kentänheikennysalueelle magnetointivirran muuttamisella siten, että  $I_m \rightarrow 0$  voidaan säätää pyörimisnopeuksia  $n=1...2,5*n_n$ . Tässä täytyy kuitenkin muistaa, että magnetointivirta  $I_m$  ei saa katketa kokonaan.

Sivuvirtamoottoreita on käytetty työstökoneissa ja muissa vastaavissa kohteissa, joissa on tarvittu laajaa pyörimisnopeusalueita ja tarkkaa säätöä.

### 6.1.3 Kompaundimoottori

Kompaundimoottori on kahden edellisen yhdistelmä, eli siinä on sekä sarja- että sivumagnetointikäämitys. Näiden kahden käämityksen rakenteellista painotusta muuttelemalla voidaan korostaa joko sarja- tai sivuvirtamoottorin ominaisuuksia.

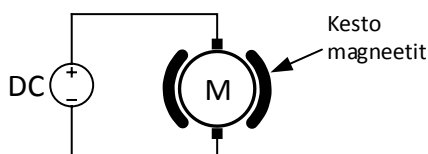


Kuva 4. Kompaundimoottorin rakenne.

Pyörimisnopeuden säätäminen tapahtuu kuten sarja- tai sivuvirtamoottorissa. Sivuvirtamoottorin tapaan kompaundimoottoria voi käyttää tyhjäkäynnillä.

### 6.1.4 Kestomagneettimoottori

Kestomagneettimoottorissa magnetointi hoidetaan nimensä mukaisesti kestopagneeteilla.



Kuva 5. Kestomagneettimoottorin rakenne.

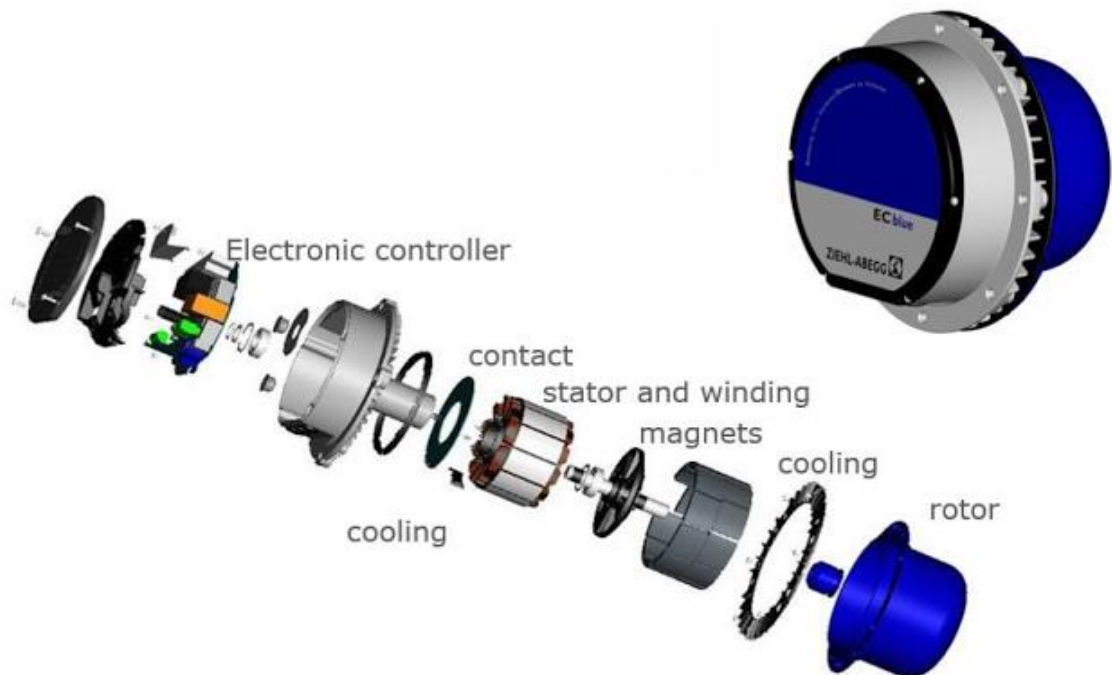
Kestomagneettimoottorit ovat kasvattaneet osuuttansa DC-käyttökohteissa sekä hyvän käynnistysmomenttinsa että nopeussäädettävyytensä takia etenkin pienitehoisissa moottoreissa noin 5-6kW:iin saakka ja erikoistuotteina jopa 2 500 kW:iin saakka. Kestomagneettimoottori on usein fyysiseltä kooltaan pienempi kuin vastaavan tehoinen oikosulkumoottorit, mutta vääntömomentti on huomattavasti suurempi. Lisäksi pienistä



häviöistä johtuen kestopagneettimoottori pysyy käynnin aikana viileämpänä kuin muut moottoriratkaisut. Kääntöpuolena kestopagneettimoottorissa on kuormitettavuus, jota joudutaan rajoittamaan noin 150 % nimellismomentista, jotta vältetään mahdollinen demagnetoituminen.

## 6.2 EC-moottori

EC-moottori on elektroniikan kehityksen mahdollistama uusi moottoritekniikka. EC-moottori on hiiliharjaton moottori, jossa ankkurin asento tunnistetaan Hall-anturilla. Tämän anturitiedon perusteella elektroninen säädin ohjaa virtaa kulloinkin oikeisiin käämeihin, eli mekaaninen kommutaattori on siis korvattu elektronisella säätimellä. Kuvassa 6 esitetään EC-moottorin rakenne [4].



Kuva 6. EC-moottorin rakenne [4].

EC-moottorin hyötysuhde on parempi kuin DC- tai AC-moottoreiden hyötysuhde. Tästä johtuen EC-moottorin energiankulutus on vähäisempää ja eikä jäähdystarvetta useimmissa tapauksissa ole. Pyörimisnopeuden säädettävyys on hyvä lähes koko säätöalueella. Elektronisen kommutoinnin johdosta ei tarvita erillistä taajuusmuuttajaa, mistä seuraa kustannussäästöjä, ja myös vältetään taajuusmuuttajan aiheuttamia

häviöitä ja häiriöitä. EC-moottorista on olemassa kahta eri versiota: 1) roottori on staattorin sisäpuolella (inrunner) ja 2) roottori on staattorin ulkopuolella (outrunner).

EC-moottoreita käytetään kasvavissa määrin erilaisissa puhallinsovelluksissa. Erityisen hyvin näihin sovelluksiin sopii EC-moottorin outrunner-versio.

### 6.3 AC-moottori

AC-moottori on laajasti käytetty yksinkertainen ja toimintavarma moottoritekniikka. AC-moottorit voi jakaa kahteen ryhmään: epätahti- ja tahtimoottoreihin.

#### 6.3.1 Epätahtimoottori

Epätahtimoottoreita kutsutaan puhekielessä usein nimellä oikosulkumoottori tai induktio-moottori. Useimmat pienet sähkömoottorit ovat epätahtimoottoreita. Tämä nimi juontaa juurensa siitä, että moottori ei pyöri täsmälleen sähköverkossa käytettävän 50 Hz (esimerkiksi Suomessa) tai 60 Hz (esimerkiksi USAssa) taajuuden mukaisella tahtinopeudella, eli synkronisella pyörimisnopeudella  $n_s$ , vaan pyörimisnopeus  $n$  jää hiukan tästä nopeudesta. Tällaisen moottorin sanotaan pyörivät epätahdissa. Tätä nopeuseroa kutsutaan nimellä jättämä  $s$ , ja tämä on tyypillisesti muutaman prosentin luokkaa. Jättämä lasketaan kaavalla 13.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} * 100 \% \quad (13)$$

Nimet oikosulkumoottori ja induktio-moottorit ovat myös hyvin kuvaavia termejä näiden moottoreiden rakenteelle. Näissä moottoreissa ankkurikäänitys on oikosuljettu silmukka ja käämiin indusoituu sähkövirta staattorin sähkökentästä. Tästä yksinkertaisesta rakenteesta johtuen nämä moottorit ovat erittäin luotettavia ja huoltovapaita mikä onkin mahdollistanut erittäin laajan ja monipuolisen sovellusalueen näille moottoreille. Rakenteesta johtuen myös suora verkko käyttö (DOL eli Direct On Line) on mahdollista näillä moottoreilla, eli teknisesti edistyneempiä ohjauksratkaisuja, esimerkiksi taajuusmuuttajia, ei välttämättä tarvita näiden moottoreiden käyttämiseen.

### 6.3.2 Tahtimoottori

Tahtimoottorissa [3] pyörimisnopeus on täsmälleen sama kuin sähköverkossa käytettävä 50 Hz (esimerkiksi Suomessa) tai 60 Hz (esimerkiksi USAssa), eikä epätahtimoottoreissa esiintyvää jättämää esiinny.

Tahtimoottorin rakenne staattorin osalta on samankaltainen kuin epätahtimoottorissa, mutta roottorin rakenteessa on olennainen ero. Tahtikoneen roottorin magnetointikäimitykseen johdettava magnetointivirta on tasavirtaa, joka muodostaa roottoriin pysyvän magneettivuon. Vaihtoehtoisessa ratkaisussa magnetointikäimitys on korvattu kestopagneeteilla. Lisäksi roottorissa on käynnistyskäimitys, joka on toteutettu oikosulkumoottorin häkkikäimityksen tapaan.

Tahtikoneen toimintaperiaate pohjautuu siihen, että staattorin ja roottorin magneettinapojen välille muodostuu magneettinen kytkentä. Tässä kytkennässä staattorin ja roottorin navat kytkeytyvät toisiinsa, minkä seurauksena staattorin ja roottorin magneettikentät pyörivät täsmälleen samassa tahdissa.

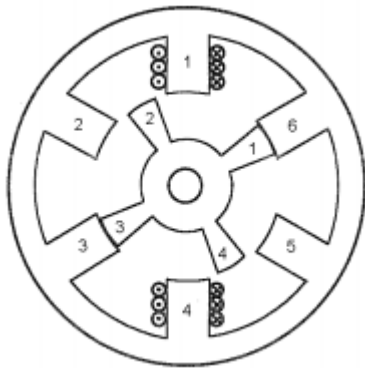
### 6.3.3 Reluktanssimoottori

Reluktanssimoottori on tahtikoneisiin kuuluva moottori, mutta muista tahtikoneista poikkeavan rakenteen takia tämä moottorityyppi mainitaan tässä erikseen. Reluktanssimoottorin periaate on keksitty jo 1920-luvulla J.K. Kostkon esitettyä pyörivään magneettikenttään perustuvan tahtireluktanssimoottorin. [6.]

Reluktanssimoottoreiden yleistyminen on ollut hidasta, mutta tehoelektronikan ja uusien ohjaustekniikoiden kehittymisen myötä tähän on tulossa muutos uusien sovelluskohteiden määrän lisääntymisen myötä. Reluktanssimoottoreita on kahta tyyppiä: 1) synkroninen reluktanssimoottori ja 2) avonapainen reluktanssimoottori. Kuvassa 7 esitetään ABB:n synkroninen reluktanssimoottori ja kuvassa 8 esitetään avonapaisen reluktanssimoottorin rakenne.



Kuva 7. ABB:n synkroninen reluktanssimoottori [7].



Kuva 8. Avonapaisen reluktanssimoottorin rakenne [8].

Reluktanssimoottorissa roottori on pelkkää rautaa, eikä siinä siis ole minkäänlaista käämitystä. Reluktanssimoottorilla on hyvä hyötysuhde, ja roottorista puuttuvan käämityksen seurauksena reluktanssimoottori toimii viileämpänä kuin samankokoinen induktiomoottori. Moottorin, sen osien ja eristysten käyttöikä riippuu pitkälti moottorin toimintalämpötilasta, joten reluktanssimoottori on yleensä pitkäikäisempi kuin samankokoinen induktiomoottori. Vaihtoehtoisesti reluktanssimoottorista voidaan ottaa enemmän tehoa kuin samankokoisesta induktiomoottorista, minkä seurauksena monissa käyttökohteissa on mahdollista valita käytettäväksi pienemmän runkokoon reluktanssimoottori.

Muita reluktanssimoottorin etuja induktiomoottoriin nähden ovat rakenteesta johtuva edullinen valmistuskustannus, pienempi roottorin hitausmomentti ja puuttuvat virtalämpöhäviöt. [4]

## 7 Sähkökäyttöjen sovelluskohteita teollisuudessa

Sähkökäyttöjen sovelluskohteet teollisuudessa voidaan jakaa yksinkertaisesti kahteen pääkategoriaan: 1) materiaalin siirtoon ja 2) materiaalin muokkaukseen. Monissa sovelluksissa nämä on liitetty toisiinsa jollain käyttökohteeseen sopivalla tavalla. Pääsääntöisesti kaikissa sähkökäytöissä on perimmäisenä liikkeenä on sähkömoottorin tuottama pyörivä liike, joka tarpeen mukaan muutetaan lineaariseksi liikkeeksi tilanteeseen sopivalla menetelmällä, esimerkiksi kuularuuvilla. Poikkeus tähän pääsääntöön on lineaarimoottori, jossa sähköisesti tuotetaan lineaarinen liike ilman pyöriviä osia. Lineaarimoottorissa staattorin ja roottorin napakäämit on asennettu lineaariseen johteeseen. Tällaisessa moottorissa ei ole pyörivää magneettikenttää, vaan magneettikenttä liikkuu lineaarisesti johdetta pitkin.

Esimerkkejä materiaalin siirtämisestä:

- hihnakuuljetin
- hissi
- pumppu

Esimerkkejä materiaalin muokkauksesta:

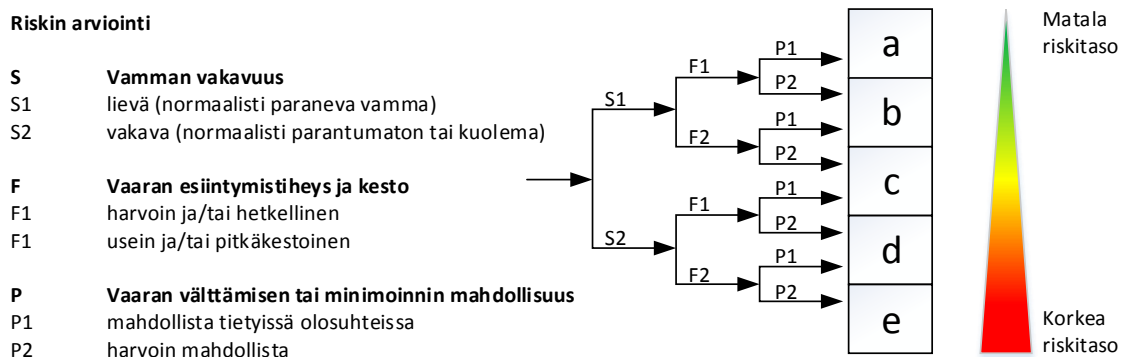
- automaattinen työstökeskus
- paperikone
- hitsauskone

Yhteistä näille kaikille sovelluskohteille on se, että niissä liike toteutetaan ohjatulla sähkökäytöllä. Hallitusti ohjattu liike puolestaan suorittaa materiaalille tarvittavan siirto- tai muokkaustyön.

## 8 Koneturvallisuus

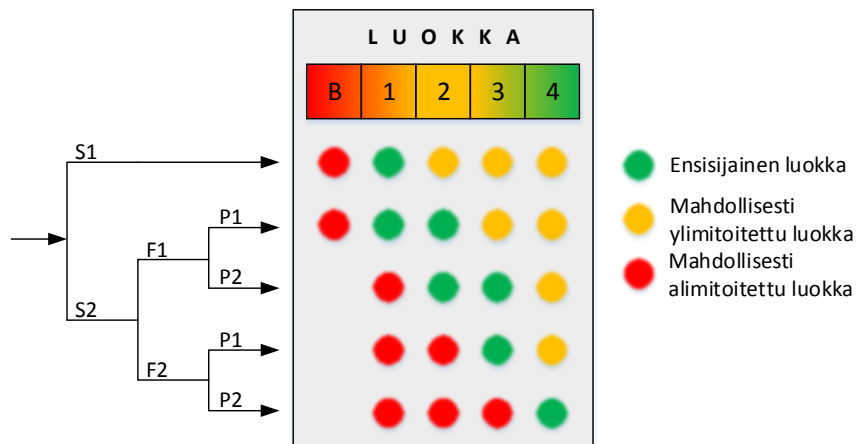
Kone- ja laitesuunnittelua tehtäessä on ihmisten, eläinten ja omaisuuden turvallisuuden oltava keskeinen suunnittelutyötä ohjaava tekijä. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY [9] ja siihen liittyvät myöhemmät lisäykset sisältävät olennaiset vaatimukset koneturvallisuudelle ja koneissa käytettäville turvatoimintoihin liittyville komponenteille. Edellä mainitussa direktiivissä määriteltyjen vaatimusten täyttäminen on välttämätön vaatimus koneiden vapaalle kaupalle EU alueella. Kone tulee olla suunniteltu ja rakennettu siten, että se on käyttötarkoitukseensa soveltuva eikä koneen käyttäminen tai käyttämiseen liittyvät muut toimenpiteet, esimerkiksi huoltaminen tai säätäminen, aiheuta tarpeetonta vaaraa ihmisille. Koneturvallisuus tulee huomioida koneen suunnittelussa alusta alkaen osana suunnitteluprosessia eikä lisätä turvallisuustekijöitä koneeseen jälkikäteen. Koneturvallisuuteen liittyvät asiat koskevat kaikkea kone- ja laitesuunnitteluun liittyvää tekemistä, niin mekaniikkaa kuin liikkeenohjausta ja niihin liittyviä sähkökäyttöjä.

Standardi EN ISO 13849-1 [10] määrittelee vaatimukset riskin vähentämiselle suunniteltaessa ja valmistettaessa koneturvallisuuteen liittyviä ohjausjärjestelmien osia. Tässä standardissa määritellään lisäksi riskien analysointiin ja arviointiin turvallisuusluokat, joihin turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien osat jaetaan niiltä vaadittavaan turvallisuuskäyttäytymiseen suhteutettuna vikojen esiintymiseen. Lähtökohtaisesti kaikkien koneiden turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien osien on oltava suunnittelultaan ja toteutukseltaan standardien mukaisia ja niiden on kestettävä koneen käyttötarkoituksen mukaiset käytöstä johtuvat rasitukset. Kuvassa 2 esitetään standardin EN ISO 13849-1 turvaluokitus.



Kuva 9. Standardin EN ISO 13849-1 turvaluokitus [10].

Monesti voi tulla vielä vastaan hiukan vanhemman standardin EN 954 [11] määrittämä turvaluokitus. Tämä esitetään kuvassa 10.



Kuva 10. Standardin EN 954 turvaluokitus [11].

Molempien standardien turvaluokkamääritelmässä turvaluokan valintaa ohjaavat parametrit ovat samat. Nämä parametrit on esitetty kuvassa 9. Uudemmassa standardissa turvaluokan valinta on hiukan hienojakoisempi vähemmän vakavien vammojen kohdalla.

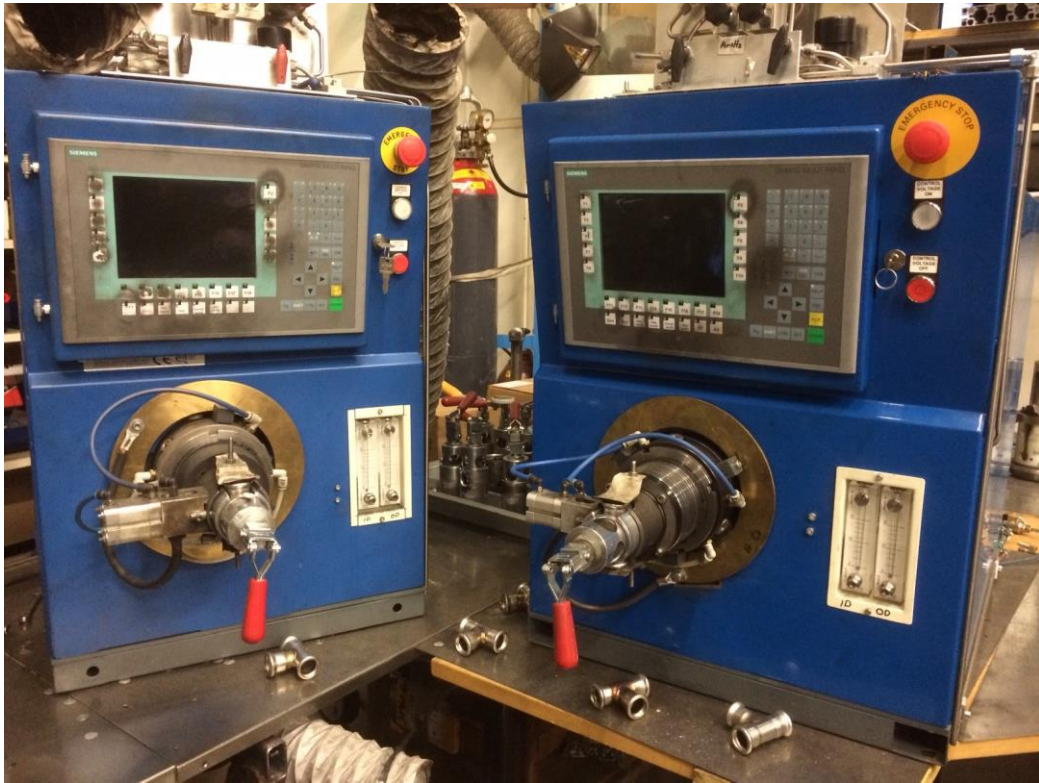
Koneturvallisuuteen on kiinnitettävä huomiota koneen koko elinkaaren ajan. Hyvin tehty konesuunnittelu ja -rakennus voidaan vesittää käyttöönottamisen jälkeisellä koneturvallisuuteen liittyvien asioiden laiminlyömisellä. Turvallisuusnäkökohtien on oltava osa suunnittelu- ja toteutusprosessia alusta alkaen eikä jälkikäteen lisättyjä asioita.

## 9 Työn kohteena oleva hitsauskone

### 9.1 Hitsauskoneen yleisesittely

Työn kohteena oleva hitsauskone suorittaa käyttäjän parametroitavissa olevia T-haarojen ja muiden putkistokomponenttien esivalmistuksessa tarvittavia hitsauksia putkihalkaisijoissa välillä 6 x 1...104 x 3 mm. Hitsaus tapahtuu joko yhden tai kahden akselin toimintana. Yhden akselin toiminnassa hitsaus tapahtuu pyörähdystasossa. Kahden akselin toiminnassa valokaarta ohjataan hitsattavien kappaleiden yhtymäuraa

pitkin. Kuvassa 11 esitetään kaksi hitsauskoneetta, jotka ovat samanlaisia kuin työn kohteena oleva kone.



Kuva 11. Kaksi hitsauskoneetta

Työn kohteena olevan hitsauskoneen erityispiirre on se, että kone suorittaa hitsaamisen putken sisäpuolelta. Syynä tähän ratkaisuun on se, että putken ulkopuolelta hitsattaessa joko putken runko- tai haarakappale olisi vaikeuttamassa hitsausvalokaaren ohjaamista. Sen sijaan putken sisäpuolella ei ole valokaaren ohjausta haittaavia esteitä. Lisäksi tällä ratkaisulla saavutetaan sellainen käytännöllinen etu ulkopuolelta tapahtuvaan hitsaukseen verrattuna, että hitsauksen tunkeutuminen hitsattavan materiaalin läpi on helposti todettavissa visuaalisesti hitsatun kappaleen ulkopintaa tarkastellen. Kuvassa 12 esitetään muutamia putkistokomponentteja, jotka on hitsattu työn kohteena olevan hitsauskoneen kaltaisella koneella.





Kuva 12. Hitsattuja putkistokomponentteja

Hitsausprosessi on täysin automatisoitu, eikä koneen operaattori osallistu tai vaikuta hitsausprosessiin millään tavalla hitsattavien kappaleiden koneeseen laittamisen ja käynnistyskäskyn antamisen jälkeen. Tämän takia hitsauskoneen operaattorilta ei myöskään vaadita erityistä hitsaustaitoa tai -koulutusta. Hyvä ja huolellinen asenne työntekoa kohtaan riittää. Operaattori asettaa hitsattavat kappaleet hitsauskoneeseen kasetissa, jossa kappaleet ovat mekaanisesti lukittuna toisiinsa nähden oikeaan asentoon ja hitsauskoneeseen nähden oikeaan asemaan hitsausprosessin ajaksi.

Hitsausprosessin aikana joko hitsattava kappale pyörähtää hitsauselektrodin ympäri valokaaren pysyessä paikallaan tai vaihtoehtoisesti hitsauselektrodi pyörähtää valokaaren kanssa itsensä ympäri. Molemmissa tapauksissa hitsauselektrodi voi tehdä pituussuuntaisen liikkeen ohjattaessa valokaarta laskettua liikerataa pitkin.

Hitsauskoneen ohjaus perustuu Siemensin liikkeenohjaustuotteisiin sisältäen mm. seuraavat ominaisuudet:

- Graafinen ohjauspaneeli koneen operoimiseksi ja hitsausprosessin etenemisen seuraamiseksi.
- Käyttäjän muokattavissa ja tallennettavissa olevat reseptit (hitsausohjelmat).
- 1-akselinen toiminta kauluksen hitsaukseen.
- 2-akselinen toiminta satulahitsaukseen sekä hitsausauman leventämiseen.

Reseptien muokkaaminen voidaan tehdä jo graafiselta käyttöpääteeltä tai Microsoft Exceliä käyttäen tavallisella toimistotietokoneella. Reseptien tallennus tehdään joko käyttöpääteeseen liitettävälle USB-muistille tai yrityksen lähiverkkoon. Koneessa itsessään ei ole erillistä muistia reseptien tallettamiseksi, poislukien ohjausyksikön muistiin talletettu aktiivinen resepti.

Tähän saakka näissä hitsauskoneissa on käytetty pääsääntöisesti Mitsubishin valmistamia servokäyttöjä, joiden ohjaus on perustunut ohjausyksikön antamaan analogiseen -10...+10 V:n asetusarvoon.

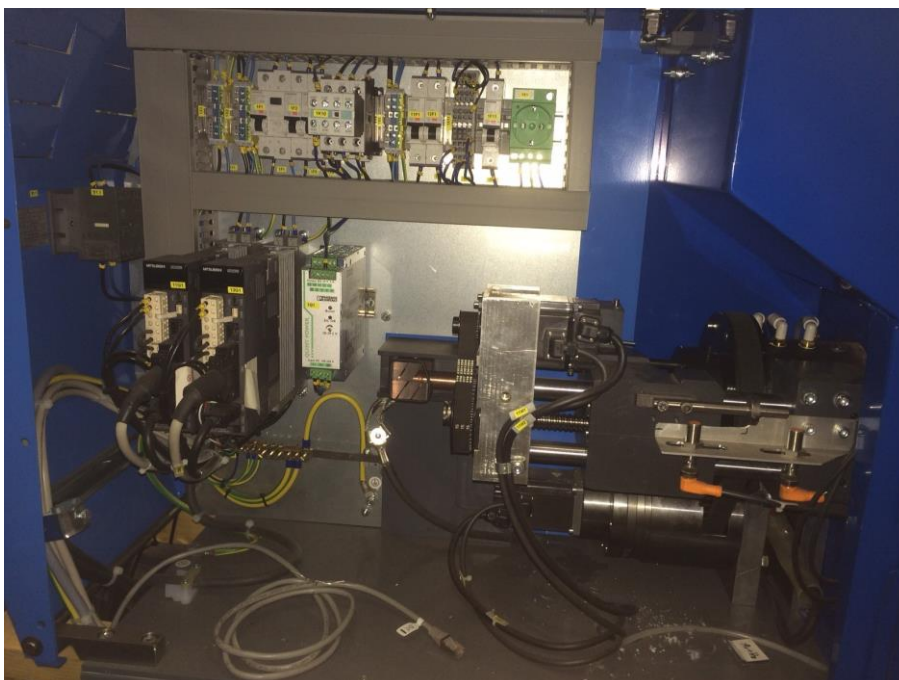
Hitsausvirtalähteenä hitsauskoneessa käytetään Suomessa valmistettua modernia Kemppi MinarcTig Evo 200MPL -laitetta. Hitsausvirtalähteen hitsausvirtaa ohjataan ohjausyksikön antamalla analogisella 0...+5 V:n asetusarvolla. Myös hitsaukseen liittyvä suojakaasun ohjaus on ohjausyksikön kontrolloima. Kaikki keskeinen parametroitava ohjaustieto on talletetaan reseptitiedostoihin.

Näitä koneita on asiakasyrityksen käytössä seitsemän kappaletta ja muualla maailmalla kymmenkunta yksikköä. Käytössä olevat koneet on valmistettu muutamassa erässä joten niiden välillä on pieniä eroja. Vanhimmat koneet eroavat myös koneen käyttämisessä olennaisesti viimeisimmistä koneista. Asiakasyrityksen koneet ovat kuitenkin näiltä osin samanlaisia.

## 9.2 Lähtökohta työlle

Työn alkuperäiseksi lähtökohdaksi asiakkaan puolelta asetettiin olemassa olevan hitsauskoneen sähköisten komponenttien päivitys ajantasaisiksi. Nykyiset koneet toimivat päivittäisessä tuotantokäytössä ilman erityisiä ongelmia. Keskeisten

komponenttien kohdalla on kuitenkin tapahtumassa olennainen muutos tulevia varaosatarpeita ajatellen. Näiden komponenttien status toimittajien puolella on muuttumassa varaosaksi, mikä tosiasiallisesti merkitsee niiden valmistamisen olevan päättyvässä ja varaosana hankittavien laitteiden hinta tulee jatkossa olemaan huomattavan kallis. Työn yksi motivaattori täten on ennakoida tulevia varaosatarpeita ja niiden kustannuksia. Lisäksi, kuten johdannossa jo mainittiin, yrityksellä on tarve lisätä hitsauskapasiteettia. Nyt toteutettavaa konetta tulee nopealla aikataululla seuraamaan kahden lisäkoneen rakentaminen. Edelleen alkuperäinen modernisoitavaksi ajateltu kone tultaneen modernisoimaan tuonnempana nyt suunnitelmissa olevien kolmen koneen toteuttamisen jälkeen. Kuvassa 13 esitetään nykyisen koneen sähkökäytöt, vasemmalla servovahvistimet ja keskellä servomootorit.



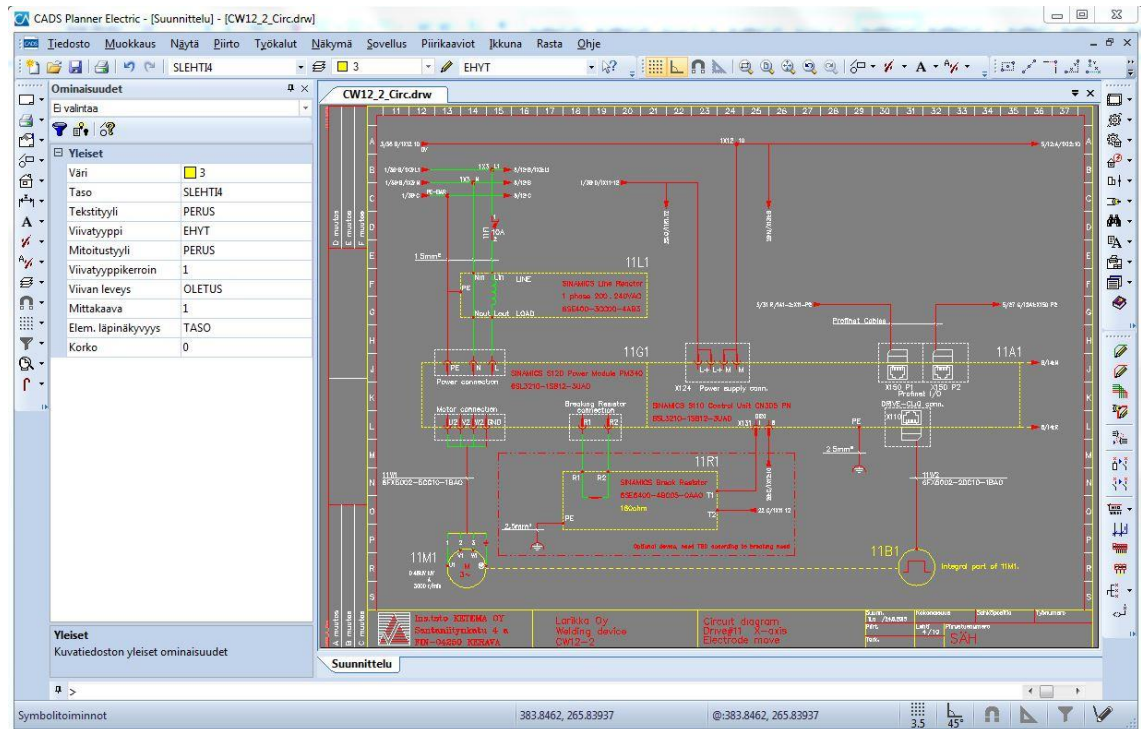
Kuva 13. Hitsauskoneen nykyiset sähkökäytöt.

Työn keskeinen lähtökohta on pitää koneen käytettävyyttä ennallaan koneen operaattorin kannalta. Täten koneiden päivittäisessä tuotantokäytössä ei tarvitse erikseen pohtia, kuka operaattori osaa tiettyä konetta käyttää ja toisaalta koneiden pääkäyttäjän on huomattavan paljon helpompaa ylläpitää koneita. Edelleen koneilla käytettävien reseptien tulee olla koneiden kesken vaihtokelpoisia eikä konekohtaisuuksia saa olla.

### 9.3 Sähkösuunnittelu

Sähkösuunnittelu toteutettiin CADS-sähkösuunnitteluohjelmiston piirikaavio- ja keskuslayout-sovelluksia käyttäen. Sähkösuunnittelu tehtiin tietokantapohjaisesti eli kaikki suunnitelmiin lisätyt laitteet ja komponentit vietiin CADSin tietokantaan. Kaikki sellaiset komponentit, joita ei löytynyt valmiiksi CADSin tai yrityksen omista symbolikirjastoista, luotiin tulevaa käyttöä varten sähkösuunnittelun yhteydessä. Suunnittelun valmistuessa tietokantojen suunnittelutyön aikainen aktiivinen käyttö mahdollisti helpon osaluettelon tuottamisen tarjouspyyntöjen liitteeksi. Sähkösuunnitelmat talletettiin PDF-muodossa tarjouspyyntöjen liitteeksi.

Sähkösuunnittelun lähtökohdaksi otettiin olemassa olevan hitsauskoneen sähkösuunnitelmat. Valtaosa näistä suunnitelmista oli hyödynnettävissä ilman muutoksia. Näihin suunnitelmiin tehtiin tarvittavat muutokset poistamalla vanhat servokäytöt kaikkine johdotuksineen ja lisäämällä nyt käyttöön otettavat Siemensin servokäytöt. Nyt käyttöön otettavat laitteet ovat sekä suunnittelu- että asennustyön kannalta tarkastellen huomattavasti helpommin käytettäviä verrattuna aikaisempiin laitteistoihin. Syynä tähän on se, että uusissa laitteissa käytetään Profinet -väyläratkaisua laitteiden väliseen tiedonsiirtoon ja DRIVE-CLiQ-liitäntää servo-ohjaimen ja -moottorin väliseen enkooderi ja ohjaustiedon siirtoon. Näiden tekijöiden seurauksena sähkösuunnittelu yksinkertaistui kun edellä mainitut ennen useita johtoja vaatineet kytkennät voidaan esittää kukin yhtenä johtimena. Asennustyön kannalta asia tällä kohdin oli jokseenkin sama, eli entisten useiden johtimien kytkemisen sijaan riittää, että laitteiden välisten kaapeleiden pikaliittimet kytkettiin liittimiinsä. Kuvassa 14 esitetään X-akselin piirikaavio CADS-sähkösuunnitteluohjelmistolla toteutettuna. Suunnitelmassa huomioitiin mahdollinen jarrustarve lisäämällä jarruvastukset molemmille akseleille. Näitä ei kuitenkaan todennäköisesti tarvita, sillä toimisto-olosuhteissa tapahtuneessa testauksessa välipiirin jännite ei noussut kertaakaan edes lähelle ylärajaansa. Jarruvastuksia ei asenneta hitsauskoneeseen aluksi, mutta tarvittaessa tähän asiaan palataan uudemman kerran. Servon tehollähteen syöttöpiiriin laitettiin kuristimet, joiden tarkoituksena on vähentää hitsauskoneen mahdollisesti aiheuttamien harmonisten yliaaltojen aiheuttamia ongelmia.



Kuva 14. X-akselin piirikaavio CADS-sähkösuunnitteluohjelmistolla toteutettuna.

Toinen sähkösuunnittelussa näkyvä muutos aikaisempaan hitsauskonetoteutukseen verrattuna on hitsausvalokaaren jännitteen- ja virranmittauksen toteuttaminen osana hitsauskonetta eikä osana käytettävää hitsausvirtalähdettä. Näin nämä mittausominaisuudet saadaan erotetuksi käytettävästä virtalähteestä, mikä taas mahdollistaa eri valmistajien virtalähteiden käyttämisen varsin helposti. Mitattavat jännite- ja virtatiedot ovat koneen käyttäjälle graafisesti esitettävää informaatiota, jonka tarkoitus on olla hitsausprosessin etenemisestä kertova suuntaa antava tieto eikä varsinainen ohjaustieto. Tähän kokonaisuuteen liittyy myös ohjelmiston puolella tehtävä muutos, jossa hitsauskoneen järjestelmäparametreihin lisätään käytettävän hitsausvirtalähteen analogisen ohjausjännitteen jännitealue. Aikaisemmin, käytettäessä vain Kempin valmistamia hitsausvirtalähteitä, tämä jännitealue on ollut aina 0...+5 V, eikä sitä ole erikseen parametrisoitu, vaan se on ollut ohjelmaan kiinteästi koodattu arvo. Nyt toteutusta muutetaan siten, että kulloinkin tarvittavan virta-arvon mukainen jänniteohje skaalataan asetetun jännitealueen mukaan. Tunnetuilla hitsausvirtalähteiden valmistajilla jänniteohjeen alue on 0...+5 V tai 0...+10 V. Virta-arvon asetusalue on myös määritelty järjestelmäparametreissa, ja tämä määräytyy käytettävän hitsausvirtalähteen mukaan. Hitsauskoneissa käytetyn Kempin virta-arvon asetusalue on 0...200 A.

Hitsauksessa käytettävän TiG-hitsausmenetelmän ominaisuus on valokaaren korkeataajuinen sytytyspulssi. Tämä pulssi on erittäin ongelmallinen ilmiö tietokonepohjaisten laitteiden kannalta, ja sen torjuminen vaatii huolellista suunnittelua ja toteutusta. Maadoitukset tulee toteuttaa erittäin huolellisesti, ja sähkölaitteiden asennuksen yhteydessä tulee pitää erityistä huolta siitä, että ohjaukseen käytettävät 24 V:n johtimet eivät kulje yhdessä korkeampi jännitteisten johtimien kanssa. Näin voidaan vähentää riskiä indusoitumisen seurauksena syntyvistä häiriöistä. Erityistä huomiota tulee kiinnittää servomoottoreiden syöttökaapeleiden ja hitsausvirtajohtimien asennukseen: ne tulee pitää erossa kaikista muista johtimista ja myös erossa toisistaan. Hitsauskoneen rungon alaosassa asennustilan pohjan alla on johdotuksia varten teräksiset kanavat, joissa johdotukset on helposti toisistaan erotettavissa suurimman osan johtimien pituudesta, mutta toki johdot tulevat näkyviin lopulta jossakin.

C240PN-logiikkayksikkö ja siihen välittömästi liittyvät laitteet ja sähköosat on sijoitettu koneen etuosassa ylhäällä olevaan umpinaiseen metallikoteloon kuvassa 11 näkyvän käyttöpaneelin taakse. Johdotukset logiikkayksikön ja muun koneen välillä kulkevat edellä mainituissa teräksissä kanavissa, ja ylösnousu logiikkayksikön metallikoteloon tapahtuu umpinaisessa teräskanavassa. Tämä kanava näkyy kuvan 13 oikeassa reunassa alhaalla.

#### 9.4 Yleistä Siemensin liikkeenohjausjärjestelmästä

Siemensin liikkeenohjausjärjestelmät perustustuvat SIMOTION logiikkayksikköihin. Siemensillä on kolme eri SIMOTION-tuotesarjaa: C-, D- ja P-sarjat.

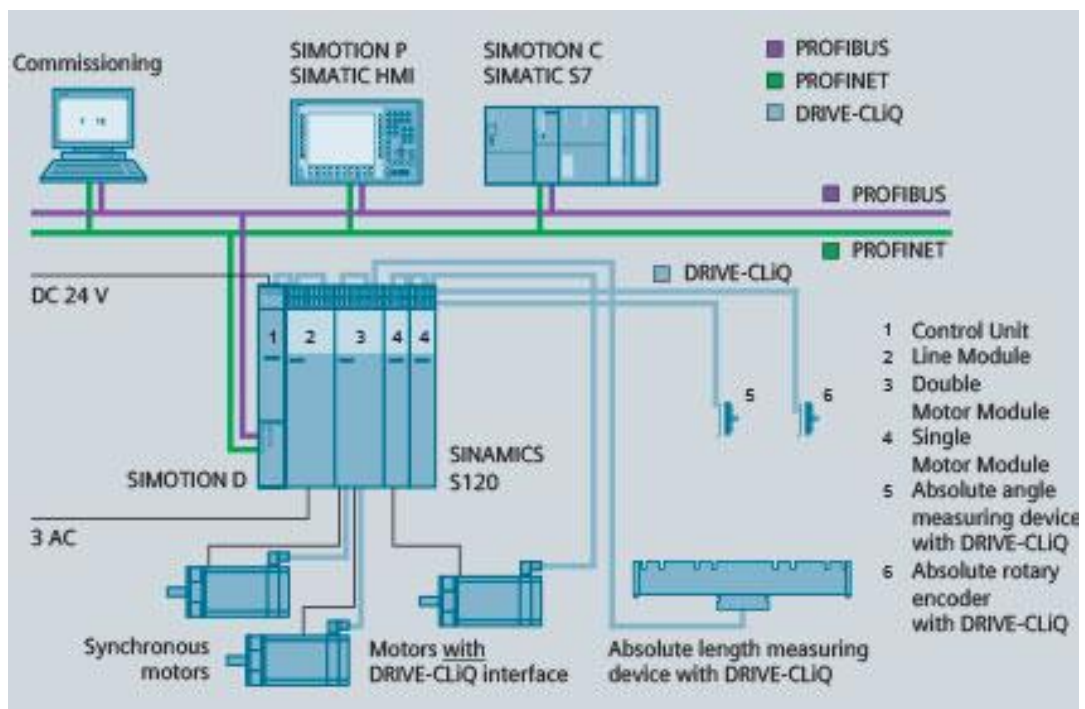
- SIMOTION C-ohjaimet perustuvat nyt jo varsin vanhaan ja hyväksi havaittuun SIMATIC S7-300 -rakenteeseen. Näissä ohjaimissa voidaan käyttää SIMATIC S7 -sarjan modulaarisia laajennusyksiköitä. Erilaisia käyttöpaneeleita voidaan liittää käyttäen laitteiden tukemia Profinet, Profibus tai ethernet -väyliä. C-sarjan laitteet kykenevät enintään 32:n akselin ohjaamiseen.
- SIMOTION P on PC-pohjainen, avoin liikkeenohjausjärjestelmä jota käytetään joko sulautetussa PC-ympäristössä tai tavallisessa Windows XP -ympäristössä. PLC, liikkeenohjaus, ja HMI toiminnat suoritetaan yhdessä laitteessa, joka yleensä on teollisuus-PC. P-sarjan laitteet kykenevät enintään 64:n akselin ohjaamiseen.

- SIMOTION D on kompakti, käyttöpohjainen ratkaisu, jota käytetään yhdessä SINAMICS S120:n kanssa. Tästä D-sarjasta on olemassa useampia variantteja, jotka kykenevät ohjaamaan jopa 128:n akselin järjestelmiä. [12.]

Yksinkertaisia sähkökäyttöjä on myös tehtävissä ilman SIMOTION yksikköä. Tällöin käyttö toteutetaan Siemensin tapauksessa SINAMICS yksiköllä, servovahvistimella ja servomoottorilla.

Siemensin uusissa laitteissa ohjausjärjestelmään liittyvien laitteiden välinen kommunikaatio tapahtuu Profinet-verkkoa käyttäen. Profinet-verkko on moderni Ethernet -pohjainen tiedonsiirtoväylä, joka on tarkoitettu automaatiojärjestelmien verkottamiseen teollisuusympäristössä. Profinet tukee kaikkia ethernet-verkon ominaisuuksia ja näiden lisäksi se tukee myös reaaliaikaista tiedonsiirtoa häiriöalttiissa teollisuusympäristössä.

Kuvassa 15 esitetään Siemensin järjestelmä yleisellä tasolla. Kuvasta näkyy selkeästi Siemensin järjestelmän joustavuus ja monipuolinen sovellettavuus erilaisiin käyttökohteisiin. Järjestelmää voidaan skaalata pienestä yhden logiikan laitteesta laajaan useiden ohjauslaitteiden, akseleiden ja käyttöpaneelien järjestelmiin.



Kuva 15. Siemens liikkeenohjausjärjestelmä jossa käytetään Profinet ja DRIVE-CLIQ-väyliä [13].

Kuvan esittämä järjestelmä on huomattavasti laajempi kuin työn kohteena olevassa hitsauskoneessa tarvitaan. Kuvassa esitetyssä järjestelmässä käytetään Profinet-väylän lisäksi vanhempaa Profibus-väylää. Useimmat Siemensin nykyisistä ohjauslaitteista tukee molempia väyliä. Syynä tähän on se, että uusissa järjestelmissä ollaan yhä enenevässä määrin siirtymässä Profinet-väylän käyttöön, mutta olemassa olevissa koneissa on paljon Profibus-väylään pohjautuvia ohjaus- ja kenttälaitteita sekä muita ratkaisuja käytössä. Näiden sinänsä toimivien laitteiden päivittäminen Profinet-väylään ei ole perusteltua vain päivittämisen takia.

### 9.5 Hitsauskoneen liikkeenohjausjärjestelmä

Hitsauskoneen ohjausjärjestelmä perustuu Siemens SIMOTION C240PN-ohjauslogiikkaan. Tässä yksikössä hoidetaan kaikki liikkeenohjaukseen liittyvät laskentatehtävät ja muihin toimintoihin liittyvät ohjaukset. Lisäksi tämä yksikkö huolehtii hitsauskoneen liittymisen yrityksen lähiverkkoon reseptitiedostojen lukemista ja tallettamista varten. Yksikössä on useita digitaalisia tuloja ja lähtöjä, mutta analogisia liitäntöjä siinä ei ole ollenkaan. Koneessa kuitenkin tarvitaan kaksi analogista lähtöä, joten ohjauslogiikkaan kytkettiin laajennusyksikkö täyttämään tämä tarve.

Molemmille servoakseleille on erilliset servo-ohjaimet ja -moottorit. Servo-ohjaimet ovat Siemensin pienintä SINAMICS S110 -sarjaa. Näissä servo-ohjaimissa käytetään CU305 -ohjauskorttia yksivaiheisen PM340 -teholähteen parina. Kummassakin ohjauskortissa on yksi analogiatulo (AI) sekä runsaasti digitaalisia tuloja ja lähtöjä, mikä on kyseessä olevaa hitsauskonekäyttöä ajatellen vähintäänkin riittävästi. Servomoottoreina käytetään SIMOTION 1FT/1FK synkronimoottoreita, joiden roottorissa käämitys on korvattu kestromagneeteilla ja staattorissa käämitys. Moottoreiden keskeiset kilpiarvot ovat:

- teho: 0.46 kW
- vääntömomentti: 1.4 Nm
- nimellinen pyörimisnopeus: 3000 rpm

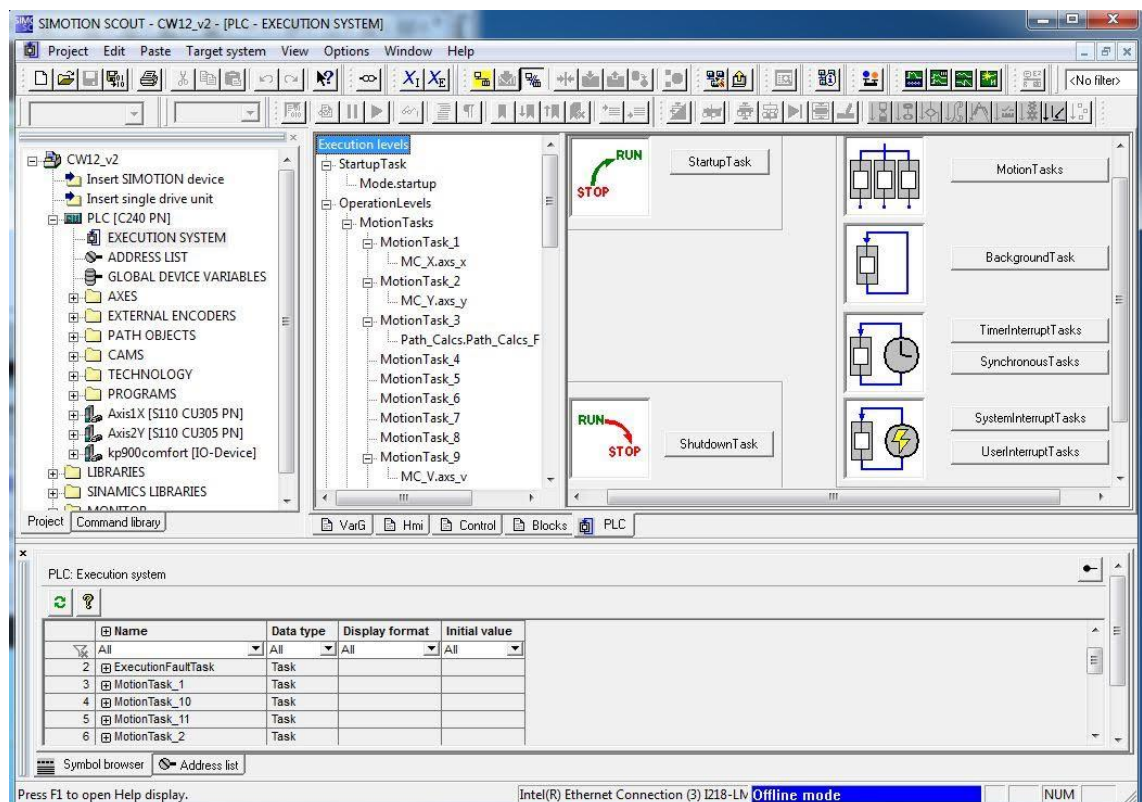
Nämä servomoottorit on valittu hitsauskoneessa aiemmin käytettyjen servomoottoreiden kilpiarvojen perusteella. Uusien moottoreiden teho- ja vääntöarvot ovat lähellä aikaisemmin käytettyjen moottoreiden arvoja, ollen kuitenkin nimellistä



pyörimisnopeutta lukuun ottamatta hiukan yli vanhojen moottoreiden vastaavien arvojen. Tällä suunnittelukierroksella ei erikseen laskettu moottoreilta vaadittavaa vääntömomenttia, koska tämä tiedettiin entisten servomoottoreiden perusteella. Toinen oleellinen valintaan vaikuttanut kriteeri oli moottoreiden fyysinen koko, sillä hitsauskoneessa on varsin rajallisesti tilaa servomoottoreille johtuen koneen kompaktista rakenteesta.

## 9.6 Ohjausjärjestelmä ja sen ohjelmointi

Ohjausjärjestelmä huolehtii kaikesta liikkeenohjaukseen liittyvästä laskemisesta ja käskemisestä. Ohjelmointi tapahtuu Siemensin SIMOTION Scout-ohjelmointiympäristössä, joka näkyy käyttäjälle tavallisena Windows-ohjelmana. Kuvassa 16 esitetään käyttäjänäkymä Scout-ohjelmointiympäristöstä.



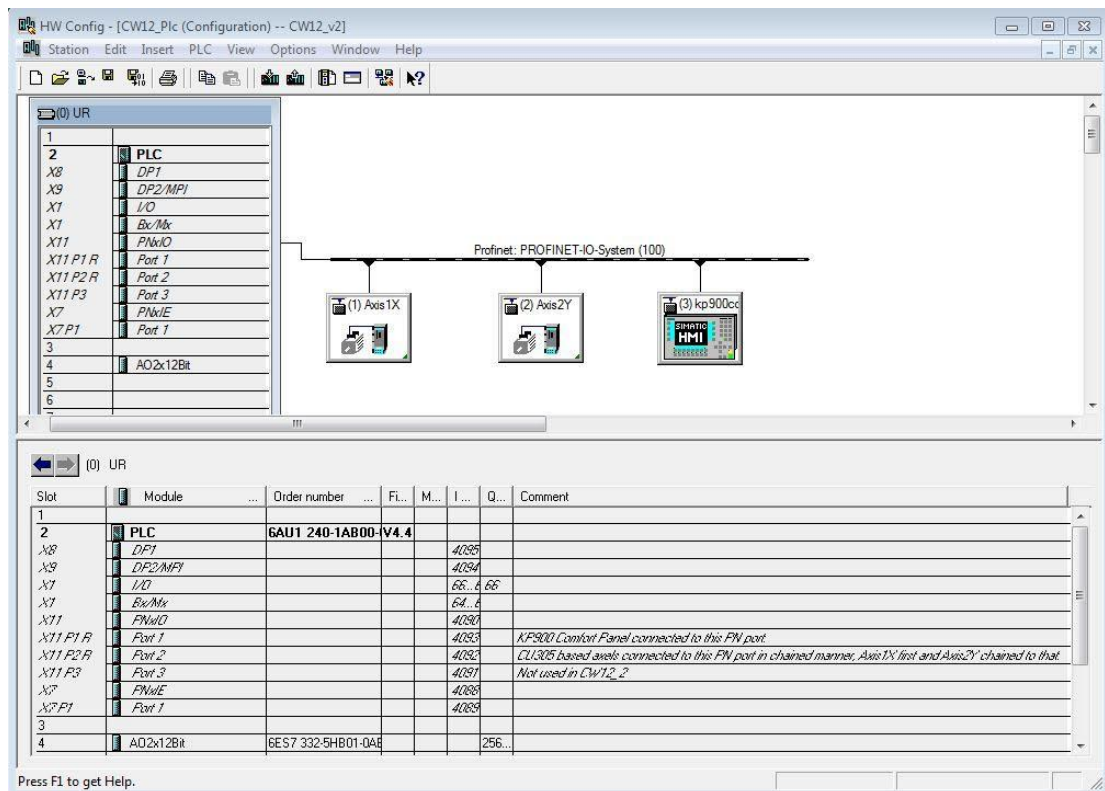
Kuva 16. SIMOTION Scout-ohjelmointiympäristö.

Kuva 16 esittää erilaiset Task-luokat kuvan oikeassa reunassa. Ohjaustehtävät suoritetaan näiden Taskien alla. MotionTasks-luokat ovat varsinaisten servoakseleiden ohjaamisen toteuttavat Taskit. Näillä MotionTaskkeilla ei ole aikarajaa, mihin mennessä

Task on suoritettava ilman aikavalvonnan (watchdog) aiheuttamaa järjestelmävirhettä. BackgroundTask on luokka, joka suoritetaan, kun sen suorittamiselle on aikaa, mutta sen suorittamisen on tapahduttava tietyssä määräajassa. Muuten ohjelma menee aikavalvonnan aiheuttamaan vikatilaan.

Alkuperäisessä ohjelmatoteutuksessa hyvin laskentaintensiivinen liikeradan laskenta oli toteutettu BackgroundTaskissa. Tämä oli johtanut siihen, että tämän Taskin suoritusajankaraja oli jouduttu nostamaan 600 ms:iin. Nyt toteutetun projektin yhteydessä tämä laskenta siirrettiin MotionTaskiksi, minkä seurauksena BackgroundTaskin suoritusajankaraja putosi alle 50 ms:iin. Liikeratalaskenta suoritetaan joka kerran, kun käyttäjä poistuu, vaikka vain vahingossa, koneen päänäytöltä. Kun tällainen päänäytöltä poistuminen havaitaan BackgroundTaskissa, tämä BackgroundTask käynnistää laskennan suorittavan MotionTaskin, mutta ei jää odottamaan laskennan valmistumista. Näin BackgroundTaskin suoritusajankaraja saatiin lyhennettyä enimmillään muutamaan kymmeneen millisekuntiin.

Ohjausjärjestelmän luoti Scout-ympäristöön alkaa HW-konfiguraation tekemisestä. HW-konfiguraatiossa luodaan graafinen esitys järjestelmään kuuluvista laitteista ja niiden välisistä kytkennöistä. Profinet-verkon toimivuus on tarkka siitä, että HW-konfiguraation kytkennät ja laitteiden todelliset fyysiset kytkennät ovat yhtäläiset. Tässä asiassa Profinet eroaa olennaisesti ethernet-verkosta, joka ei ole samalla tavalla herkkä laitteiden väliselle kytkentäjärjestykselle. Kuvassa 17 esitetään hitsauskoneen HW-konfiguraatio.



Kuva 17. Hitsauskoneen HW-konfiguraatio Scout-ohjelmointiympäristössä.

HW-konfiguraatiossa näkyy laitteiden käyttämät muistiosoitteet. Esimerkiksi analogialaajennusyksikön (AO2x12bit) käyttämä muistialue alkaa muistipaikasta 256 ja on neljän tavun kokoinen (tämä kokotieto ei näy kuvassa 17 koska Q- eli lähtöosoitteen sarake on liian kapea tämän näkymiseksi). Kullekin Profinet-väylään liitettävälle laitteelle annetaan IP-osoite ja symbolinen nimi. Laitteisiin viittaaminen ohjelman sisällä tapahtuu tätä symbolista nimeä käyttäen.

Projektissa käytettiin liikkeenohjauksen ohjelmointiin seuraavia ohjelmointikieliä:

- Structured Text (ST),
- Ladder (LAD),
- Function Block Diagram (FBD) ja
- Motion Control Chart (MCC).

Kullakin ohjelmointikiielellä on oma paikkansa toteutuksessa. Vaikka koko ohjelmointi olisi tehtävissä käyttäen vain yhtä kieltä, ovat tietyt ohjelman osat helpompia toteutettavia jollain tietyllä kielellä.

Suurin osa liikkeenohjauksen ohjelmakoodista saatiin uudelleen käytettyä aikaisemmasta toteutuksesta. Tämä osaltaan vaikutti siihen, että missään ohjelman osassa ei vaihdettu ohjelmointikieltä vain vaihtamisen takia. Profinet-väylään pohjautuva laitteiden välinen kommunikaatio aiheutti pieniä muutoksia ja uudelleenmäärittämiä muutamiin konfiguroinnin yksityiskohtiin. Myös nyt käyttöönotetun paneelin erot aikaisempaan verrattuna aiheuttivat pieniä muutoksia useisiin paikkoihin ohjelmatoteutusta.

Scout-ohjelmointiympäristöön on integroitu kahdeksankanavainen oskilloskooppitoiminnallisuus. Tällä oskilloskoopilla voidaan testausvaiheessa seurata monia muuttujia, esimerkiksi servon asemaa, kiihtyvyyttä tai sen ottavaa virtaa. Oskilloskooppia käytettiin testaamisen aikana erityisesti servoakseleiden aseman seuraamiseen.

## 9.7 Liikeradan laskenta

Liikkeenohjauksen ytimessä on ajettava liikerata ja tämän radan laskenta. Siemensin järjestelmässä liikeradan pisteet lasketaan CAM-taulukkoon ennen liikkeenohjauksen käynnistämistä. Liikkeenohjaus suorittaa akselien ohjaustoiminnan tämän CAM-taulukon mukaan, eikä tätä ohjausta tarvitse erikseen ohjelmoida.

Hitsauskoneen liikerata muodostuu kehäpisteistä, jotka ovat joko pyörähdystasossa tai sinikäyrää muistuttavassa kehässä mukailien hitsattavien putkien keskinäistä leikkauslinjaa. Hitsauskoneen liikerata toteutetaan joko yhden tai kahden akselin liikkeenä.

- Yhden akselin toteuttama liikerata on kyseessä silloin, kun hitsaus tapahtuu tasossa ilman hitsaussauman levittämistä. Tasossa tapahtuvaa hitsaamista varten runkoputkeen tehdään kaulus, johon haarakappale hitsataan kiinni. Tällöin hitsaus tapahtuu hitsattavien kappaleiden välisessä saumakohdassa, jonka kohdalla valokaari tekee pyörähdysliikkeen tai vaihtoehtoisesti hitsattavat kappaleet pyörähtävät valokaaren pysyessä paikallaan.
- Kahden akselin toteuttama liikerata on kyseessä silloin, kun hitsaus tapahtuu tasossa ja hitsaussaumaa levitetään tai vaihtoehtoisesti hitsauksen tapahtuessa hitsattavien putkenosien leikkaussaumassa, joko hitsaussaumaa levittäen tai ilman tätä levittämistä. Tällaisessa hitsaamisessa runkoputkeen on tehty reikä, jonka kohdalle muotoiltu

haarakappale hitsataan kiinni. Kuvassa 18 esitetään yhden ja kahden akselin liikkeellä tapahtuneet hitsaukset.

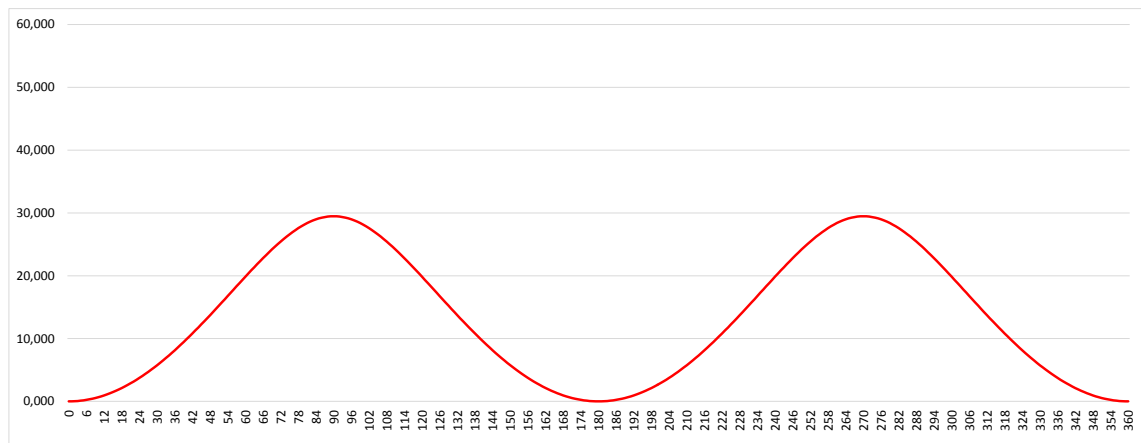


Kuva 18. Yhden akselin liikeradalla (vasemmalla, kaulus) ja kahden akselin liikeradalla (oikealla, satula) tehdyt hitsaukset. Oikean puoleisessa kuvassa esitetään myös kahden akselin liikeradalla tehtävään hitsaukseen valmistetut komponentit.

Käyttäjän antamien kappaleiden halkaisijatietojen ja halutun hitsausmuodon (kaulus tai satula) perusteella ohjelma laskee tarvittavan liikeradan. Liikerata lasketaan aina 3 600:aan pisteeseen hitsattavan ympyrän kehälle. Isolla putkikoolla, esimerkiksi kuvan 18 vasemman kuvan isomman putken (halkaisija 104 mm) kohdalla, tämä tarkoittaa yli kymmentä laskettua ratapistettä jokaista hitsattavaa kehämillimetriä kohden, hitsattavan kehäpituuden ollessa 327 mm. Pienemmällä putkella pisteiden määrä kehämillimetriä kohden on vielä suurempi, koska pisteiden kokonaismäärä on aina vakio 3 600 kappaletta. Kahden akselin toteuttaman liikeradan tapauksessa rata muodostaa hitsattavien kappaleiden halkaisijoiden suhteesta säännöllisen käyrän, jonka korkeus (amplitudi) on X-akselin liikkeen mitta. Käyrän laskenta pohjautuu trigonometriaan ja sini-funktioon, vaikka kuva 19 ei ensi silmäyksellä puhtaasti sinikäyrältä näytäkään. Kuvissa 19 ja 20 esitetään kahden akselin liikeradat joissa ei käytetä hitsaussauman levennystä. Nämä liikeratojen kuvaajat ovat tehty MS Excelissä ja laskenta on tehty ”vain” 360:n pisteen kohdalle, siis vain joka kymmenennen ratapisteen kohdalle verrattuna hitsauskoneessa tapahtuvaan laskentaan.

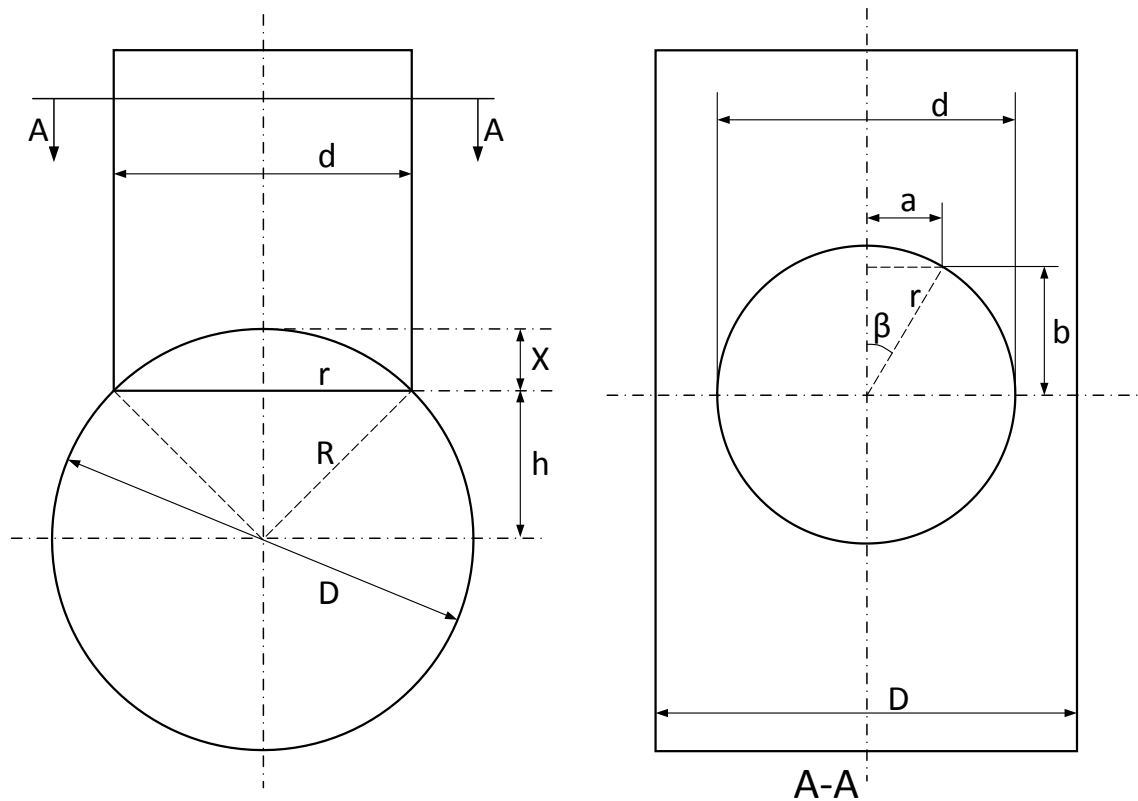


Kuva 19. Kahden akselin liikerata,  $D=114.3$  mm,  $d=114.3$  mm



Kuva 20. Kahden akselin liikerata,  $D=114.3$  mm,  $d=100.0$  mm

Molemmissa kuvissa 19 ja 20 esitetyissä liikeradoissa runkoputken halkaisija  $D$  on 114.3 mm ja kuvien mittakaava on sama. Kuvan 19 haaraputken halkaisija on 114.3 mm ja kuvan 20 haaraputken halkaisija on 100.0 mm. Kuten kuvista näkyy, X-akselin suorittama liike jälkimmäisessä tapauksessa on huomattavasti pienempi (57.2 mm vs. 29.5 mm). Selitys tähän eroon selviää kuvasta 21, jossa esitetään T-haaran kaaviokuva, runkoputken ja haaraputken suhteet sekä liikeradan laskennan kannalta keskeiset muuttujat.

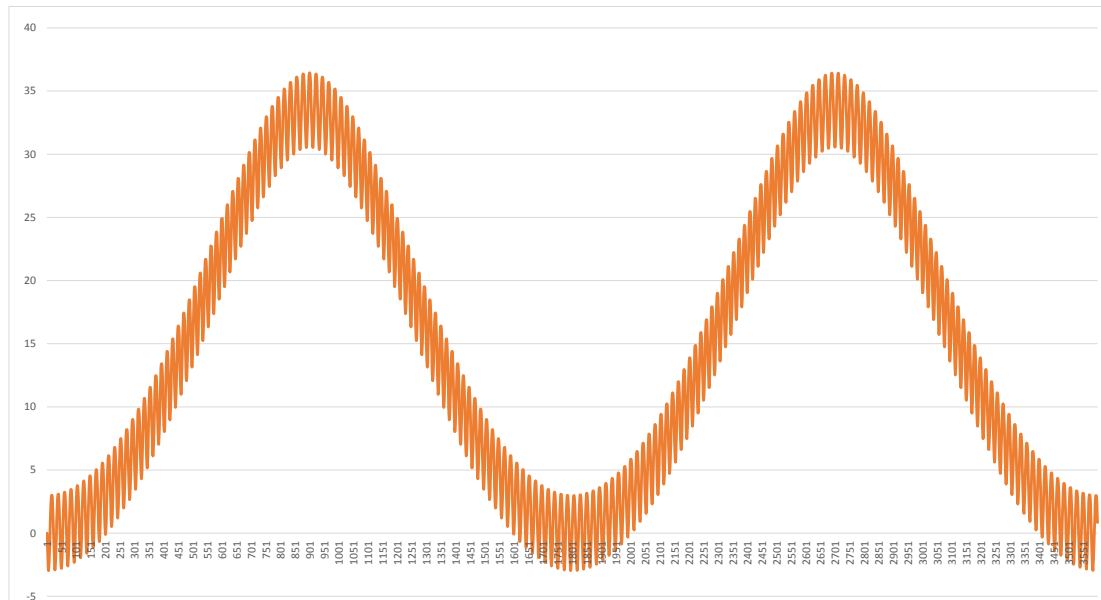


Kuva 21. T-haaran kaaviokuva.

Kun tarkastellaan kuvan 21 vasemmanpuoleista kaaviota, havaitaan selvästi kaavioon X:llä merkitty mitta, joka on siis X-akselin liikepituus, riippuvan voimakkaasti putkien halkaisijoiden välisestä suhteesta. Tämä selittää kuvien 19 ja 20 eron X-akselin suorittaman liikkeen pituuden osalta.

Kahden akselin liikkeessä hitsattava kokonaismatka on pidempi kuin yhden akselin liikkeessä. Yhden akselin liikeradan pituus on haaraputken kehän mittainen. Kahden akselin liikkeessä liikeradan pituus on hitsattavien kappaleiden leikkausuran mittainen. Esimerkiksi kuvan 18 vasemmassa ruudussa esitetty 104 mm runko- ja haarahalkaisijoiden kohdalla yhden akselin liikeradan pituus on 327 mm. Samankokoisilla putkilla kahden akselin liikerataa käytettäessä hitsattava matka on noin 397 mm, mikä on selvästi enemmän kuin yhden akselin tapauksessa. Hitsausaumaa levennettäessä hitsausmatka pitenee edelleen valokaarta ohjattaessa käyttäjän antaman parametrin mukaisen amplitudin verran perusliikeradan molemmin puolin. Ohjelma interpoloi ohjausradan laskettujen ratapisteiden välille.

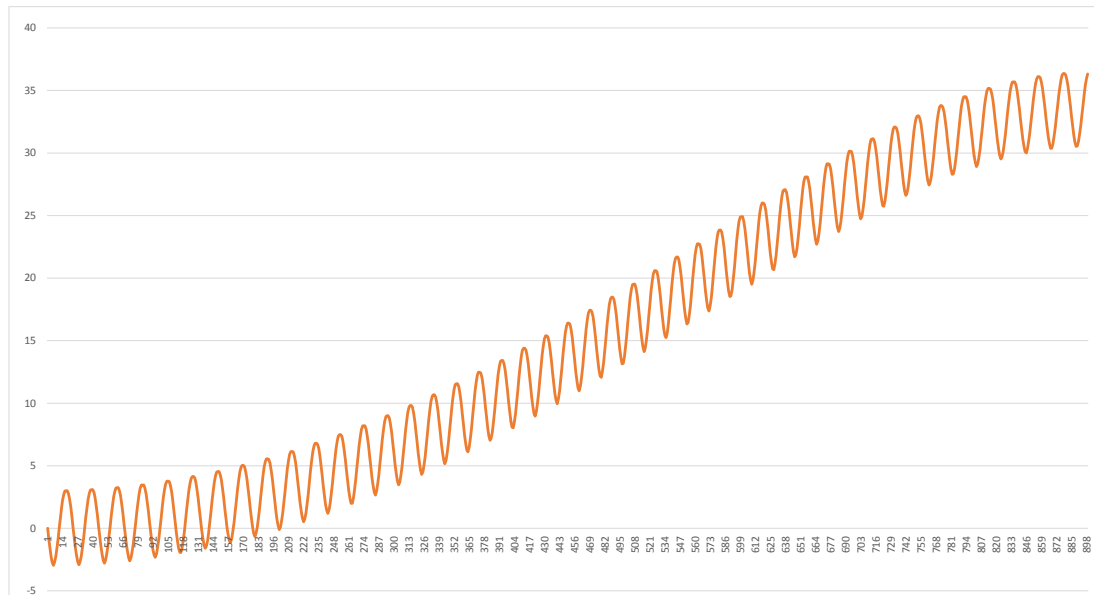
Kuvassa 22 esitetään kahden akselin liikerata, joka on laskettu SIMOTION C240PN-ohjausyksikössä hitsauskoneen liikeratalaskentaa käyttäen. Kuvan tapauksessa runkoputken halkaisijaksi on asetettu on 104 mm ja haaraputken halkaisijaksi 97 mm. Kuvan tapauksessa hitsausauman levennykseksi on asetettu +/-3 mm perusliikeradasta.



Kuva 22. Hitsauksen liikerata jossa hitsausaunaa levennetään.

Kuvassa 23 esitetään suurennos kuvan 22 esittämän liikeradan alkupäästä ensimmäisen 900 ratapisteen osalta.





Kuva 23. Suurennos kuvan 19 alusta ratapisteiden 0...900 kohdalta (0...90 astetta).

Kuten kuvista 22 ja 23 selvästi näkyy, hitsausauman levennys muodostaa asetusravon mukaisen amplitudin suuruisen sinikäyrän perusliikeradan päälle.

Liikkeenohjausradan laskenta on toteutettu ST-ohjelmointikielellä. Tämä kieli muistuttaa läheisesti Pascal-kieltä, ja se tarjoaa kaikki trigonometriset funktiot, joihin liikeradan laskenta pääsääntöisesti perustuu. Kuvan 21 kaaviokuvia ja niissä esiintyviä muuttujia tarkastellen on koko hitsauskoneen liikeradan laskenta tehtävissä perustrigonometriaa käyttäen.

## 9.8 Käyttöliittymä ja sen ohjelmointi

Hitsauskoneen käyttöliittymäksi on valittu Siemens SIMATIC HMI -tuotesarjaan kuuluva KP900 Comfort Panel -käyttöpäätte. Tämänkin valinnan taustalla oleellisena tekijänä oli laitteen fyysinen koko: uuden paneelin täytyi mahtua aiemmin käytetyn paneelin asennustilaan. Toinen valinnan taustalla vaikuttanut tekijä on se, että uuden paneelin näppäimet ovat oleellisilta osin entisen paneelin kaltaiset sijoittelultaan ja täten koneen operaattorin kannalta uuden koneen käyttäminen on samanlaista kuin vanhempien koneiden käyttäminen. Paneelissa on Windows CE -käyttöjärjestelmä, jonka alla käyttöliittymäohjelma suoritetaan. Windows CE on monilta ominaisuuksiltaan PC-koneissa käytettävään Windowsiin verrattuna rajoitettu versio. Tämä ei sinällään vaikuta käytettävyyteen hitsauskoneessa nykyisellä ohjelmistolla. Asiakkaan puolelta

on yksi muutospyyntö, jossa tähän Windows CE:n rajoittuneisuuteen törmättiin. Aikataulun pitämiseksi kyseinen muutospyyntö jätettiin tehtäväksi myöhempänä ajankohtana.

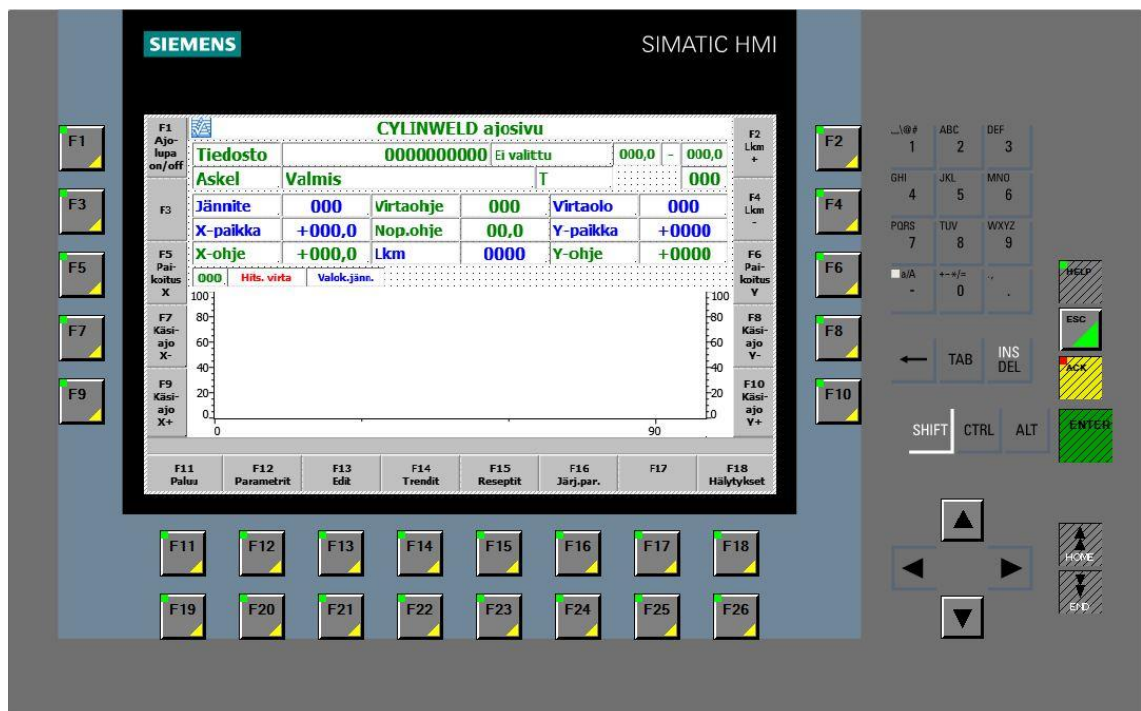
Käyttöliittymän ohjelmointi tapahtuu Siemens TIA- (Totally Integrated Automation) ympäristössä. Tässä ympäristössä voidaan periaatteessa luoda koko liikkeenohjausjärjestelmä, mutta hitsauskoneessa käytettävä C240PN-logiikkayksikkö ei ole tuettuna TIA-ympäristössä ainakaan tällä hetkellä. Tähän ehkä tulee muutos TIA:n tulevissa versioissa. Tässä projektissa toteutettiin pelkästään käyttöliittymä TIA-ympäristössä.

TIA-ympäristössä järjestelmän luonti alkaa kuten Scout-ympäristössä, eli HW-konfiguraation luomisella. HW-konfiguraatiossa luodaan graafinen esitys järjestelmään kuuluvista laitteista ja niiden välisistä kytkennöistä. Hitsauskoneen tapauksessa TIA ympäristön HW-konfiguraatiossa on vain KP900 käyttöpaneeli ja Proxy-yksikkö, jonka taakse kaikki Scout-ympäristön puolella toteutettu toiminnallisuus piiloutuu. Tämän Proxy-yksikön tarve tuli projektin tekijöille yllätyksenä, sillä alkuperäinen ymmärrys oli, että koko järjestelmä voitaisiin toteuttaa TIA-ympäristössä. Asian selvittelyyn meni useita päiviä, eikä asia Siemensin teknisessä tuesta tuntunut olevan sielläkään aivan selvä.

Kommunikaatio käyttöpaneelin ja logiikkayksikön välillä tapahtuu Profinet-verkon välityksellä käyttäen symbolisia muuttujia, joiden muistiosoituksen järjestelmä tekee automaattisesti. Varsinainen muuttujien määrittely tapahtuu Scout-ympäristössä, mutta haluttaessa käyttää muuttujaa TIA-ympäristössä täytyy kyseinen muuttuja tehdä näkyväksi TIA:ssa. Vain sellaiset muuttujat, joita tarvitaan TIA-ympäristössä täytyy tehdä siellä näkyviksi. Jos Scout-ympäristössä tehdään tähän rajapintaan muutos, täytyy muuttunut rajapinta päivittää myös TIA-ympäristöön, vaikka muutos ei sinällään koskisikaan TIA-ympäristössä olevaa ohjelmakoodia. Syynä tähän päivitystarpeeseen on se, että rajapinnan muutos vaikuttaa käytännössä aina edellä mainittuihin symbolisten muuttujien muistiosoitteisiin.

Vanhan hitsauskoneen käyttöliittymän toteutuksesta saatiin hyvä pohja uudelle toteutukselle. Vanhat näyttötoteutukset skaalattiin uuden näytön resoluution mukaisiksi, mutta muuten ne olivat uudelleen käytettävissä. Vanhan käyttöliittymän toteutuksessa on tuettuna kolme kieltä (suomi, englanti ja saksa) ja käytettävän kielen valinta näiden

vaihtoehtojen välillä toimi sellaisenaan järjestelmäparametreista. Paneelin näppäinten määrittelyssä oli tapahtunut jonkin verran muutoksia, joten aikaisemman toteutuksen ohjelmakoodit jouduttiin käymään tarkasti läpi, jotta toiminnallisuudet saatiin kohdalleen. Aivan kaikkiin näppäimiin ei uudessa paneelissa pääse käsiksi ohjelmakoodista, joten tämäkin osaltaan aiheutti pieniä muutoksia muutamiin yksityiskohtiin. Lisäksi asiakkaan puolelta oli muutamia ohjelmatoteutukseen vaikuttavia toiveita uuden koneen kohdalla toteutettavaksi. Näistä osa tehtiin ja osa jätettiin tehtäviksi myöhemmin. Kuvassa 24 esitetään hitsauskoneen käyttöpaneeli, jossa on päänäyttö valittuna.



Kuva 24. Hitsauskoneen käyttöpaneeli, jossa päänäyttö valittuna.

Käyttöpaneelin ohjelmiston toimintaan saattaminen oli suoraviivainen tehtävä sen jälkeen kun Profinet-verkon yhteys saatiin toimimaan. Pientä haastetta aiheutti näppäinpainallusten lukeminen logiikkayksikölle. Tähän oli tullut muutos vanhaan systeemiin verrattuna, ja osaa näppäimistä ei nyt saatu luettua ollenkaan, koska aivan kaikki uuden paneelin näppäimet eivät ole suoraan luettavissa logiikkayksikölle. Tämän seurauksena yksi käyttötilanne tulee olemaan erilainen vanhan ja uuden koneen välillä.

## 10 Käyttöönotto

Hitsauskoneen käyttöönotto ei tapahtunut tämän työ tekemisen aikana. Työn valmistuessa kone oli alihankkijalla sähkölaitteiden asennuksessa. Projekti jatkuu käyttöönoton osalta työn valmistumisen jälkeen. Käyttöönotossa ei odoteta olevan suurempia ongelmia, mutta varmasti joitain pienempiä yllätyksiä tulee selviteltäväksi.

## 11 Yhteenveto

Työn aluksi luotiin katsaus sähkökäyttöihin ja eri tyyppisiin sähkömoottoreihin sekä koneenrakennukseen liittyviin turvallisuusnäkökohtiin ja sähkökäytön mitoittamiseen esimerkin avulla. Käytetty esimerkki sopii myös työn kohteena olleeseen hitsauskoneeseen, jossa on esimerkin tyyppinen kuularuuvikäyttö X-akselilla. Työssä perehdyttiin modernin liikkeenohjausjärjestelmän toteuttamiseen Siemens-tuotteita käyttäen. Työn pohjana oli aikaisempi vastaavan koneen toteutus, joka tarjosi erittäin hyvän lähtökohdan työn tekemiselle.

Työn toteuttamisen aikana opittiin paljon Siemensin liikkeenohjausjärjestelmän ominaisuuksista ja ohjelmoinnista. Siemensin järjestelmään sisäänpääsemiseksi täytyy ymmärtää varsin paljon asioita ja asioiden välisiä yhteyksiä. Nämä asiayhteydet eivät aina ole aivan itsestään selviä. Hyvällä syyllä voi siis sanoa, että aloituskynnys Siemensin laitteiden kohdalla on varsin korkea. Valintoja ja vaihtoehtoja on paljon. Työn valmistuminen viivästyi suunnitellusta aikataulusta useita viikkoja. Ongelmaksi paljastui lopulta X-akselin määrityksissä yksi väärässä kohdassa oleva konfiguraation valinta. Kokeneempi alan ammattilainen totesi, ettei tämä ole mitenkään tavatonta, sillä kyseessä on erittäin monimutkainen kokonaisuus.

Hitsauskoneen koko ohjausjärjestelmä testattiin toimistoympäristössä ilman mekaniikkaa. Kaikki toiminnot testattiin ja vasteet suoritettuihin testeihin olivat odotusten mukaiset. Käyttöönotto mekaniikan kanssa jatkuu tämän työn valmistumisen jälkeen.

## Lähteet

- 1 Yrityksen kotisivu. 2015. Insinööritoimisto Ketema Oy. <[www.ketema.fi](http://www.ketema.fi)>. Luettu 15.10.2015.
- 2 Karppinen Jukka. 2014: Sähkökäyttöjen perusteet. Luentomateriaali 02 Fysiikkaa, s. 3-4. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 3 Teknisiä tietoja ja taulukoita. 1990. ABB Oy. ISBN 961-99366-0-2
- 4 Karppinen Jukka. 2014: Sähkökäyttöjen perusteet. Luentomateriaali 06b EC-moottorit, s. 2. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 5 Korpinen Leena. Verkkodokumentti. <[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/10sahkokoneet\\_2osa.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_2osa.pdf)>. Luettu 31.10.2015.
- 6 Jarkko Sivunen: < <http://www.tritonia.fi/download/gradu/4563>>. Luettu 05.11.2015.
- 7 ABB industry specific drives. 2014. Verkkodokumentti. ABB Oy. <[https://library.e.abb.com/public/607195aca11cd4fac1257cd30023aa5b/ACQ810\\_catalog\\_3AUA0000160101\\_EN\\_RevA.pdf](https://library.e.abb.com/public/607195aca11cd4fac1257cd30023aa5b/ACQ810_catalog_3AUA0000160101_EN_RevA.pdf)>. Sivü 32. Luettu 19.11.2015.
- 8 Sainio Veli-Matti. 2010. Verkkodokumentti. Hybridiaskelmoottorin mallinnus ja ohjaus nosturisovelluksessa. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Teknillinen korkeakoulu, s. 4. Luettu 19.11.2015.
- 9 EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2006/42/EY. 2006. Verkkodokumentti. <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0042&from=fi>>. Luettu 30.10.2015.
- 10 Safety in control systems according to EN ISO 13849-1. 2011. Verkkodokumentti. ABB Oy. <[https://library.e.abb.com/public/f282e8fb773fa733c1257996004307a6/EN\\_ISO\\_13849-1\\_2TLC172003B02002.pdf](https://library.e.abb.com/public/f282e8fb773fa733c1257996004307a6/EN_ISO_13849-1_2TLC172003B02002.pdf)>. Luettu 29.10.2015.
- 11 Suomen Standardisoimisliitto SFS RY. 2008. SFS-Käsikirja 93-6: Koneiden turvallisuus. Osa 6: Ohjausjärjestelmät. Sivü 544. ISBN 978-952-5650-64-8.
- 12 SIMOTION, SINAMICS S120 & SIMOTICS Equipment for Production Machines. 2013. Verkkodokumentti. Siemens AG. <<https://www.industry.siemens.com/datapool/industry/drives/Docs/MC/PM21-2013-complete-en.pdf>>. Sivut 704-756. Luettu 17.10.2015.

- 13 Siemens Answers with SINAMICS DRIVE-CLiQ Motor-Drives Open Encoder Integration System. 2014. Verkkodokumentti. Siemens AG.  
<<http://www.industry.usa.siemens.com/drives/us/en/electric-drives/ac-drives/high-performance-and-servo-drives/drive-cliq-motor-drive-integration-system/pages/drive-motor-integration.aspx>>. Luettu 31.10.2015.

