



## **AVANT ROBOT 185**

Purkurobotin kehittäminen ja sähkösuunnittelun tarkastaminen tuotantoa varten

Juuso Tikka

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2013  
Sähkötekniikka  
Älykkäät koneet

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Älykkäät koneet suuntautumisvaihtoehto

TIKKA, JUUSO:

Avant robot 185

Purkurobotin kehittäminen ja sähkösuunnittelun tarkastaminen tuotantoa varten

Opinnäytetyö 52 sivua

Toukokuu 2013

---

Tämän opinnäytetyön tilasi Avant Tecno Oy. Työ keskittyi Avant Robot 185 purkurobottiin, joka on heidän uusin tuotteensa. Työn tarkoituksena oli kehittää robottia ja tarkistaa robotin sähkösuunnittelu ennen tuotantoa.

Sähkösuunnittelu tarkastettiin yleisesti, olisiko sähkösuunnittelua tarpeellista muuttaa tai tehdä jokin toisin. Lisäksi sähkösuunnitelma tuli tarkastaa, noudattivatko suunnitelmat standardia CEN/TS 13778 ”Mobile demolition machinery. Safety requirements”. Avant Tecno Oy oli myös kiinnostunut 15 kW:n ja 18,5 kW:n moottoreiden sähköverkosta ottamista virroista sekä näihin liittyvistä sulakesuojauksista.

Virran mittauksia varten koneille suoritettiin kokeet, joissa koneita kuormitettiin murskaamalla betonia. Kuormituksen aikana koneista mitattiin virtaa, hydraulista tilavuusvirtaa sekä painetta. Molemmista koneista mitattiin lisäksi käynnistysvirrat. Käynnistysvirtoja mitattaessa pehmokäynnistimeltä kokeiltiin erilaisia käynnistysramppeja. Kuormituskokeet osoittivat koneiden olevan erisuuruisilla kuormituksilla, mikä vääristi mittaustuloksia.

Purkukone noudatti sähkösuunnittelultaan standardeja eikä sähkösuunnittelussa havaittu epäkohtia, joita tarvitsisi muuttaa. Opinnäytetyön aikana esille tuli muutama kehitysidea robotin kehittämiseen. Ideoita, joita robottiin voitaisiin soveltaa, olivat muun muassa näytön siirtäminen kauko-ohjaimeen, automaattinen vaiheenkääntäjä ja akkuvarmennus.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree programme in Electrical Engineering  
Option of Intelligent Machines

TIKKA, JUUSO:  
Avant Robot 185  
Development of Demolition Robot and Inspecting Electrical Planning for Production

Bachelor's thesis 52 pages  
May 2013

---

This thesis was ordered by Avant Tecno Oy. The thesis concentrates on Avant Robot 185 demolition robot, which is their newest product. The aim of this thesis was to develop robot and inspect robots the electrical plans of the robot before production.

Electrical plans were inspected generally to see if there is anything that should be changed or could be done better. In addition, electrical plans needed to check if they obey standard CEN/TS 13778 "Mobile demolition machinery. Safety requirements." Avant Tecno Oy was also interested in 15 kW and 18,5 kW electrical motors power consumption and fuse protection related to power consumption.

For the measurement of power consumption we accomplished load tests for the machines, where we put load to the motors by demolishing concrete with hammer. Beside power, also hydraulic volume flow and pressure were measured during load tests. Starting currents were also measured from both machines. From the load tests we noticed that the loads to motors were different, which distorted measurements.

The demolition robot obeyed standards from its electrical plans, and there was nothing that should have changed. During this thesis, a few development ideas appeared for the robot to be developed, such as like moving the display from back of the robot to the remote controller, automatic phase order changer and battery backup.

---

Key words: Product development, fuse protection, standard, electrical plan

## SISÄLLYS

|       |                                           |    |
|-------|-------------------------------------------|----|
| 1     | JOHDANTO.....                             | 7  |
| 2     | TAUSTATietoja Yrityksestä.....            | 8  |
| 2.1   | Avant tecno Oy .....                      | 8  |
| 2.2   | Leguan lifts Oy .....                     | 8  |
| 3     | AVANT ROBOT 185 .....                     | 9  |
| 3.1   | Yleistä .....                             | 9  |
| 3.2   | Toiminta.....                             | 10 |
| 4     | CEN/TS 13778:2004 .....                   | 11 |
| 5     | EMC-MITTAUKSET .....                      | 13 |
| 6     | SÄHKÖJÄRJESTELMÄ .....                    | 14 |
| 6.1   | Teoria .....                              | 14 |
| 6.1.1 | Oikosulkumoottori .....                   | 14 |
| 6.1.2 | Pehmokäynnistin .....                     | 16 |
| 6.1.3 | Sulakesuojaus.....                        | 17 |
| 6.2   | Purkurobotin sähköjärjestelmä .....       | 22 |
| 6.2.1 | Komponenttien sijoitus .....              | 22 |
| 6.2.2 | Purkurobotin sähkömoottori .....          | 23 |
| 6.2.3 | Purkurobotin pehmokäynnistin .....        | 25 |
| 6.2.4 | Käyttöliittymä .....                      | 27 |
| 6.2.5 | CANOpen.....                              | 27 |
| 7     | HYDRAULIIKKA .....                        | 30 |
| 7.1   | Pumppu .....                              | 30 |
| 7.2   | Liikkeiden ohjaus.....                    | 32 |
| 7.3   | Jäähdytyspiiri .....                      | 33 |
| 7.4   | Ajomoottorit.....                         | 33 |
| 8     | JÄRJESTELMÄN OTTAMAN VIRRAN MITTAUS ..... | 35 |
| 8.1   | Työn taustatieto.....                     | 35 |
| 8.2   | Käynnistysvirrat.....                     | 36 |
| 8.2.1 | 15 kW koneen käynnistysvirta .....        | 36 |
| 8.2.2 | 18 kW koneen käynnistysvirta .....        | 37 |
| 8.3   | Kuormitusvirrat.....                      | 38 |
| 8.3.1 | 15 kW koneen kuormituskoe .....           | 38 |
| 8.3.2 | 18,5 kW koneen kuormituskoe .....         | 39 |
| 8.4   | Johtopäätöksiä mittauksista .....         | 40 |
| 8.4.1 | Moottoreiden kuormitus.....               | 40 |
| 8.5   | Ratkaisut .....                           | 42 |

|       |                                              |    |
|-------|----------------------------------------------|----|
| 8.5.1 | Moottoreiden ylikuormituksen estäminen ..... | 42 |
| 8.5.2 | Sulakesuojaus .....                          | 43 |
| 9     | KEHITYSIDEOITA .....                         | 45 |
| 9.1   | Näytön siirtäminen kauko-ohjaimeen .....     | 45 |
| 9.2   | Akkuvarmennus .....                          | 45 |
| 9.3   | Moottorinsuojakatkaisija .....               | 48 |
| 9.4   | Automaattinen vaiheenkääntäjä .....          | 48 |
| 9.5   | Moottorin hätäpysäytys .....                 | 49 |
| 10    | POHDINTA .....                               | 50 |
| 10.1  | Moottoreiden ottamat virrat .....            | 50 |
| 10.2  | Huollettavuus ja uusi pehmokäynnistin .....  | 50 |
| 10.3  | Moottorinsuojakatkaisija .....               | 50 |
|       | LÄHTEET .....                                | 51 |

**LYHENTEET JA TERMIT**

|         |                                      |
|---------|--------------------------------------|
| AI      | Analogiasisääntulo                   |
| CAN     | Controller Area Network              |
| CANOpen | Väyläprotokolla                      |
| CEN     | Eurooppalainen standardoimisjärjestö |
| CoDeSYS | 3S logiikkaohjelmointi ohjelma       |
| DI      | Digitaalisisääntulo                  |
| DO      | Digitaaliulostulo                    |
| EMC     | Sähkömagneettinen yhteensopivuus     |
| FB      | Feedback                             |
| Frame   | Koneen runko                         |
| HMI     | Kauko-ohjaimen lähetin               |
| I/O     | Siirräntä                            |
| LS      | Kuorman tunteva säätö                |
| PLC     | Ohjelmitava logiikka                 |
| PWM     | Pulssinleveysmodulaatio              |
| RMI     | Kauko-ohjaimen vastaanotin           |
| TOR     | Top Of Ramp                          |
| Tower   | Koneen torni/pyörivä osa             |

## 1 JOHDANTO

Työkoneiden tulee vastata tänä päivänä yhä vaativampiin haasteisiin. Koneista halutaan tuottavampia ja niiden tulee tehdä tarkempaa työtä. Nämä kriteerit lisäävätkin automaation määrää koneissa.

Myös rakennusten purkutöissä on alettu käyttämään viime vuosina työtä helpottavia koneita. Eräs näistä on tässä opinnäytetyössä käsiteltävä Avant Robot 185. Purkurobotti helpottaa, nopeuttaa ja tekee turvallisemmaksi purkutyötä. Koneen käyttäjä voi seistä etäällä koneesta kauko-ohjaimen kanssa, mikäli on olemassa esimerkiksi sortumisvaara. Koska robotti on täysin sähkökäyttöinen, se ei aiheuta pakokaasujakaan haitaksi ahtaille purkutyömaille. Robotti tekee purkutyöstä tarkkaa, helppoa ja vaivatonta, sillä purkutyöntekijä voi sujuvasti ohjata robottia kauko-ohjaimen avulla

Koska purkutöissä olosuhteet ovat ankarat, asettaa tämä omat edellytyksensä koneelle. Esimerkiksi purkutöillä vallitseva pöly vaatii hyvän kotelointisuojausten sähköisiltä komponenteilta. Lisäksi isot kivet ja muut sortuessa lentävät betonilohkareet vaativat koneelta kestävää suojausta, jotteivät koneen sisällä sijaitsevat komponentit vaurioidu. Tässä työssä tutkitaankin olisiko robotin komponentteja mahdollista sijoittaa uusiksi niin, että ne ovat helposti huollettavissa, mutta edelleen hyvin suojattuina.

Työssä perehdytään myös purkurobotin muihin tällä hetkellä havaittuihin ongelmiin. Tarkoituksena on miettiä muun muassa onko robottiin saatavaa isompaa 18,5 kW moottoria mahdollista kytkeä pienemmän sulakekoon taakse. Työssä mietitään myös muita kehitysideoita purkurobotille. Lisäksi työssä tutkitaan noudattaako purkurobotti standardia CEN/TS 13778:2004 ennen kuin sen tuotanto aloitetaan. Kyseinen standardi määrittelee turvamääräykset siirrettäville purkukoneille.

## **2 TAUSTATIETOJA YRITYKSESTÄ**

### **2.1 Avant tecno Oy**

Tämän opinnäytetyön tilasi Leguan lifts Oy, joka on Avant tecno Oy:n tytäryhtiö. Leguan lifts valmistaa pieniä henkilönostimia, mutta laajentaa nyt tuotevalikoimaansa purkurobotteihin.

Avant tecno Oy valmistaa pienikuormaajia. Yritys aloitti toimintansa vuonna 1991 ja sen tehdas toimii Ylöjärvellä. Lisäksi yrityksellä on omat myyntiyhtiöt Saksassa, Isossa-Britanniassa ja USA:ssa. Maahantuojia yrityksellä sen sijaan on yli 40 maassa ympäri maailmaa. Avantin vienti ulottuu aina Australiasta Amerikkaan kattaen lähes kaikki Euroopan maat. (Avanttecno 2013)

Kuormaajat valmistetaan Ylöjärven tehtaassa sarjatuotantona, missä ne testataan ja koeajetaan ennen toimitusta asiakkaalle. Ylöjärvellä sijaitsee myös Avantin tuotekehitys-osasto, missä syntyvät Avantin innovatiiviset ratkaisut, jotka tekevätkin Avantista hyvin tunnetun merkin pienkuormaajien valmistajana. Yritys on tällä hetkellä markkinajohtaja maailmalla omapainoltaan alle 2000 kg kuormaajien joukossa. (Avanttecno 2013)

### **2.2 Leguan lifts Oy**

Leguan lifts on osa Avant Group -konsernia ja se sijaitsee Avantin tavoin Ylöjärvellä. Leguan lifts valmistaa liikuteltavia henkilönostimia. Yritys on perustettu vuonna 1990 ja sen ensimmäinen henkilönostin tuotiin markkinoille jo vuonna 1994. (Leguan lifts 2013)

Leguan liftsien tuotevalikoimaan kuuluu niin puomi- kuin saksityyppisiä henkilönostimia. Henkilönostimet ovat suosittuja esimerkiksi rakennustyömailla muun muassa niiden erinomaisen liikuteltavuuden vuoksi. (Leguan lifts 2013)

Kaikki Leguan lifts Oy:n tuotteet valmistetaan Avant tecno Oy:n tavoin Ylöjärvellä ja niitä toimitetaan ympäri maailmaa. (Leguan lifts 2013)

### 3 AVANT ROBOT 185

#### 3.1 Yleistä

Kyseessä on pieni tela-alustainen purkurobotti, jossa on ympäripyörivä torni. Torni on varustettu nelinivelisellä puomilla, jonka päähän voidaan kiinnittää erilaisia hydraulityökaluja, kuten iskuvasara, pihdit tai kauha. Kone on täysin sähkökäyttöinen ja sitä voidaan ohjata kauko-ohjaimella joko langallisesti tai langattomasti. (Ei julkinen lähde)

Robotin lähtökohta on alun perin Finmac Demolition Oy:n valmistama Finmac F16. Robotin suunnittelussa on ollut mukana useita yrityksiä. Suunnittelun ja muotoilun olivat tehneet insinööritoimisto Dowaline Oy ja Continuum Oy. Koneen ohjauksesta vastaa Epec Oy, telasto oli Ab A Häggbloom Oy:n valmistama ja radio-ohjauksen on hoitanut Technion Oy. Kaikki muu robotissa on siis kotimaista paitsi hydrauliihkapuoli, jonka komponentit ovat muun muassa Parkerin. (Päiviö Olli 2013)

Finmac Demolition Oy:n mennessä konkurssiin, osti Avant tecno Oy laitteen. Laitetta on sittemmin suunniteltu valtaosin uudelleen ja sen viimeisemmät sähkökuvat on piirtänyt Stroman Oy (Lehtinen R. 2013). Kuvassa 1 on esitetty kuva Avant robot 185:stä.

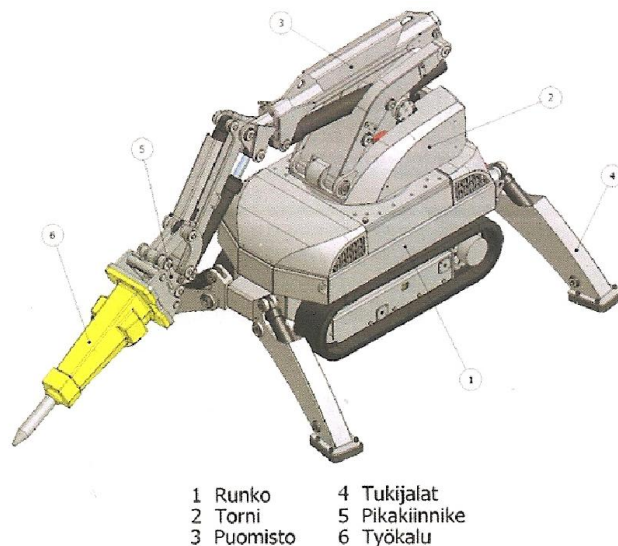


KUVA 1. Avant robot 185 (Avant robot 185 esite)

### 3.2 Toiminta

Robotti on täysin sähkökäyttöinen. Käyttövoimansa se saa sähkömoottorilta, joka pyörittää säädettävää hydraulikkapumppua. Moottorivaihtoehtoina ovat joko 15 kW tai 18,5 kW sähkömoottori. Moottorin käyttöjännite on 400 V, jonka moottori saa kolmi-vaihepistorasiasta. Moottori käynnistetään pehmokäynnistimen avulla. Koneen ohjausjärjestelmän jännitteenä toimii 24 V tasajännite, joka saadaan koneeseen syötettävästä käyttöjännitteestä hakkurivirtalähteen kautta. (Ei julkinen lähde)

Robotin hydraulijärjestelmän työpaine on 250 bar ja tuotto 66 l/min. Hydraulijärjestelmän sydämenä toimii Sauer danfoss:n valmistama säätyvä mäntäpumppu. Koneetta voidaan liikuttaa telahihnojen avulla, jotka saavat käyttövoimansa hydraulimoottoreista. Kone muodostuu korista ja sen päällä olevasta ympäripyörivästä tornista, joka nähdään kuvasta 2. Torniin on kiinnitetty puomisto, missä sijaitsevat myös sen venttiilit. Puomin päähän voidaan kiinnittää erilaisia hydrauliiikkatyökaluja, kuten iskuvasara, kaivin tai pihdit. Koneen runkoon on sijoitettu sähkömoottori, hydraulipumput ja venttiilit, jotka ohjaavat muun muassa koneen rungossa olevia tukijalkoja. Koneen kaikkia toimintoja voidaan ohjata kauko-ohjaimesta. (Ei julkinen lähde)



KUVA 2. Yleiskuva koneesta ja sen osista (Ei julkinen lähde)

Robotin maksiminopeus on 2,8 km/h ja siinä on viisi eri nopeusaluetta. Kone ylettyy 5,2 m päähän korkeussuunnassa ja 4,5 m päähän vaakasuunnassa. Koneen kuivapaino on 1850 kg. (Avant Robot 185 esite)

#### 4 CEN/TS 13778:2004

Purkukoneilla on oma Euroopan Unionin määrittelemä standardi, joka asettaa turvamääräykset purkukoneille. Standardi käsittelee yleisiä turvamääräyksiä koneille, kuten operaattorin sijainnista, pölystä, melusta, muista yleisistä vaaroista. Standardi kertoo muun muassa mitkä testit koneelle on tehtävä ennen sen tuotantoa ja mitä kaikkea informaatiota koneesta on tiedotettava käyttäjälle. Standardi käsittää kone- ja hydrauliiikkapuolen asetusten lisäksi myös koneen sähköjärjestelmän vaatimukset.

Standardin CEN/TS 13778:2004 mukaan purkukoneen alustan tulee täyttää standardin EN 474-1:1994 maansiirtokoneiden turvallisuuden yleisten vaatimuksien kohdan 4.13. Standardi määrittelee yleisellä tasolla johtimien sijoittamisesta ja valinnasta niin, että ne kestävät ympäristön olosuhteet. Lisäksi sulakkeet tulee sijoittaa niin, että kaikki varoitussijärjestelmät eivät voi tulla toimintakyvyttömiksi samanaikaisesti. Koneessa tulee olla myös pistorasia huollossa ja kunnossapidossa tarvittavaa valaisinta varten. (EN 474-1:2009, 27, 28)

Purkukoneen sähköiset komponentit tulee asentaa standardin EN 60204-1:1992 koneiden sähkölaitteiston yleisten vaatimusten pykälien 4, 5, 6, 14, 15 ja 16 mukaisesti. Standardi asettaa koneelle yleisiä vaatimuksia, kuten sähkölaitteiston komponenttien tulee olla sopivia niiden tarkoitettuun käyttöön ja IEC-standardin mukaisia. Sähkölaitteisto tulee suunnitella niin, että se toimii oikein standardin sallimien sähkönsyötön rajoissa. Laitteen tulee myös kestää sitä käytettävissä ympäristöolosuhteissa. (EN 60204-1:2006, 39-48)

Standardi suosittelee, että kone yhdistetään yhteen syöttöön, mikäli se on mahdollista. Mikäli toiselle syötölle on tarvetta, tulisi se toteuttaa erillisellä muuntajalla, tai suuntaajalla. Syötön vaihejohtimien liittimien läheisyydessä tulee olla liitin, joka mahdollistaa koneen kytkemisen ulkoiseen suojamaadoitusjärjestelmään tai suojajohtimeen syötön jakelujärjestelmästä riippuen. Koneessa tulee olla myös syötönerotuskytkin, joka tulee olla IEC-standardin mukainen. Odottamaton käynnistyminen tulee estää poiskytkentälaitteella, joka on osaltaan soveltuva tähän tarkoitukseen (EN 60204-1:2006, 48-56).

Sähkölaitteisto tulee suojata suorasta ja epäsuorasta kosketuksesta saatavalta henkilöihin kohdistuvilta sähköiskuilta. Sähkölaitteisto tulee suojata koteloinnilla, joka estää asiattomien pääsyn jännitteisiin osiin. Pistotulpan irrottamisen jälkeen näkyville jäävien tappien jäännösjännitteen tulee purkautua alle 60 V yhdessä sekunnissa. Laitteisto tulee suojata kosketusjännitteiltä joko käyttämällä luokan II sähkölaitteita tai käyttämällä syötön automaattista poiskytkentää (EN60204-1:2006, 56-64)

Koneen sähkömoottoreiden tulee olla standardisarjan IEC 60034 vaatimusten mukaisia. Moottori tulee varustaa ylivirtasuojalla, jonka mitoituskatkaisukyky on vähintään vikapaikalla olevan vikavirran suuruinen. Kuitenkin huomioiden moottorin tarvitseman käynnistysvirran. Yli 0,5 kW moottorit on varustettava ylilämpenemissuojalla, kuten lämpötilasuojauksella. Moottorin koteloinnin tulee noudattaa standardia IEC 60034-5 ja moottori tulee asentaa kunnolliseen moottoritilaan, jossa kunnollinen tuuletus (EN 60204-1:2006, 143-148).

Mikäli koneessa on erillinen pistorasia, tulee sen olla standardin IEC 60309-1 mukainen. Pistorasia tulee varustaa vikavirtasuojalla sekä johdonsuojakatkaisijalla. Kone on varustettava tarvittavilla varoituskilvillä ja niiden on kestävä ympäristön aiheuttamat fyysiset rasitukset. Kotelot, jotka eivät selvästi osoita sisältävänsä sähköiskun riskin, tulee varustaa standardin IEC 60417-5036 mukaisella varoitusmerkillä. Lisäksi laitteisto tulee varustaa nimikilvellä (EN 60204-1:2006, 148-152).

## 5 EMC-MITTAUKSET

Standardi määrittelee myös, että purkukoneelle on tehtävä standardin EN 13309 mukaiset EMC-mittaukset. Kyseinen standardi käsittelee purkukoneille asetettuja säädöksiä liittyen sähkömagneettiseen säteilyyn ja EMC-mittauksiin, joilla valmistaja takaa laitteen olevan soveltuva EU:n markkinoille. Opinnäytetyötä käsittelevälle purkurobotille ei ole tehty EMC-mittauksia ja ne tulisi suorittaa standardin EN 13309 mukaisesti (EN 13309:2010,5).

EMC-mittaukset tulee suorittaa laitteille, jotka koostuvat erilaisista sähköisistä komponenteista. Laitteen tulee sietää ulkoista sähkömagneettista säteilyä ilman toiminnallisia häiriöitä. Tämän lisäksi laite itsessään ei saa lähettää liikaa säteilyä ympäristöönsä. Testit tulee tehdä tähän soveltuvalla laboratoriolaitteistolla häiriösuojatussa tilassa. Kun sähkö-/elektroniikka-kokoonpanon testit suoritetaan, tulee tarkastella kaapeloinnin vaikutuksia, jotka yhdistävät osakokoonpanon laitteistoon (EN 13309:2010,5)

Laajakaistaiselle säteilylle tulee tehdä mittaukset standardin EN 13309 liitteen D mukaisesti. Liitteessä ohjearvoiksi säteilylle annetaan 64 dB (1600 $\mu$ V/m) 30 MHz:llä ja 54 dB (500 $\mu$ V/m) 75 MHz:llä. Kapean kaistan säteily tulee tehdä liitteen E mukaisesti ja ohjearvoiksi annetaan 34 dB (50 $\mu$ V/m) 30 MHz:stä 75 MHz:iin. Molemmissa mittauksissa mittauspisteen tulee olla yhden metrin etäisyydellä laitteen rungosta (EN 13309:2010, 22,23,41)

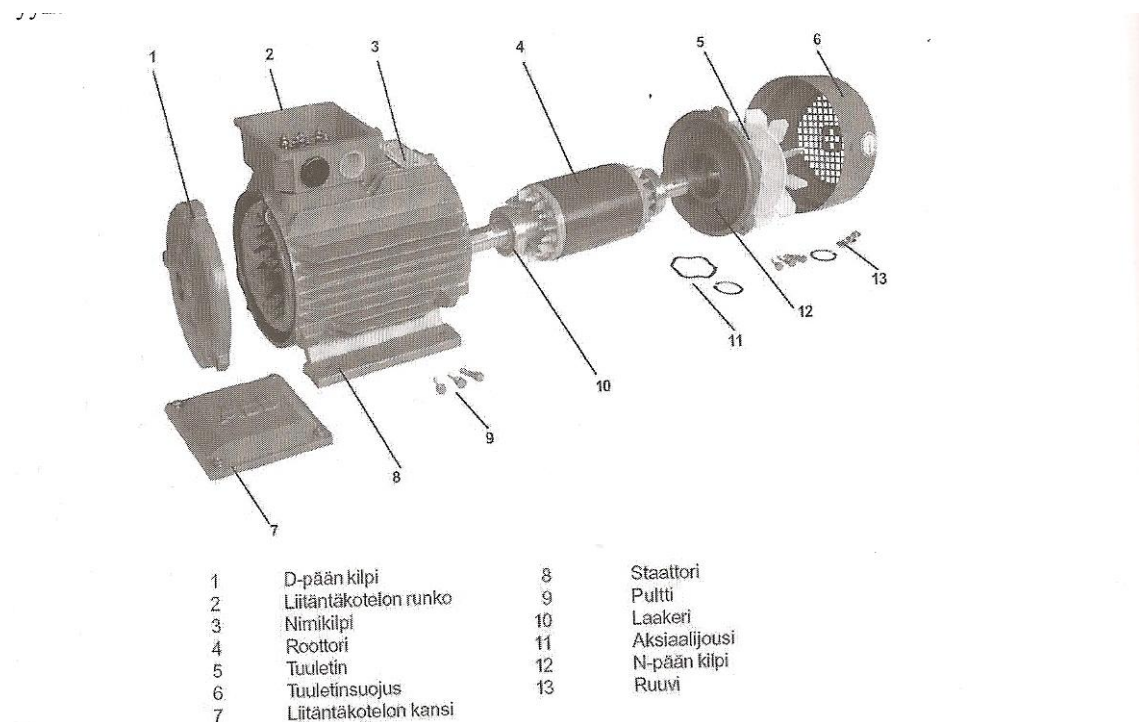
Laitteelle tulee tehdä lisäksi testit ulkoisilta häiriöiltä, jottei koneen elektroniikka häiriinny ja aiheuta vaaratilanteita. Ulkoisten häiriöiden aiheuttama testaus tulee suorittaa standardien ISO-11451-1 ja ISO 11451-2 määrittelemillä pitkittäisellä ja poikittaisella polarisoinnilla (EN 11309:2010, 11). EMC-mittaukset voi suorittaa näitä suorittavassa yrityksessä.

## 6 SÄHKÖJÄRJESTELMÄ

### 6.1 Teoria

#### 6.1.1 Oikosulkumoottori

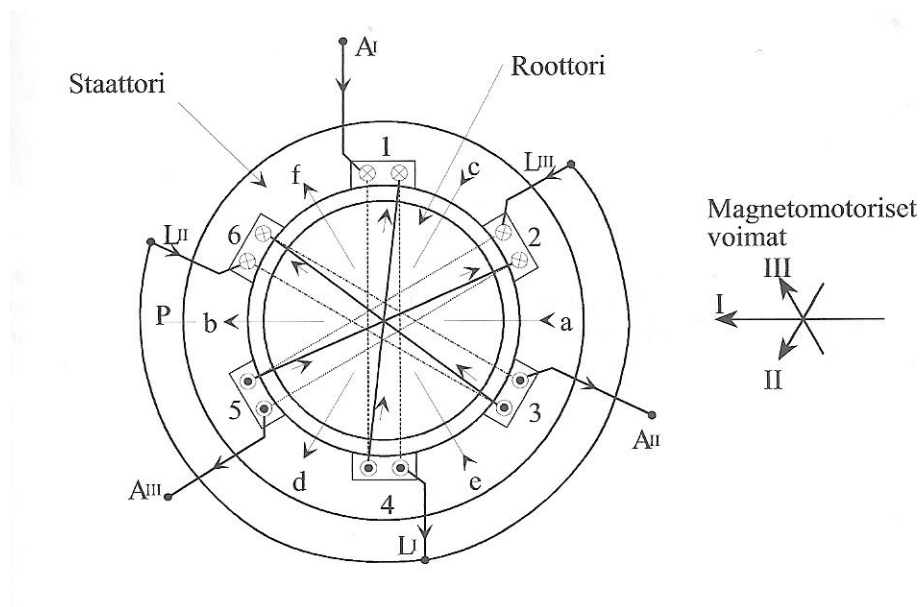
Epätahtikone koostuu staattorista ja sen keskellä sijaitsevasta roottorista. Staattori on tehty rautalevystä, jonka urissa on staattorikäämitys. Staattorikäämitys taasen koostuu käämeistä, jotka ovat staattorin ympärille kierrettyä kuparijohdinta. Myös roottori muodostuu käämeistä ja sen käämitystä kutsutaan häkkikäämitykseksi. Roottorin häkkikäämitys koostuu sauvoista, jotka ovat oikosuljettu molemmista päistä (Hietalahti 2011, 59,60). Kuvassa 3 on esitetty oikosulkumoottorin räjäytyskuva.



KUVA 3. Oikosulkumoottorin räjäytyskuva (Hietalahti 2011, 59)

Kun staattoriin johdetaan vaihtovirtaa, muodostaa se vaihtelevan magneettikentän oikosulkumoottorin sisälle. Kolmivaihejärjestelmässä vaihevirratt ovat  $120^\circ$  keskinäisessä vaihesiirrosta. Vaiheiden positiivisten ja negatiivisten puolijaksojen vuorotellessa, saa kunkin vaihekäämin magneettikenttä suunnanmuutoksen S- ja N-napojen vaihtuessa. Vaihesiirrosta aiheutuva pyörivä magneettikenttä alkaa lävistää roottorisauvoja, joihin

indusoituu jännite. Näin staattorin magneettikentässä oleva energia välitetään roottoriin ilman galvaanista yhteyttä, josta tulee nimitys induktiomoottori. Staattorikäämin magneettivuo aiheuttaa oikosuljettuun roottorihäkkiin lähdejännitteen. Lähdejännite taas aiheuttaa oikosuljettuun roottorihäkkiin virran. Roottorivirran ja staattorikentän välille syntyy voimavaikutus. Tämä voima saa roottorin liikkeelle, mikäli vääntömomentti on kuormamomenttia suurempi (Hietalahti 2011, 55, 60). Kuvassa 4 on esitetty periaatekuva kolmivaihekäämityksen rakenteesta ja niiden aiheuttamista magnetomotorisista voimista. Kuvan tilanteessa koneen sisällä vaikuttava magneettivuo suuntautuu oikealta vasemmalle.



KUVA 4. Roottorin ja staattorin väliset magnetomotoriset voimat (Hietalahti 2011, 55)

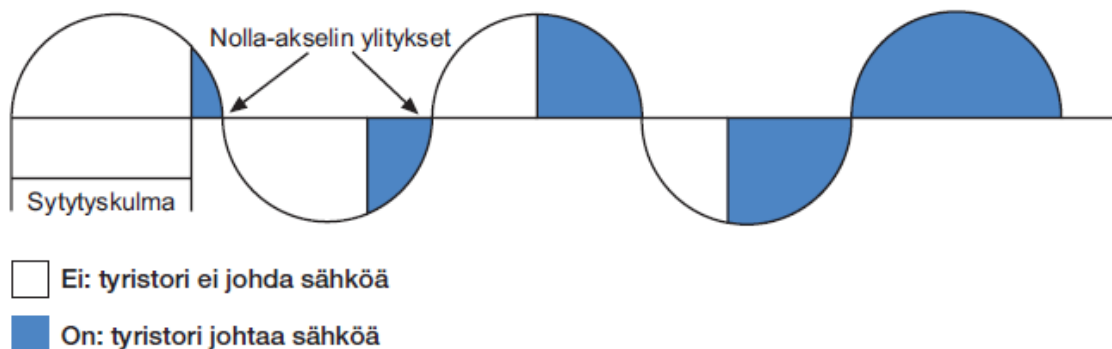
Roottorin pyörimisnopeuden kasvaessa, pienenee staattorikentän ja roottorisauvojen leikkausnopeus. Leikkausnopeuden pienentyessä, pienenevät myös roottorikäämin jännite ja virta, jolloin myös sähköinen vääntömomentti pienenee. Roottorin pyörimisnopeus riippuu moottorin staattorin napapariluvuista. Napapariluku on riippuvainen siitä, kuinka staattorin vastinparit ovat sijoiteltu (Hietalahti 2011, 55).

Roottori pyrkii aina saavuttamaan staattorin pyörimisnopeuden. Roottorin pyörimisnopeus jää kuitenkin aina staattorikentän pyörimisnopeutta pienemmäksi. Mikäli näin ei olisi, ei moottori pyörisi. Tästä johtuvaa roottorin ja staattorin suhteellista erotusta kutsutaankin jättämäksi (Hietalahti 2011, 60).

### 6.1.2 Pehmökäynnistin

Koska oikosulkumoottorin käynnistysvirta voi olla suoraan verkkoon kytkettynä jopa 6-7 kertainen moottorin nimellisvirtaan verrattuna, käytetään moottorin käynnistämiseen pehmökäynnistintä. Lisäksi pehmökäynnistin estää pumpulta hydraulikkajärjestelmään välittyvät suuret paineiskut, kun moottoria ei käynnistetä täydellä momentilla. Pehmökäynnistimellä voidaan myös suorittaa pehmopysäytys, jolloin pumppu sammutetaan hallitusti, jolloin vältetään myös paineiskuilta hydraulikkajärjestelmän puolelle. ABB suosittelee käyttämään pumppusovelluksissa perusasetuksina käynnistysaikana kymmentä sekuntia, pysäytysaikana 20 sekuntia ja lähtöjännitteenä 30 %. (Pehmökäynnistinopas 2007, 17).

Pehmökäynnistin muodostuu päävirtapiirissä sijaitsevista vastarinnankytketyistä tyristöreista. Tyristöreilla säädetään moottorin jännitettä. Kun moottorin jännite on matala, pysyy myös virta matalana, eikä käynnistysvirta nouse hallitsemattomaksi. Käynnistysvaiheessa tyristorit päästävät aluksi vain osan jännitteestä läpi säätämällä sytytyskulmaa. Jännitteen läpäisyä kasvatetaan asetetun käynnistysramppiajan mukaisesti kunnes tyristorit ovat kokonaan johtavia. (Pehmökäynnistinopas 2007, 43) Kuvassa 5 on esitetty periaatteellinen kuva tyristorin jännitteen säätämisestä.



KUVA 5. Periaatekuva tyristorin jännitteen säätämisestä (Pehmökäynnistinopas 2007, 43)

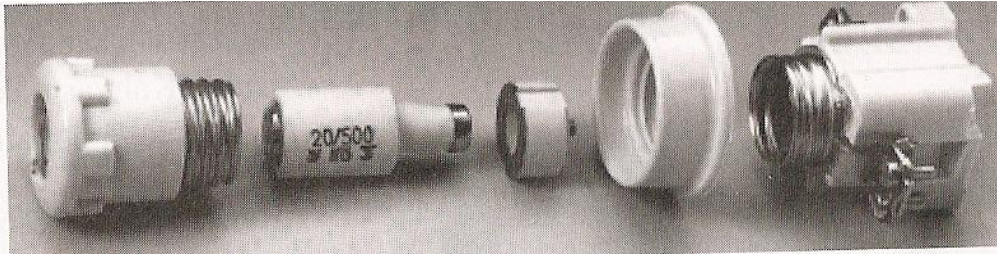
### 6.1.3 Sulakesuojaus

Sähköturvallisuusstandardien mukaan virtapiirit täytyy varustaa pääsääntöisesti ylivirtasuojilla, jotka suojaavat johtoja ja kojeita ylivirralla. Virtapiirissä on silloin ylivirtaa, kun virta piirissä on johtimen tai laitteen nimellisvirtaa suurempi. Virta on suurimmillaan silloin, kun vaihejohdin ja nollajohdin ovat suorassa kosketuksessa. Tätä virtaa kutsutaan oikosulkuvirraksi. Muuta nimellisvirtaa suurempaa virtaa kutsutaan ylikuormitusvirraksi (Ahoranta 2005, 114).

Ylivirtasuojia kutsutaan joko ylikuormitus- tai oikosulkusuojaksi riippuen suojataanko piirin johtimia ja kojeita ylikuormitusvirralla vai oikosulkuvirralla. Oikosulkusuoja toimii oikosulkuvirtojen katkaisussa ja se toimii mahdollisimman nopeasti. Yleensä oikosulkusuojaus toimii vasta, kun virta on hyvin suuri. Ylikuormitussuoja toimii, kun virta on normaalia kuormitusvirtaa suurempi. Toisinkuin oikosulkusuoja, ylikuormitussuoja toimii vasta kun johdon lämpötila on ylittämässä sallitun arvon. Yksi ja sama suojalaite voi toimia sekä ylikuormitussuojana että oikosulkusuojana. Suojalaitteen tulee toimia sellaisella jännitteellä, virralla ja sellaisessa ajassa, jotka riittävät suojaamaan virtapiiriä ja toimivat piirin nimellisessä tilanteessa (Ahoranta 2005, 114)

Sulake on sähkövirtapiirin passiivinen laite, joka koostuu metallilangasta, joka on sulakkeen sisällä. Piirin virta kulkee sulakkeen läpi, eli metallilangan lävitse. Metallilangan paksuus on valittu siten, että tietyn suuruisella virran arvolla metallilanka palaa ja näin aiheuttaa katkoksen piiriin, jolloin virrankulku katkeaa. Sulakkeissa on erilaisia indikaattoreita, jotka ilmaisevat sulakkeen palamisen (Ahoranta 2005, 114).

Yleisimpiä sulakkeita kiinteistöissä on tulppasulakkeet, joka on esitetty kuvassa 6. Tulppasulake muodostuu kuparilangasta tai nauhasta, jota ympäröi kvartsihiekkä. Tulppasulake soveltuu sekä ylikuormitussuojaksi, että oikosulkusuojaksi. Kahvasulake on rakenteeltaan tulppasulaketta muistuttava. Kahvasulake soveltuu erittäin hyvin suojaamaan piiriä oikosululta sen katkaisuominaisuuksien vuoksi. Kahvasulakkeet soveltuvat isommille virroilla ja jännitteille, kuin tulppasulakkeet (Ahoranta, 2005 116).



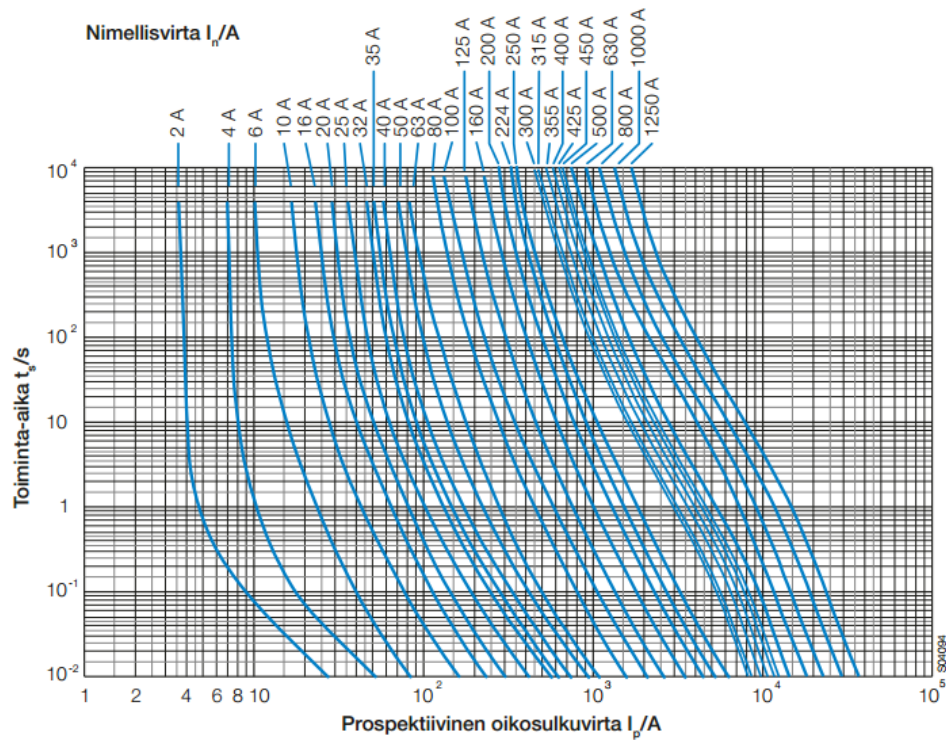
KUVA 6. Tulppasulake sekä varokepesä (Ahoranta 2005, 115)

Sulakkeita valmistetaan eri kuormitustyypeille ja ne erotetaan kaksikirjaimisella käyttöluokkatunnuksella. Sulakkeen käyttöluokkatunnuksen ensimmäisenä oleva pieni g-kirjain tarkoittaa, että sulake soveltuu sekä oikosulku- ja ylikuormitussuojaksi ja sen katkaisukyky käsittää koko virta-alueen. Toisin kuin pieni a-kirjain sulakkeessa tarkoittaa, että sulake soveltuu ainoastaan oikosulkusuojaksi ja sen katkaisukyky käsittää tietyn osa-alueen. Käyttöluokkatunnuksen toisena kirjaimena voidaan käyttää esimerkiksi G-kirjainta, jolloin sulakkeen tyyppi on nopea. M-tyypin sulake taas on tyypiltään hidas ja sopii näin esimerkiksi moottoripiirin kaltaisen induktiivisen kuorman suojaamiseen. R-tyypin sulake on erittäin nopea ja soveltuu muun muassa tehopuolijohteiden suojaukseen (Ahoranta 2005, 116).

TAULUKKO 1. Tulppa- ja kahvasulakkeiden tyypit

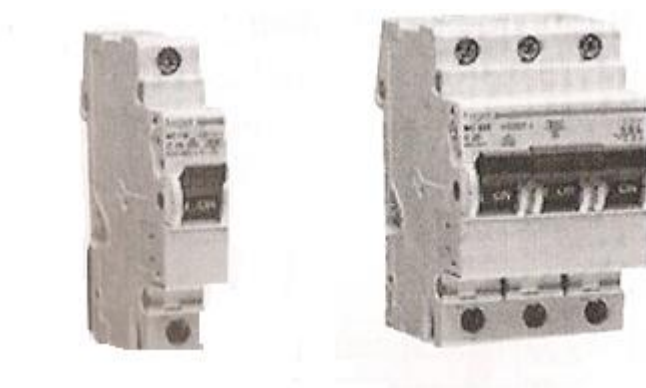
| Kirjain | Käyttö                                          |
|---------|-------------------------------------------------|
| g       | oikosulku- ja ylivirtasuojaksi soveltuva sulake |
| a       | oikosulkusuojaksi soveltuva sulake              |
| G       | Johdon suojaukseen tarkoitettu suojaus          |
| M       | Moottoripiirien suojaus                         |
| R       | Puolijohteiden suojaus                          |

Kahvasulakkeilla toiminta-ajat ovat pidempiä, kuin esimerkiksi johdonsuojakatkaisijoilla. Kuvasta 7 voidaan nähdä, että 32 A gG-sulake kestää 100 A oikosulkuvirtaa 5 sekunnin ajan. Kuvasta nähdään, että pienillä ylikuormitusvirroilla sulake palaa hyvin hitaasti.



KUVA 7. 500 V nimellisjännitteellisten gG-kahvasulakkeiden toiminta-ajat (ABB kahvasulakkeet, 25)

Nykyään sulakesuojaus toteutetaan johdonsuojakatkaisijoilla eli automaattisulakkeilla. Johdonsuojakatkaisin voi toimia sekä oikosukusuojana että ylikuormitussuojana. Johdonsuojakatkaisijassa on hidas termisen ylikuormituksen kestävä bimetalliliuska. Standardi vaatii, että bimetalliliuskan täytyy kestää laukeamatta 1,13-kertaista nimellisvirtaa tunnin ajan, mutta sen tulee lauetta 1,45-kertaisella nimellisvirralla alle tunnissa. Johdonsuojakatkaisijoissa on myös sähkömagneetti, joka toimii suurella virralla oikosulku-tilanteessa nopeasti. Lisäksi johdonsuojakatkaisijalla voidaan katkaista piiri yksinkertaisesti kääntämällä ohjausvipua (Ahoranta 2005, 117)



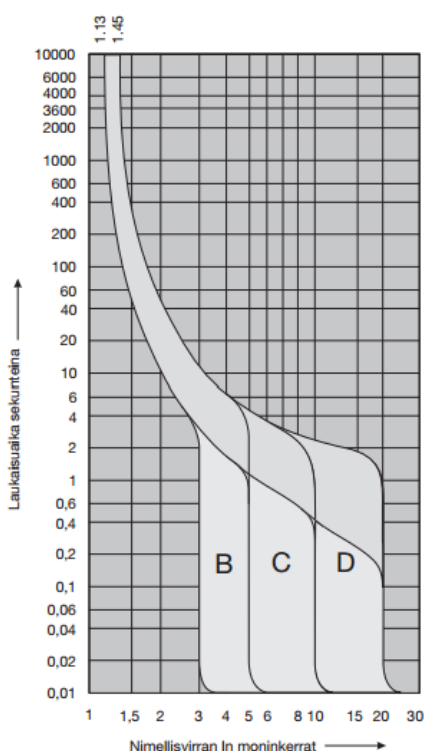
KUVA 8. 1- ja 3-napainen johdonsuojakatkaisija (Ahoranta 2005, 117)

Kuten sulakkeitakin, on myös johdonsuojakatkaisijoille eri kuormitustyypeille tarkoitettuja nimellisvirraltaan samansuuruisia johdonsuojakatkaisijoita. Tyyppejä on neljää eri ryhmää ja ne ovat A-,B-,C- ja D-ryhmät. Kaikilla ryhmillä on toisistaan poikkeavat laukaisukäyrät. A-ryhmän johdonsuojakatkaisijaa käytetään puolijohteiden suojaamiseen ja sen pikalaukaisu ei saa toimia kaksinkertaisella nimellisvirralla, mutta sen tulee toimia kolminkertaisella sysäysvirralla. B-ryhmän johdonsuojakatkaisijoita käytetään resistiivisissä kuormissa, joiden käynnistysvirta ei ole suuri. B-tyypin johdonsuojakatkaisijoiden toimintarajat ovat  $3 \times I_n$  ja  $5 \times I_n$ . C-johdonsuojakatkaisijoita käytetään resistiivisten kuormien, mutta lievästi induktiivisten kuormien suojaamiseen. C-tyypin toimintarajat ovat  $5 \times I_n$  ja  $10 \times I_n$ . D-tyypin toimintarajat ovat  $10 \times I_n$  ja  $20 \times I_n$ . Lisäksi on olemassa Z-tyypin johdonsuojakatkaisijoita, joilla suojataan myös puolijohteita sekä K-tyypin johdonsuojakatkaisijoita, jotka kestävät C-tyyppiä paremmin käynnistysvirtoja (Ahoranta 2005, 118)

TAULUKKO 2. Johdonsuojakatkaisijoiden ryhmät

| Ryhmä | Käyttö                                      | Toimintaraja                         |
|-------|---------------------------------------------|--------------------------------------|
| A     | Puolijohteet                                | $2 \times I_n$ ja $3 \times I_n$ .   |
| B     | Resistiivinen kuorma                        | $3 \times I_n$ ja $5 \times I_n$ .   |
| C     | Resistiivinen lievästi induktiivinen kuorma | $5 \times I_n$ ja $10 \times I_n$ .  |
| D     | Induktiivinen ja kapasitiivinen kuorma      | $10 \times I_n$ ja $20 \times I_n$ . |

Kuvassa 9 on esitetty B-, C- ja D-tyypin johdonsuojakatkaisijoiden toimintakäyrät. 32 A johdonsuojakatkaisija kestää tunnin ajan 1,13-kertaista nimellisvirtaa eli 36,16 A, ennen termisen laukaisun tapahtumista. Kuvasta nähdään, että B-tyypin johdonsuojakatkaisija on nopein näistä kolmesta johdonsuojakatkaisijasta (Ahoranta 2005, 118)



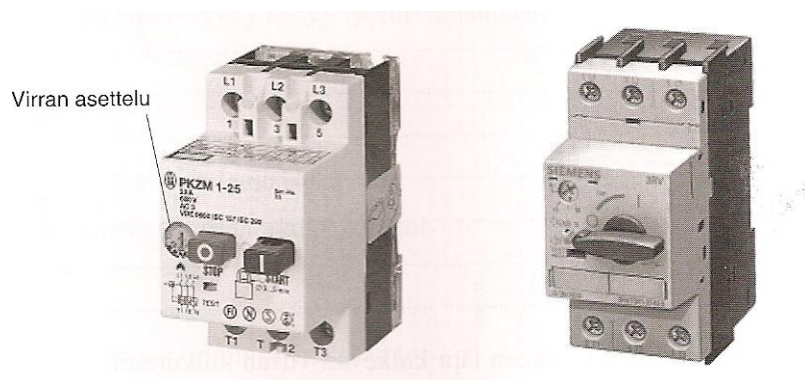
KUVA 9. B-,C- ja D-tyypin johdonsuojakatkaisijan toimintakäyrä (Hager johdonsuojakatkaisimet, 692)

Tulppasulakkeet kestävät nimellisjännitettä 500 V asti ja katkaisukyky on usein 20 kA tai yli. Kahvasulakkeilla nimellisjännitekestoisuus on taasen 690 V ja niiden katkaisukyky on vähintään 50 kA. Johdonsuojakatkaisijoilla arvot ovat hieman pienemmät ja nimelliskatkaisukyky jää usein vain 6 tai 10 kA ja nimellisjännite on usein 400 V (Ahoranta 2005, 118).

Ylivirtasuojana käytetään myös mekaanista moottorinsuojakatkaisijaa suojaamaan moottoria ylivirralla. Moottorinsuojakatkaisijassa on kolminapainen kosketinyksikkö, lämpörele ja pikalaukaisin. Moottorinsuojakatkaisin muistuttaa hieman johdonsuojakatkaisimen toimintaa. Kuten johdonsuojakatkaisijassa myös moottorinsuojakatkaisijassa koskettimet voidaan avata ja sulkea manuaalisesti käyttökytkimellä. Automaattisesti koskettimet avaa lämpörele tai sähkömagneetti, mikäli moottorille menee liian suurta virtaa (Ahoranta 2005, 119)

Toisin kuin johdonsuojakatkaisija, moottorinsuojakatkaisijassa sen lämpöreleen toimintavirta asetellaan tietyllä virta-alueella. Tähän virta-alueeseen vaikuttavat lämpöreleen valmistajan ohjeistus, jossa huomioidaan yleensä moottorin nimellisvirta, laukaisuaika ja lämpötilan korjauskerroin. Moottorinsuojakatkaisijoihin voidaan liittää myös lisäosia,

kuten apukosketinlohko, ilmoituskosketinlohko ja alijännitelaukaisin. Yleisemmin käytetty on alijännitelaukaisin. Alijännitelaukaisinta käytetään silloin, kun kone ei saa käynnistyä itsestään jännitekatkoksen jälkeen. Alijännitelaukaisin estää moottorinsuojakatkaisijaa menemästä kiinni, mikäli syöttöpuolella ei ole riittävää jännitettä (Ahoranta 2005, 119).

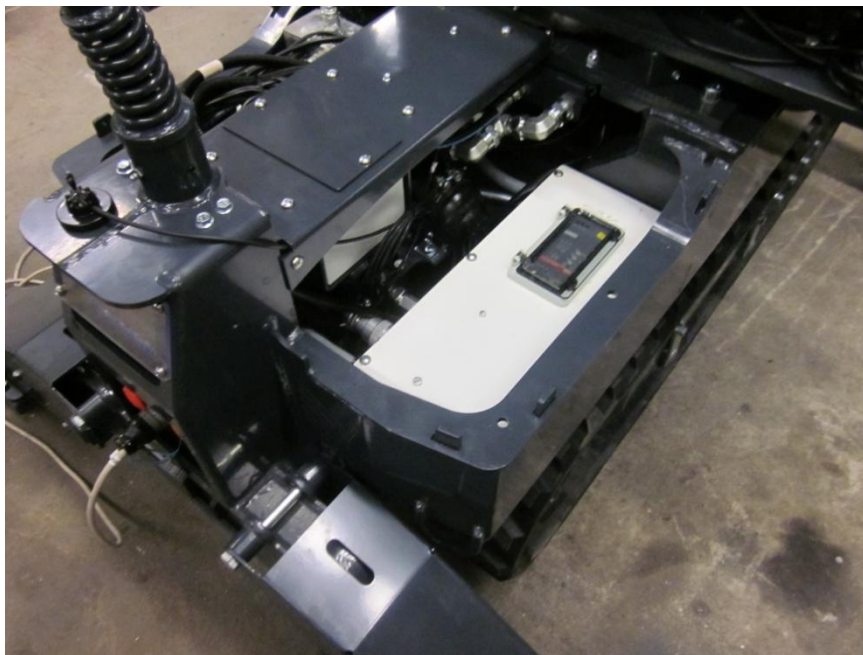


KUVA 10. Kaksi erityyppistä mekaanista moottorinsuojakatkaisijaa (Ahoranta 2005, 119)

## 6.2 Purkurobotin sähköjärjestelmä

### 6.2.1 Komponenttien sijoitus

Standardien edellyttämällä tavalla, työssä käsiteltävän Avant robot 185 sähkölaitteisto on jaoteltu korkeanjännitteen ja matalanjännitteen puoleen. Molempien puolen sähkökomponentit ovat sijoitettuna tiiviiseen sähkökoteloon. Koteloiden sisälle ei pääse muuta kuin ruuvimeisseliä apuna käyttäen. Kuvassa 11 näkyvän pehmokäynnistimen etupaneelille on tehty kansi, joka voidaan avata ilman työkaluja mahdollisia säätöjä varten. Molemmat sähkökotelot ovat sijoitettuna niin, että ne ovat suojassa mahdollisilta mekaanisilta iskuilta. Sähkökoteloiden johdot irtoavat helposti pikaliittimillä, mikä helpottaa huoltamista.



KUVA 11. Koneen 400 V puolen sähkökotelon sijoitus (Kuva: Juuso Tikka 2013)

### 6.2.2 Purkurobotin sähkömoottori

Oikosulkumoottori eli epätahtikone on valittu robottiin sen edullisen hinnan ja luotettavuuden vuoksi. Tällä hetkellä purkurobottiin on saatavana kahta eri moottoria. Molemmat moottorit ovat Bevin valmistamia nelinapaisia oikosulkumoottoreita, joiden nimellisyörimisnopeus on 1500 rpm. Molemmat moottorit ovat kolmioon kytkettyjä ja niitä käytetään 400 V pääjännitteellä. Pienempi moottori SKg 160L-4 on teholtaan 15 kW ja valmistajan ilmoittama nimellisvirta koneelle on 27,7 A (Lehtinen 2013).

Purkurobottiin saatava isompi moottori SKg 180M-4 sen sijaan on teholtaan 18,5 kW ja valmistajan ilmoittama nimellisvirta moottorille on 32,8 A, jonka vuoksi konetta käytetään tällä hetkellä 63 A sulakkeen takana. Tämä aiheuttaa ongelmia purkutyömailla, sillä 63 A sulaketta ei käytännössä ole saatavissa mistään työmailla. Tämän vuoksi haluttiin selvittää, kuinka paljon isompi moottori ottaa virtaa kuormitettuna (Lehtinen 2013).

Ohessa on esitettyinä laskuja pumpun tarvitsemasta tehontarpeesta, kierrosnopeudesta ja momentin tarpeesta. Lisäksi ohessa on laskettu nykyisten sähkömoottorien nimellismomentit.

Nykyisten sähkömoottorien nimellisellä pyörimisnopeudella tuottamat nimellismomentit on laskettu kaavalla 1.

$$T_n = \frac{P_n \cdot 9550}{n} \quad (1)$$

, missä

$T_n$  on nimellismomentti

$P_n$  on nimellinen akseliteho

$n$  on nimellipyörimisnopeus

Tästä voidaan laskea nimellismomentit moottoreille:

$$T_{n1} = \frac{18,5 \text{ kW} \cdot 9550}{1470 \text{ rpm}} = 120,19 \text{ Nm}$$

$$T_{n2} = \frac{15 \text{ kW} \cdot 9550}{1460 \text{ rpm}} = 98,12 \text{ Nm}$$

Pumpun tarvitsema momentti saadaan kaavasta 2

$$T_p = \frac{V_k \cdot p}{62,82} \quad (2)$$

, missä

$T_p$  on pumpun tarvitsema momentti

$V_k$  on kierrostilavuus

$p$  on työpaine

Tästä voidaan laskea pumpun tarvitsema momentti käyttämällä pumpun nimellisiä arvoja:

$$T_p = \frac{45 \frac{\text{cm}^3}{\text{r}} \cdot 250 \text{ bar}}{62,82} = 179 \text{ Nm}$$

Pumpun tarvitsema kierrosnopeus voidaan laskea kaavalla 3

$$n = \frac{1000 \cdot Q}{V_k} \quad (3)$$

,missä

$Q$  on tilavuusvirta

Tästä voidaan laskea pyörimisnopeus, joka sähkömoottorin tulee tuottaa:

$$n = \frac{1000 \cdot 66 \text{ l/min}}{45 \text{ cm}^3/\text{r}} = 1466,7 \text{ rpm}$$

Pumpun tarvitsema akseliteho voidaan laskea kaavalla 4

$$P = \frac{p \cdot Q}{600} \quad (4)$$

Tästä saadaan pumpun tarvitsemaksi tehoksi:

$$P = \frac{250 \text{ bar} \cdot 66 \text{ l/min}}{600} = 27,5 \text{ kW}$$

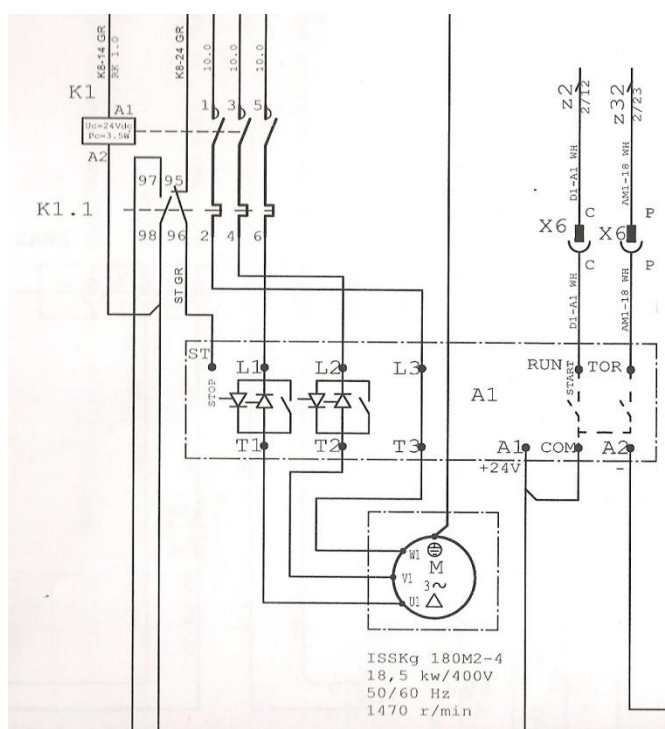
Laskut ovat laskettu maksimituotolla ja maksimipaineella, mutta esimerkiksi pumpun tarvitseman tehon laskennassa ei ole käytetty hyötysuhteita. Tuloksista nähdään, että mikäli koneessa käytetään maksimi tilavuusvirtaa ja maksimi työpainetta ei isompikaan moottori pysty vastaamaan kuorman tarvitsemaan tarpeeseen. Vastaavanlaisissa purkukoneissa ohjeistuksena yleensä on, ettei pumpun maksimi paineen ja maksimi tuoton yhtäaikainen käyttö ole mahdollista, sillä moottori ylikuormittuu.

### 6.2.3 Purkurobotin pehmokäynnistin

Pehmokäynnistimenä toimii AAB PSR, jonka nimellinen käyttövirtavirta on 45 A ja jännitekestoisuus 600 V. Pehmokäynnistimen käynnistysvirran kapasiteetti on 180 A. Lisäksi pehmokäynnistimessä on 24 V tasajännite, joka toimii apujännitteenä (Ei julkinen lähde).

Moottoria käynnistettäessä kytkeytyy ensin pääkontaktorille jännite, kuten kuvasta 12 nähdään. Parametreista riippuen 0,5...1 sekunnin kuluttua kytketään stop linjaan jänni-

te. Edelleen tästä 0,5...1 sekunnin kuluttua kytketään run linjaan jännite. Tämän jälkeen 1..2 sekunnin kuluttua run linjasta voidaan katkaista ohjausjännite, sillä pehmokäynnistimen oma pitopiiri pitää run linjan jännitteellisenä. Kun pehmokäynnistin saavuttaa huippunsa ja moottori pyörii nimellisellä pyörimisnopeudellaan, aktivoituu pehmokäynnistimen TOR-lähtö ja hydraulikkaa voidaan ohjata. Moottorin sammutus hoidetaan myös pehmokäynnistimellä. Kun moottorin kytkin käännetään stop asentoon, katkaistaan ohjaus käynnistimen stop linjasta. Riippuen parametrien asettelusta katkaistaan virta myös pääkontaktorilta noin viiden sekunnin kuluttua (Ei julkinen lähde).



KUVA 12. Piirikaavio pehmokäynnistimestä (Avant tecno 2012)

Moottoria suojaamassa on lämpörele, joka sijaitsee ennen pehmokäynnistintä. Lämpörele-  
leen lauetessa, katkaistaan pehmokäynnistimen stop linjasta jännite, jolloin moottori  
pysähtyy. Lämpörele kuitaantuu itsestään, kun se on jäähtynyt riittävästi. Välttääkseen  
moottorin itsestään käynnistymistä lämpörele-  
en jäähtyttyä, tulee pääkontaktorilta kat-  
kaista ohjaus (Ei julkinen lähde).

#### 6.2.4 Käyttöliittymä

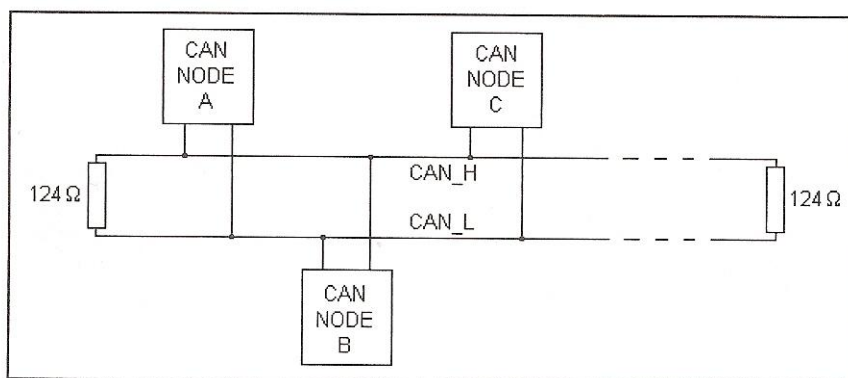
Laitetta ohjataan kauko-ohjaimella, joko langattomasti tai langallisesti. Kummassakin tapauksessa rajapintana Epec:n järjestelmään toimii CANOpen väylä. Ohjaimella kyetään ohjaamaan kaikkia laitteen toimintoja. Ohjaimessa on lisäksi hätäpysäytys painike, joka pysäyttää kaikki laitteen liikkeet katkaisemalla sähkönsyötön pumppua pyörittävältä sähkömoottorilta. Hätäpysäytys painike ei kuitenkaan katkaise virtoja ohjausjärjestelmältä (Avant purkukoneen näyttö 2012, 8).

Laitteen konfigurointi ja ylläpito suoritetaan laitteeseen liitettyllä huoltonäytöllä. Huoltonäytöllä voidaan tehdä järjestelmään muun muassa konfigurointi, I/O-moduulien ohjelmien päivitys ja muuttaa laitteen parametreja. Perusnäytöstä nähdään lisäksi koneen käyttötunnit, huoltotunnit ja hydraulikkaöljyn lämpötilan sekä työ- ja LS-paine (Avant purkukoneen näyttö 2012, 12,13).

Näyttö pitää lisäksi jatkuvaa viestilokia, mistä näkee jatkuvana viimeiset 1000 tapahtumaa. Viestilokista voidaan näin lukea onko hälytys vielä päällä, koska hälytys on annettu ja moduuli, miltä hälytys on tullut. Hälytyksiin sisältyy myös yksilöllinen hälytyskoodi. Näytöltä voidaan myös katsoa väylän tila (Avant purkukoneen näyttö 2012, 27).

#### 6.2.5 CANOpen

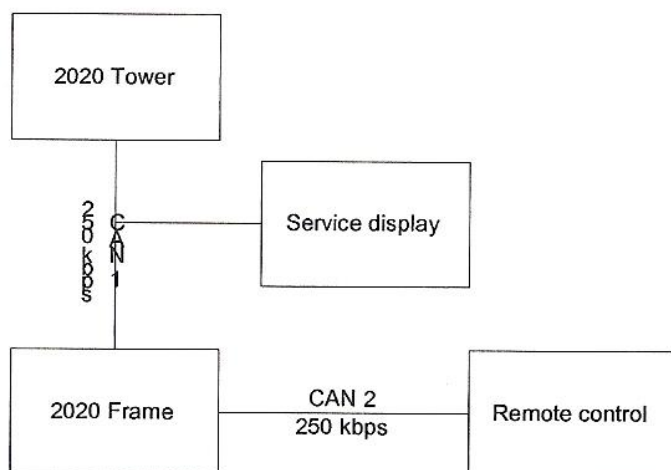
CAN on sarjaväylä, jota hyödynnetään paljon automaatiassa. Väylässä viestiä ei välitetä yhdelle tietylle moduulille vaan viesti välitetään koko väylään. Moduulit voivat täten tunnistaa viestissä olevasta tunnisteesta, kuuluuko viesti sille. Tämä mahdollistaa yhtäaikaisen tiedonvälittämisen kaikille väylässä oleville laitteille. CAN-väylässä on lisäksi prioriteetit tunnisteille, mikäli useita viestejä lähetetään samanaikaisesti, välitetään korkeamman prioriteetin omaava viesti ensin. CAN-väylä koostuu kahdesta johtimesta CAN-High ja CAN-Low ja niiden päissä sijaitsevista päätevastuksista, kuten kuvassa 13 on esitetty. (Farsi, Barbosa 2000, 41).



KUVA 13. Lohkokaavio CAN-väylästä (Farsi, Barbosa 2000, 43).

Laitteen väylänä toimii CANOpen, joka on eräs CAN-väylän sovelluskerroksen protokolla. Väylän tiedonsiirtonopeus on 250 kbps ja se koostuu neljästä I/O-moduulista. Päämoduuli eli master, sijaitsee koneen rungossa, missä suurin osa laitteen komponenteista ja tekniikasta sijaitsee. Moduuli ohjaa teloja, tukijalkoja ja pumppuja. Moduuli on Epecin valmistama Epec 2020 4G koneenohjaukseen suunnitellusta I/O-moduuli (Ei julkinen lähde). Moduuli on suunniteltu erityisesti hydraulikkajärjestelmien ohjaukseen. Moduulia voidaan ohjelmoida Codesys ohjelmointiympäristön avulla, joka on PLC-pohjainen (Epec 2020 Control unit esite).

Tornissa sijaitsee vastaavanlainen Epecin 2020 4G I/O-moduuli kuin alustassakin. Tornissa sijaitseva moduuli on slave-tyyppinen moduuli ja se ohjaa puomia, valoja sekä lisälaitteita. Muita moduuleita väylässä ovat huoltonäyttö ja kauko-ohjain. Myös kauko-ohjaimen lähettimen (HMI) ja vastaanottimen (RMI) välistä yhteyttä (CAN 2) valvotaan. Mikäli yhteydessä huomataan vika, annetaan tästä ilmoitus käyttäjälle (Avant purkukoneen näyttö 2012, 8). Kuvassa 14 on esitetty periaatekuva laitteen robotin CAN-väylästä.



KUVA 14. Periaatekuva laitteen CAN-väylästä. (Epec 2010, 8)

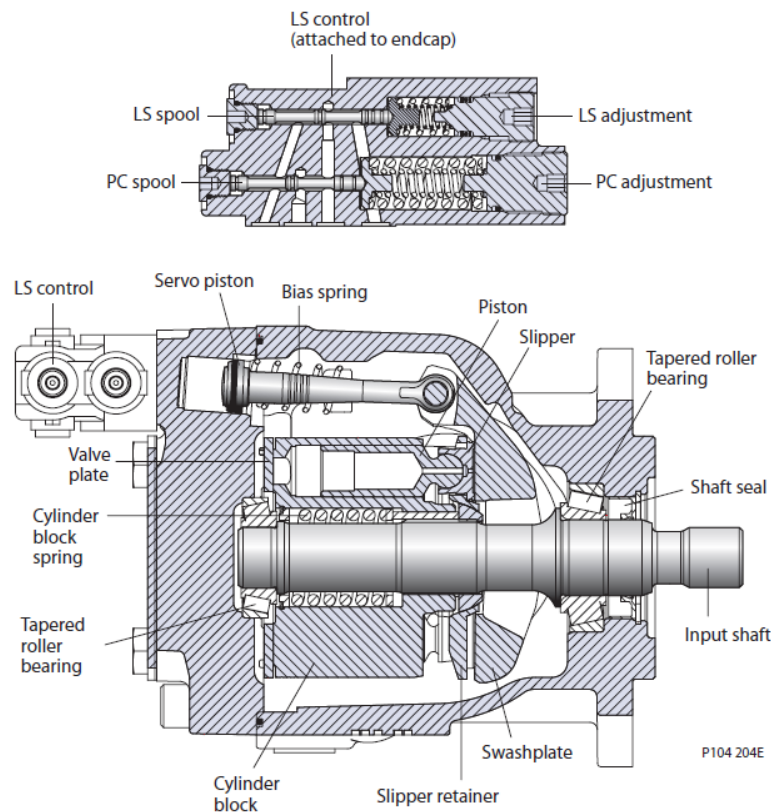
Moduulit valvovat omaa tilaansa lähettämällä toisilleen niin sanottua heartbeatia, joka vaihtaa tilaansa 100 ms välein. Moduulit tutkivat tämän heartbeatin avulla onko moduuli toiminnassa vai ei. Mikäli järjestelmä havaitsee vian moduulissa, annetaan siitä hälytys merkkilampulla. Lisäksi moduulit valvovat omien lähtöjensä tilaa oikosulun ja ohjaamattoman tilan varalta (Ei julkinen lähde)

Väylältä voidaan myös lukea huoltotyökalun avulla kaikkien DI, DO sekä käytössä olevien AI-, PWM-, PI- ja FB-pinnien analogia arvot 8 bittisenä, jotka moduulit lähettävät. Moduulit lähettävät tämän lisäksi oman lämpötilansa väylälle. Alustassa sijaitseva master-moduuli valvoo tornin ja alustan välillä sijaitsevan pyörivän liittimen kuntoa tutkimalla liikennettä väylässä CAN1. Mikäli virheellisten viestien suhteellinen määrä framen ja towerin välillä kasvaa yli sallittujen rajojen, annetaan tästä huoltokehoitus (Ei julkinen lähde).

## 7 HYDRAULIIKKA

### 7.1 Pumppu

Laitteen hydraulikkajärjestelmä on venttiiliohjattu avoinjärjestelmä, jossa järjestelmästä palaava öljy johdetaan takaisin säiliöön. Hydraulikkajärjestelmä saa voimansa pumpulta, joka taasen saa käyttövoimansa sen akseliin liitetystä sähkömoottorilta. Pumppu on Sauer-Danfoss:n valmistama suoraroottorimäntäpumppu, joka on varustettu LS-säädöllä (Lehtinen 2013). Pumpun työpaine on 250 bar ja pumpun tilavuus on 45 cm<sup>3</sup>. (Sauer-Danfoss 2013, 42) Kuvassa 15 on esitetty kuva pumpun poikkileikkauksesta.



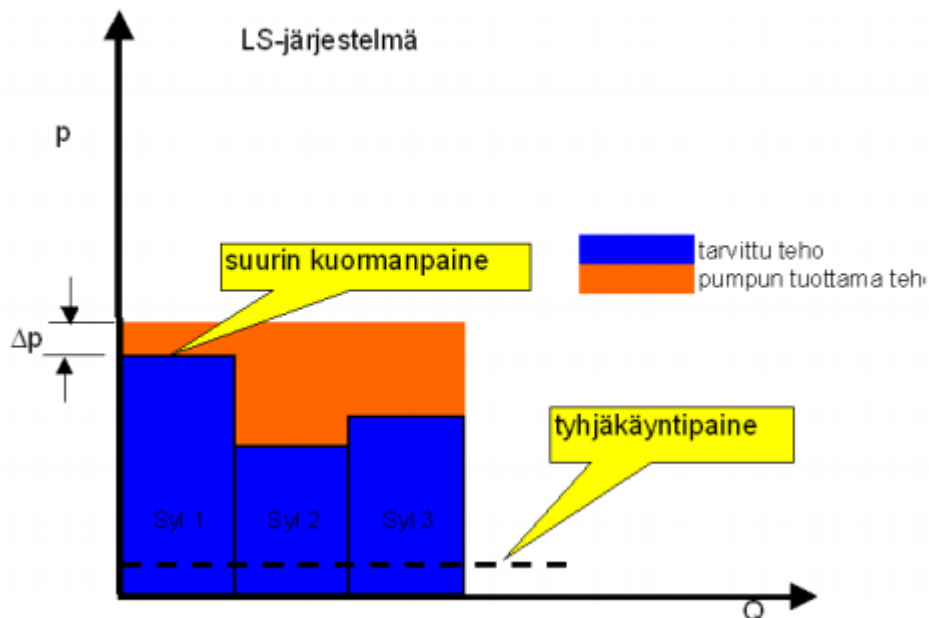
KUVA 15. Poikkileikkaus koneen suoraroottorimäntäpumpusta (Sauer-Danfoss 2013, 42)

Staattori- eli vinolevypumppu on rakenteeltaan yksinkertainen ja kierrostilavuutta voidaan säätää nopeasti. Pumpun suurimmat sallitut käyttöpaineet ovat usein 20-35 MPa ja pyörimisnopeus pumpulla voi olla 1500-3000 rpm. Pumpun kokonaishyötysuhde on usein likimain 0,9, jota heikentää pumpun hydrostaattinen laakerointi. Pumpun sovel-

luskkohteita ovat esimerkiksi erilaiset nostimet, puristimet ja takomakoneet (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2008, 170).

Suoraroottoripumpussa sylinteriryhmä pyörii käyttöakselin mukana. Pumpussa oleva kiinteä vinolevy vaikuttaa mäntien asemaan sylinteriryhmän sisällä. Männät ovat kiinnitettynä vinolevyssä olevaan liukutasoon, joka liukuu pitkin vinolevyä pysyen jatkuvassa kosketuksessa levyn kanssa. Kun sylinteriryhmä pyörii, saa vinolevy aikaiseksi mäntien edestakaisen liikkeen. Koska vinolevy ja liukutaso ovat jatkuvassa kosketuksessa, käytetään niiden kosketuspinnassa hydrostaattista laakerointia, jolla kevennetään mäntävoimia ja vähennetään kitkaa. Näin saadaan ehkäistyä hankauksesta aiheutuvaa kulumista (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2008, 170).

Pumpussa on LS-säätö eli kuormantuntevasäätö, joka vastaa toimilaitteen tarvitsemaan toimilaitteen tarvitsemaan kuormapaineeseen ja tuottoon. Tämä edellyttää, että pumpulle tuodaan tieto paineesta, joka kulloinkin valitsee eri kuormitustilanteissa. LS-säätö tuottaa vähiten hukkatehoa ja -lämpöä järjestelmään, sillä järjestelmässä ei tuoteta ylimääräistä tilavuusvirtaa eikä tarvittavaa kuormapainetta ylitetä kuin tyhjäkäyntipaineen verran yli. Kuvassa 16 on esitetty periaatekuva LS-säädöstä (Paavilainen H 2008, 16).



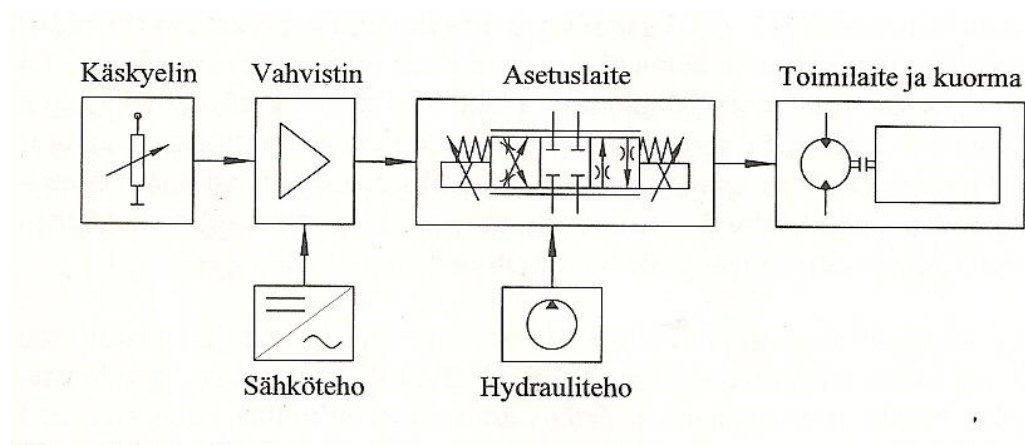
KUVA 16. LS-järjestelmässä tuotettu teho (Paavilainen 2008, 16)

## 7.2 Liikkeiden ohjaus

Robotin liikkeitä ohjataan proportionaaliventtiileillä. Nämä venttiilit ovat jatkuvatoimisia, jotka saavat tulevan ohjaussignaalin laitteesta olevilta CAN-moduleilta. (Ei julkinen lähde) Proportionaaliventtiilit seuraavat lähtösignaalia jatkuvasti ja portaattomasti. Venttiilit siis ohjaavat tilavuusvirtaa tai painetta, mikä mahdollista toimilaitteiden nopeuden, aseman ja momentin jatkuvatoimisen ohjauksen (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2008, 327).

Proportionaalisisessa venttiilissä säätö tapahtuu sähköisellä säätimellä, jota kutsutaan proportionaalmagneetiksi. Ohjauselektroniikka on sijoitettu yleensä venttiilin yhteyteen ja ohjaus voi olla joko esiohjattu tai suoraan ohjattu. Proportionaalimagneetissa voima on suoraviivainen koko käyttöalueella toisin kuin normaalissa kytkentäkelassa. Proportionaalimagneetti voi olla joko voimaohjattu tai asemaohjattu. Proportionaalimagneetti kestää järjestelmässä olevan paineen, sillä sen ankkuritila on öljytäytteinen. (Keinänen, Kärkinen 2005, 287).

Kun järjestelmässä ei ole takaisinkytkentää eikä korjausta, puhutaan ohjaus- eli avoimen piirin järjestelmästä. Ohjausjärjestelmälle annetaan käskyarvo eli ohjaussignaali. Ohjaussignaali tuodaan venttiilin kelalle eli proportionaalimagneetille. Proportionaalmagneetilla ohjaussignaali muunnetaan ja vahvistetaan hydrauliseksi lähtösignaaliksi asetuslaitteen avulla. Lähtösignaali saadaan aikaan, kun venttiilin kelalle tuodulla ohjaussignaalilla säädetään venttiilin karan liikettä. Tällöin kara siirtyy ja asettuu annettua käskyarvoa vastaavaksi. Nyt venttiili läpäisee tilavuusvirtaa, joka riippuu venttiilin avautumasta (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2008, 328). Ohjaustavasta on esitetty periaatekuva kuvassa 17, missä toimilaitteena toimii hydraulisliikkamoottori.



KUVA 17. Periaatekuva avoimen piirin järjestelmästä (Keinänen, Kärkinen 2005, 287)

Robotin kauko-ohjaimesta voidaankin kalibroida ohjainsauvat ja potentiometrit, jolloin operaattorin antamat käskyt vastaavat tarkasti haluttuihin toimintoihin (Ei julkinen lähde). Hydraulisten toimielinten säätö on lisäksi mahdollistanut koneessa käytettävissä olevan ryömintätilan. Ryömintätilan ollessa kytkettynä robotin liikkeet toimivat normaalia hitaammin. Liikkeiden maksimi nopeutta rajoitetaan parametrilla, joka määrää montako prosenttia liikkeen normaalista maksimi ohjauksesta on rajoitettu maksimi ohjaus. Ryömintätilaan voidaan asettaa viisi eri tasoa, joista jokaisen tason suuruus on erikseen määriteltävissä parametrilla (Ei julkinen lähde).

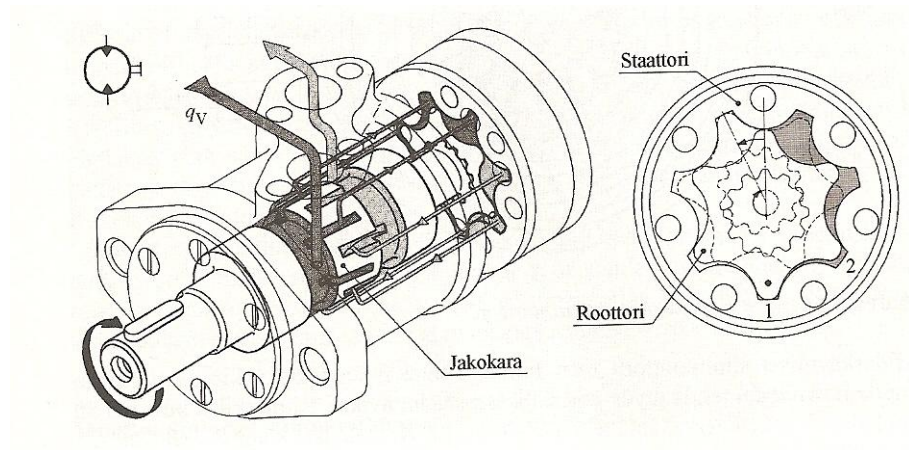
### 7.3 Jäähdytyspiiri

Öljyn jäähdytyspiirissä on alun perin ollut tuuletin, joka on käynnistynyt vasta öljyn saavuttaessa tarpeeksi korkean lämpötilan. Finmacin koneissa huomattiin kuitenkin ongelmia lämpötilojen kanssa. Jäähdytys sekä koneen runko on suunniteltu kokonaan uudelleen. Nyt öljyn jäähdytyksen tuuletin on sijoitettuna sähkömoottorin kanssa samalle akselille. Näin ollen öljyn jäähdytys on jatkuvalla pakkokäytöllä ja toimii aina kun sähkömoottori pyörii (Lehtinen 2013)

### 7.4 Ajomoottorit

Robottia liikutellaan teloilla, jotka saavat voimansa kahdesta orbitaali-moottorista. Molemmille teloille on oma moottori ja niitä voidaan ohjata erikseen kauko-ohjaimesta (Ei

julkinen lähde). Orbitaalimoottori kuuluu sisäryntöisiin hammaspyörämoottoreihin. Moottori koostuu roottorista ja sitä ympäröivästä sisähammastetusta staattorikehästä. Roottori pyörii planetaarisesti staattorin sisällä, jolloin roottorin nokat pysyvät jatkuvas-  
sa kosketuksessa staattoriin. Kun moottoriin ohjataan öljyä, akselilla oleva jakokara ohjaa öljyn sisä- ja ulkopyörän välisiin tiloihin. Koska jakokara on kiinnitettyä moottorin akseliin, pyörii se roottorin mukana, kytkien kunkin tilavuuden vuorollaan lähtö- ja tuloliitäntöihin. Näin saadaan jatkuva pyörimisliike (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2008, 188). Orbitaalimoottorista on esitetty rakennekuva kuvassa 18.



KUVA 18. Sauer-Danfossin orbitaalimoottori (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2008, 188).

## 8 JÄRJESTELMÄN OTTAMAN VIRRAN MITTAUS

### 8.1 Työn taustatietoa

Moottorin sulakesuojausta varten järjestettiin mittausinstallaatio Avant tecnon tiloissa 15.2.2013. Tarkoituksena oli mitata robotin käynnistysvirtaa sekä virtaa, jonka järjestelmä ottaa kuormituksessa. Kokeet suoritettiin sekä 15 kW koneella ja 18,5 kW koneella. Lisäksi koneiden hydraulikan tuottamaa painetta ja tuottoa mitattiin. Virtamittaukset suoritettiin Fluke 435 tehoanalysaattorilla.

Koneen ottama virta mitattiin suoraan kolmivaihekaapelista. Tämä onnistui käyttämällä Avant tecnon tarjoamia kytkentäkoteloita. Näin mittarin jännitepiuhat saatiin liitettyä banaani liittimillä vaiheisiin. Vaihevirrrat saatiin mitattua virtapihtejä apuna käyttäen, kun toisen laatikon kansi avattiin, jossa vaihejohtimet olivat erillisinä. Kuvassa 19 on esitetty mittauskytkentä käynnistysvirtojen mittaamiseksi.



KUVA 19. Kuva mittauksesta (Kuva: Juuso Tikka 2013)

Hydraulista painetta ja tuottoa mitattiin vasaralle menevästä letkusta. Tätä on havainnollistettu kuvassa 20. 18,5 kW koneessa käytettiin isompaa vasaraa ja 15 kW koneessa

pienpää vasaraa. Tilavuusvirta määräytyi hydraulikka työkalujen mukaan, jotka valmistajan mukaan olivat 20–70 l/min isommalla vasaralla ja pienemmällä vasaralla 16–50 l/min. Vasaroiden valmistajan ilmoittamat työpaineet isommalle vasaralle oli 110–150 bar ja pienemmälle vasaralle 100–140 bar. Vasaroiden ilmoitetut tehot ovat 17,5 kW ja 11,7 kW. Järjestelmää kuormitettiin murskaamalla betonia, jota käytetään muun muassa rakennusten runkopalkkeina. Kyseessä oli siis äärimmäisen lujarakenteista betonia.



KUVA 20. Hydraulikan painetta ja tuottoa mittaava anturi kiinnitettynä robotin puoleen (Kuva: Juuso Tikka 2013)

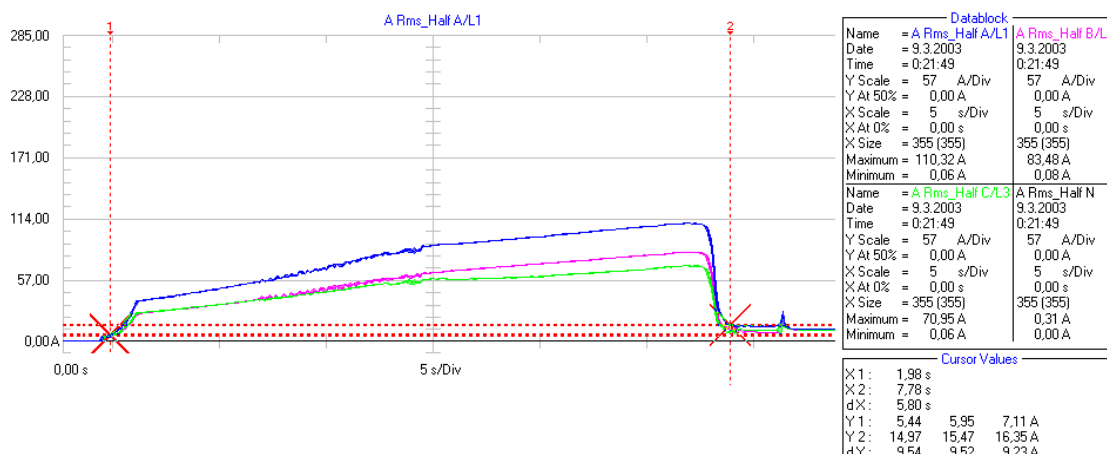
## 8.2 Käynnistysvirrat

Molemmista koneista mitattiin käynnistysvirrat. Valitettavasti meillä ei ollut tilaisuutta mitata käynnistysvirtoja koneen ollessa kylmänä. Kylmäkäynnistyksessä koneiden öljyn viskositeetti olisi tällöin ollut pienempi ja moottorin käynnistyminen olisi ollut raskeampaa. Tämä olisi kuormittanut moottoria enemmän ja nostanut käynnistysvirtaa. Nyt käynnistysvirrat mitattiin huoneenlämpöisenä.

### 8.2.1 15 kW koneen käynnistysvirta

15 kW moottorin käynnistysvirta oli maksimissaan 110,32 A. Tämä oli ensimmäisen vaiheen virta. Muiden vaiheiden virrat olivat 83,46 A ja 70,95 A. Ensimmäisen vaiheen

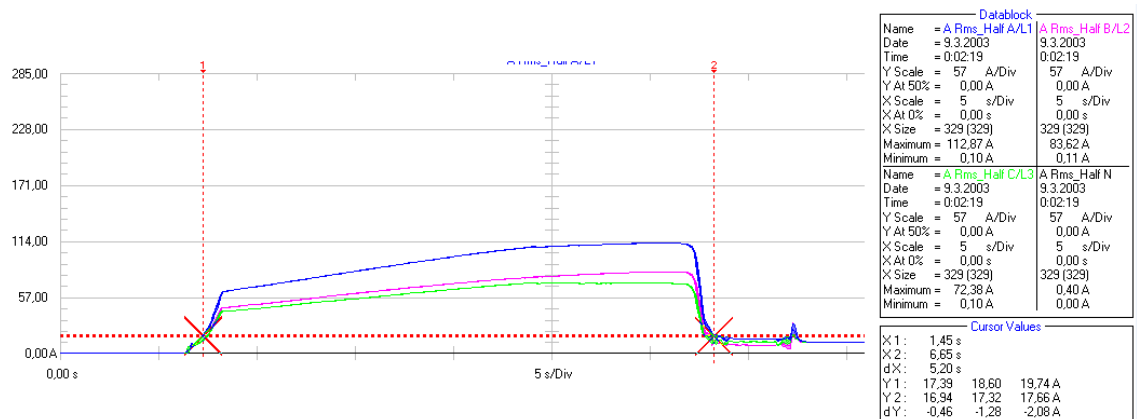
isompi kuormitus johtuu pehmokäynnistimestä, joka on kaksoistyristoriohjattu. Näin ollen osa ensimmäisen vaiheen virrasta muodostuu toisen ja kolmannen vaiheen summavirrasta. Moottoria kokeiltiin käynnistää erilaisilla pehmokäynnistimen asetuksilla, mutta tämä ei merkittävästi vaikuttanut virtojen tai käynnistysajan suuruuteen. Kuvassa 21 on esitetty pehmokäynnistimen käynnistysvirrat ABB:n suosittelemilla asetuksilla. Käynnistysaika oli näillä asetuksilla 5,8 sekuntia.



KUVA 21. 15 kW moottorin käynnistysvirrat

### 8.2.2 18 kW koneen käynnistysvirta

18 kW moottorin käynnistysvirta ensimmäisellä vaiheella oli maksimissaan 112,87 A. Toisella ja kolmannella vaiheella virrat olivat 83,62 A ja 72,38 A. Arvot ovat mitattu samoilla pehmokäynnistimen asetuksilla, kuin edellä esitetyt 15 kW moottorin käynnistysvirrat. Käynnistysaika isommalla moottorilla oli 5,2 sekuntia. Myös tässä tapauksessa ensimmäinen vaihe on enemmän kuormitettu kaksivaiheisen tyristoriohjauksen vuoksi, kuten edellä jo todettiin. Myös 18 kW moottoriin kokeiltiin erilaisia pehmokäynnistimen asetuksia tämän kuitenkin vaikuttamatta merkittävästi virtojen suuruuteen. Tuloksista nähdään, että moottoreiden käynnistysvirrat ovat samaa luokkaa. Tämä johtuu luultavasti siitä, että moottoreiden perässä on käynnistysyhteydessä likimain yhtä iso kuorma, johtuen koneissa olevasta identtisistä hydraulikkapumpuista.



KUVA 22. 18 kW moottorin käynnistysvirrat

### 8.3 Kuormitusvirrat

#### 8.3.1 15 kW koneen kuormituskoe

Koneille tehtiin kuormitusmittauksia, joissa koneella murskattiin betonia iskuvasaralla ja mitattiin järjestelmän verkosta ottamaa virtaa. 15 kW moottorilla varustetun koneen verkosta ottama virta oli suurempi, kuin moottorin nimellisvirta. 15 kW koneelta mitattiin myös hydraulinen paine, tilavuusvirta ja teho. Arvot mitattiin työkalulle menevästä linjasta. Tuloksista nähtiin, että vasaran ottama hydraulinen teho oli noin 13 kW, mikä on vasaran valmistajan antamaa hydraulista tehoa suurempi.

Kuvassa 23 on esitetty 15 kW moottorin kuormituksen yhden vaiheen virta. Mittaus suoritettiin kahden minuutin jaksona, jolloin kone oli kuormitettuna. Näytteenottovälinä oli yksi sekunti. Kuvasta 23 huomataan, että virta on ollut kuormituksessa maksimissaan 37 A, ekvivalenttivirus on ollut noin 31,6 A ja tyhjäkäyntivirus noin 12 A.

Ekvivalenttivirus saadaan integroinnin kautta kaavalla 5.

$$I_e = \sqrt{\int_0^t \frac{I^2 dt}{t}} \quad (5)$$

, missä

$I_e$  on ekvivalenttivirus

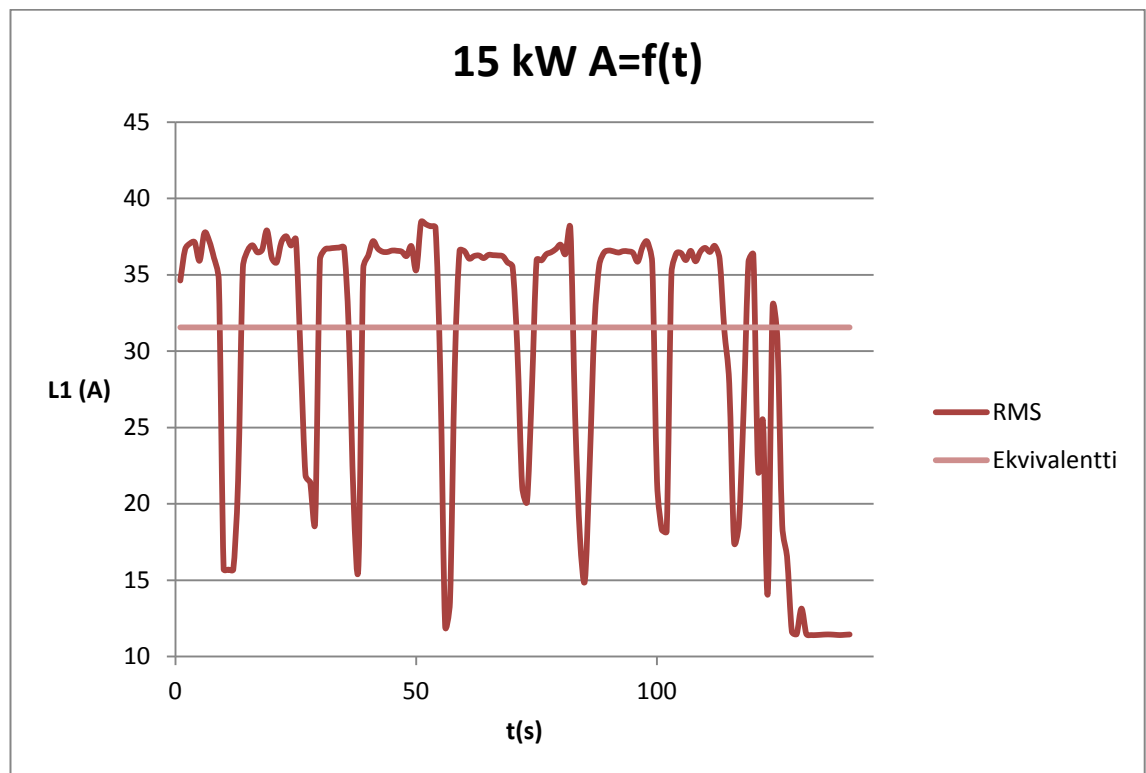
$I$  on moottorin ottama virta

$t$  on aika

Kuvaaja saadaan helpoiten integroitua jakamalla se osiin mittauspisteiden avulla.

$$I_{e\ 15kW} = \sqrt{\int_0^t \frac{I^2 dt}{t}}$$

$$= \sqrt{\frac{\sum I^2 \cdot \Delta t}{t}} = \sqrt{\frac{(34,61)^2 A \cdot 1 s + \dots + (11,44)^2 A \cdot 1 s}{1 s + \dots + 1 s}} = 31,56 A$$



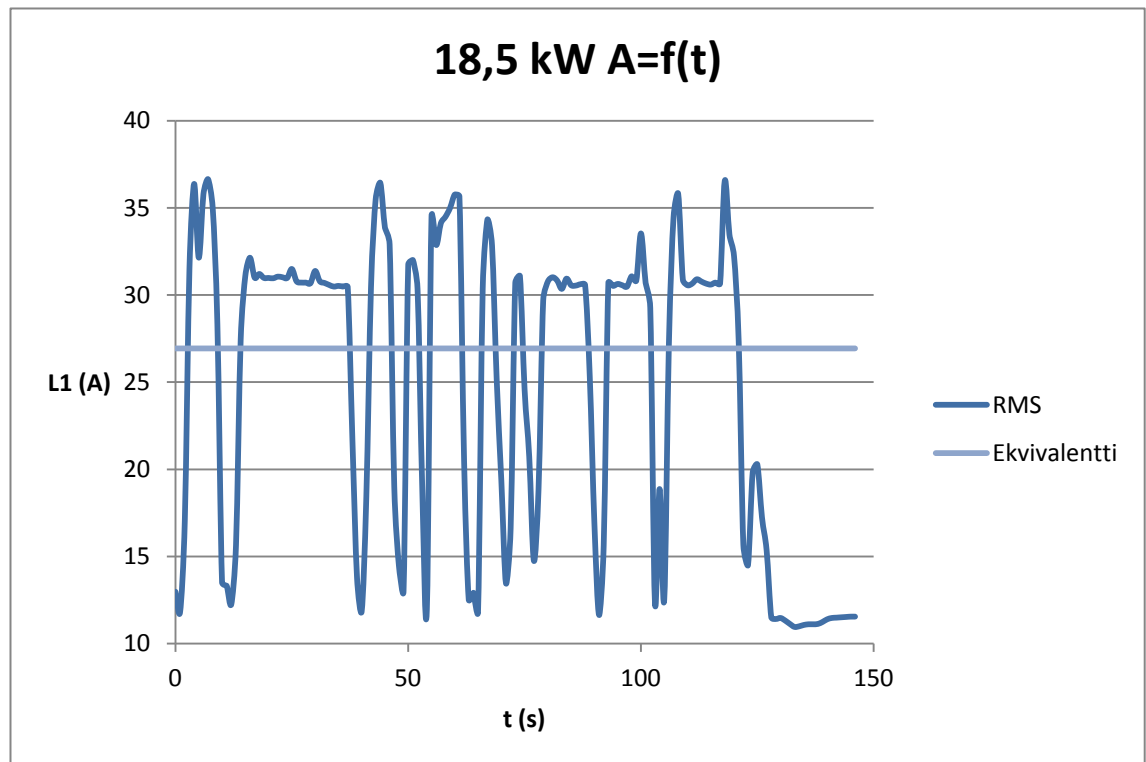
KUVA 23. 15 kW moottorin yhden vaiheen kuormituksen aikana ottama virta

### 8.3.2 18,5 kW koneen kuormituskoe

18,5 kW sähkömoottorille tehtiin myös vastaavanlainen kuormituskoe, joka kesti myös kaksi minuuttia. Mittauksen virran on esitetty kuvassa 24. Kuvasta nähdään, että kuormituksen aikana moottori on ottanut verkosta pääasiassa 31 A virtaa. Kuvassa esiintyy myös joitain suurempia virtapiikkejä kuormituksen yhteydessä, jolloin virta on käynyt jopa 36 A. Moottorin ekvivalentti virta on ollut noin 27 A ja tyhjäkäynnissä moottorin ottama virta on ollut noin 12 A. Myös 18,5 kW moottorin ekvivalentti saatiin laskettua kaavalla 5.

$$I_{e 18,5kW} = \sqrt{\int_0^t \frac{I^2 dt}{t}}$$

$$= \sqrt{\frac{\sum I^2 \cdot \Delta t}{t}} = \sqrt{\frac{(12,97)^2 A \cdot 1 s + \dots + (11,54)^2 A \cdot 1 s}{1 s + \dots + 1 s}} = 26,94$$



KUVA 24. 18,5 kW moottorin yhden vaiheen kuormituksen aikana ottama virta ajan funktiona

## 8.4 Johtopäätöksiä mittauksista

### 8.4.1 Moottoreiden kuormitus

Hydraulipuolen mittaustuloksista nähtiin, että pienemmälle vasaralle mennyt hydraulinen tuotto on ollut aivan pumpun ylärajoilla. Paine oli noin 130 bar. Tällöin hydraulinen tehontarve lähentelee 15 kW tehoa. Koska mittaukset otettiin vasaralinjasta, ei mittauksista näe puomin liikkeitä. Puomia liikutettaessa paine nousee, joka vastaavasti nostaa tehontarvetta ja aiheuttaa moottorin ylikuormituksen.

Syy, miksi pienempi vasara otti suuremman tehon, kuin mitä valmistaja ilmoitti, ei ole varmuutta. Tuotekehitysinsinööri Riku Lehtisen mukaan syy on saattanut johtua siitä, että vasara on pienempi, jolloin liikkuvat massat ovat pienemmät ja iskutiheys on ollut suurempia kuin sallittu tai suurempi kuin isolla vasaralla. Myös järjestelmässä olleet kuristukset, vuodot tai painerajat ovat saattaneet vaikuttaa tähän.

Isomman vasaran hydraulimittauksista havaittiin, että isompi vasara, jolle valmistaja on luvannut isomman tehon, jää kuitenkin alakanttiin ilmoitetusta tehosta. Jotta todellisesta tehontarpeesta olisi saatu parempaa tietoa, olisi mittaukset tulleet tehdä samalla koneella. Isomman vasaran tehonpuute saattaa johtua alakanttiin jääneestä tuotosta. Tämä saattaa johtua järjestelmässä olevasta kuristuksesta, vuodoista tai mahdollisista painerajan säästöistä.

Mitatuista tuloksista voidaan laskea moottorin kuormituksella oleva akseliteho sekä momentti. Laskut sekä kaavat ovat esitetty ohessa.

Moottoreiden kuluttamat sähköverkosta ottama teho voidaan ratkaista oheisella kaavalla:

$$P_s = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (6)$$

, missä

$U$  on pääjännite

$I$  on vaihevirta

$P_s$  on sähköinen teho

$\cos \varphi$  on tehokerroin

Kun tiedetään moottorien kuluttamat virrat, jännitteet sekä tehokertoimet voidaan kaavalla 6 laskea moottorien kuluttamat sähköiset tehot.

$$P_{s\ 18,5\ kW} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 400\ V \cdot 31\ A \cdot 0,9 = 19312,38\ W$$

$$P_{s\ 15\ kW} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 400\ V \cdot 37\ A \cdot 0,87 = 22281,92\ W$$

Saaduista sähköisistä tehoista saadaan akseliteho kaavalla 6.

$$P = P_s \cdot \eta \quad (6)$$

, missä

$\eta$  on moottorin hyötysuhde

Moottorien kuormituksen aikaiset akselitehot ovat siis:

$$P = P_{s\ 18,5\ kW} \cdot \eta_1 = 19312,38\ W \cdot 0,905 = 17477,70\ W$$

$$P = P_{s\ 15\ kW} \cdot \eta_2 = 22281,92\ W \cdot 0,895 = 19942,32\ W$$

Saaduista moottorien akselitehoista voidaan laskea niitä vastaava moottorin momentti kaavalla 1.

$$T_{18,5\ kW} = \frac{17,478\ kW \cdot 9550}{1470\ rpm} = 113,55\ Nm$$

$$T_{15\ kW} = \frac{19,942\ kW \cdot 9550}{1460\ rpm} = 130,44\ Nm$$

Tuloksista nähdään, että 15 kW moottori oli tällaisessa kuormituksessa 1,32-kertaisella ylikuormituksella verrattuna nimellismomenttiin. 18,5 kW moottorin sen sijaan oli kuormituskokeissa pääsääntöisesti alle nimellismomentin, joka on 120 Nm. Myös 18,5 kW moottorin akseliteho jäi alle nimellistehon, toisin kuin 15 kW moottorin, jonka akseliteho oli jopa 19,9 kW.

## 8.5 Ratkaisut

### 8.5.1 Moottoreiden ylikuormituksen estäminen

Mittausten osittain epäonnistuessa, ei moottorien todellisesta virran tarpeesta ole varmuutta. Teoriatasolla laskettuna kuorma, jonka 18,5 kW moottori vielä kestäisi ilman ylikuormitusta, olisivat järjestelmän arvot seuraavanlaiset. Tilavuusvirran tulisi olla 66,15 l/min, käyttöpaineen 168 bar. Nämä arvot siis silloin, kun pumpun kierrostilavuus on 45 cm<sup>3</sup>/r. Tällöin pumpun tarvitsema teho sähkömoottorilta olisi 18,5 kW, momentti

120,3 Nm ja kierrosnopeus 1470 rpm. Näin moottori pysyisi nimellisessä pisteessä. Laskuissa ei ole huomioitu hyötysuhteita.

Vastaavat teoreettiset arvot 15 kW moottorilla olisivat seuraavat, mikäli pumpun kierrostilavuus on  $45 \text{ cm}^3/\text{r}$ . Tilavuusvirran tulisi olla 65,7 l/min ja käyttöpaineen 137 bar. Tällöin pumpun moottorilta tarvitsema teho olisi 15 kW, momentti 98 Nm ja kierrosnopeus 1460 rpm. Myös 15 kW moottori toimisi näin nimellispisteessään.

Mikäli pumpun kierrostilavuutta kuitenkin tiputettaisiin esimerkiksi  $15 \text{ cm}^3/\text{r}$ , tippuisi tällöin pumpun tarvitsema momentti lähes puoleen. Tällöin kuitenkin pumpun tarvitsema pyörimisnopeus taas kaksinkertaistuisi, jotta saataisiin 66 l/min tuotto. Tällöin tarvittaisiin kaksinapainen moottori. Kaksinapaisissa moottoreissa momentin tuotto vain on puolet huonompi, kuin nelinapaisissa moottoreissa. Eräs purkukoneiden valmistaja kuitenkin käyttää koneissaan kaksinapaisia moottoreita.

Tuotekehitysinsinööri Riku Lehtisen mukaan Sauer-Danfossilta on tulossa uusi hydraulikkapumppu, jossa on mahdollista säätää pumpun tuottamaa tilavuusvirtaa. Tilavuusvirran ja paineen mahdollistaisikin hydraulisen tehon rajoituksen ja estäisi moottorin ylikuormituksen. USA:n markkinoita ajatellen, tulisi asiaa tarkastella myös erilaisten sähköverkkojen näkökulmasta. Esimerkiksi nykyinen 18,5 kW moottori tuottaa 60 Hz taajuudella 22,2 kW akselitehoa ja pyörii nopeudella 1770 rpm.

### 8.5.2 Sulakesuojaus

Työn tarkoituksena oli pohtia moottoreiden sulakesuojausta ja pohtia mahdollisia ratkaisua näihin liittyviin ongelmiin. Näiden mittaustulosten perusteella, sekä käytön kokemuksen perusteella 18,5 kW moottorin voidaan hyvin laittaa 32 A gG-sulakkeen taakse. Epäselväksi tällä hetkellä jää, riittääkö 32 A sulake, kun isompi 17,5 kW vasara, ottaa suurempaa tehoa.

Mikäli moottori toimisi nimellispisteessään, kestäisi 32 A gG-sulake moottorin käynnistysvirran sekä itse koneen hetkellisen ylikuormitus käytön. Kuitenkin, jos koneen moottori on kovalla kuormituksella ja koneen takana oleviin pistorasioihin kytkettäisiin

kuormaa. Tällöin 32 A gG-sulake ei luultavasti enää riittäisi. Todennäköisesti tällaista tilannetta ei kuitenkaan tule vastaan.

32 A johdonsuojakatkaisija kestää tunnin ajan 1,13-kertaista nimellisvirtaa eli 36,16 A. Tämä siis todennäköisesti riittäisi, mikäli moottoria käytettäisiin nimellispisteessä. Käynnistyksen yhteydessä huippuvirta oli 112 A. Tämä on 3,5-kertainen virta sulakkeen nimellisvirtaan nähden. Pitää kuitenkin huomioida, että tämä on käynnistyksen suurin havaittu virta. Virta ei ollut koko aikaa läheskään näin suuri. Kuitenkin riippumatta olisiko moottorin käynnistysaika kaksi vai lähes kuusi sekuntia, ei käynnistysvirroissa ollut suuria eroja. Tämän takia olisi hyvä pitää pehmokäynnistimen käynnistysaika mahdollisimman lyhyenä, jolloin johdonsuojakatkaisijan terminen laukaisuaika ei tule vastaan.

Näiden mittausten perusteella 15 kW moottori sen sijaan ei mene 32 A sulakkeen taakse ainakaan tällä pumpulla. Lisäksi 15 kW moottori ei kestä pitkiä aikoja tällaisella kuormituksella. Moottorin ollessa näin suurella ylikuormituksella, aiheuttaa moottorin lämpeneminen käämieristyksen heikkenemisen ja syntyy vaara kierrosoikosululle. Jos hydraulista tehoa säädettäisiin niin, että moottori toimisi nimellisessä pisteessään, voitaisiin moottori kytkeä 32 A sulakkeen taakse. Tällöin moottori kestäisi hyvin kuormitustilanteita sekä moottorin käynnistyksen.

18,5 kW koneen suojana todennäköisesti toimisi 32 A gG-sulake tai 32 A C-tyypin johdonsuojakatkaisija. Lisäksi moottoreiden edessä oleva moottorinsuojakatkaisija toimii erinomaisena suojana moottorin ylikuormenemissuojana. Myös koneessa olevat muut sulakkeet suojaavat komponentteja ylikuormitukselta ja oikosuluilta.

Hydrauliikkajärjestelmään olisi ehkä hyvä lisätä vapaakierto, jolloin käynnistyksen aikana ei heti syntyisi painetta järjestelmään ja käynnistäminen tapahtuisi nopeammin, pienemmällä virralla ja pienemmällä momentilla. Vapaakierto mahdollistaisi myös öljyn esilämmityksen, jolloin öljyä voitaisiin lämmittää. Näin öljy olisi juoksevampaa ja käynnistyksen aikainen moottorin kuormana oleva hitausmassa pienenis.

## 9 KEHITYSIDEOITA

### 9.1 Näytön siirtäminen kauko-ohjaimeen

Työn tarkoituksena oli myös miettiä kuinka robottia voitaisiin kehittää ja mitä voitaisiin tehdä toisin. Mielestäni esimerkiksi robotin takana olevan huoltonäyttö voitaisiin siirtää lähemmäksi operaattoria. Huoltonäyttö on liitetty robotin CANOpen väylään ja sijaitsee kiinteästi koneen taakse. Huoltonäytöstä nähdään erilaisia tietoja koneesta, kuten lämpötiloja ja erinäisiä ilmoituksia. Lisäksi näytöllä voidaan parametroida robottia. Näytöstä nähtävien tietojen vuoksi olisi hyvä, mikäli koneen käyttäjällä olisi mahdollisuus nähdä tiedot konetta ajettaessa.

### 9.2 Akkuvarmennus

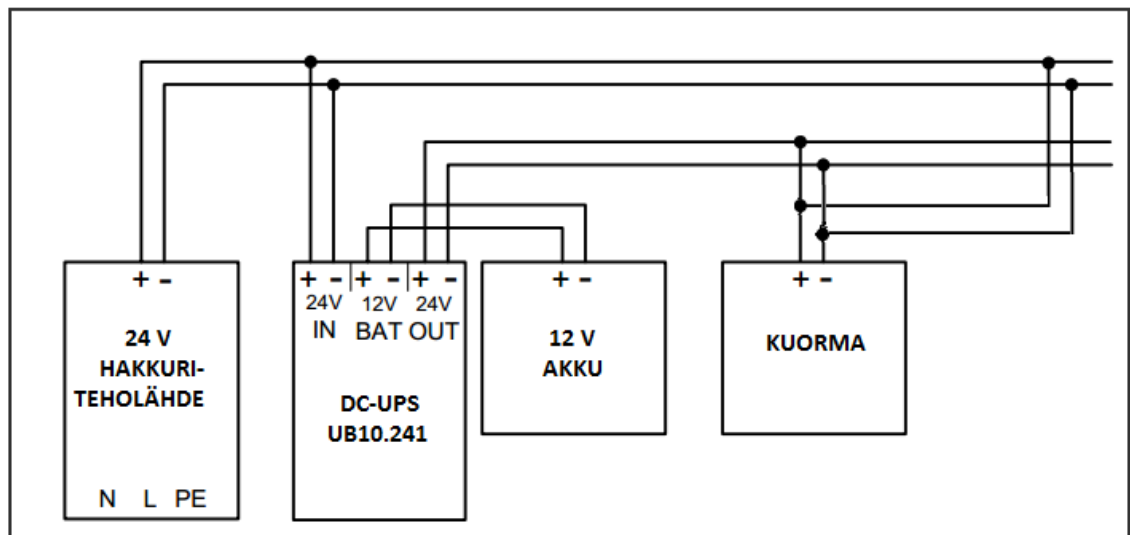
Koneessa ei ole tällä hetkellä minkäänlaista akkuvarmennusta ohjausjärjestelmälle, mikäli sähkökatkokset katkeavat. Mikäli sähkökatkokset katkeavat, kone jumittuu siihen asentoon, missä se sähkökatkoksen aikana oli, koska liikkeitä ei voida ohjata. Tällöin koneen hydraulikkaöljy ei liiku mihinkään ja koneen huoltoluukkujen avaaminen saattaa olla vaikeaa. Mikäli koneessa olisi akkuvarmennus ohjausjärjestelmälle, voitaisiin koneen proportionaaliventtiilejä ohjata auki. Tällöin hydraulikkaöljy pääsisi kulkemaan järjestelmässä. Näin ollen esimerkiksi koneen puomia voitaisiin käsivoimin vedättä ja siirtää parempaan asentoon.

Akkuvarmennus voitaisiin toteuttaa esimerkiksi käyttämällä tasavirta UPS ohjainyksikköä. Tähän tarkoitukseen soveltuisi hyvin esimerkiksi PULS Dimension tuoteperheen UB10.241 DC-UPS control unit. UB10.241 on tarkoitettu varmistamaan 24 V syötön jatkuvuuden sähkökatkon tai jännitteen vaihtelun aikana. UPS-yksikössä on ylläpitolaturin ominaisuudet, kuten ylläpitolataus, jännitteen monitorointi sekä akun kunnonvalvonta. UB10.241 on teholtaan 240 W ja nimellisvirta laitteella on 10 A ja laite voidaan asentaa DIN-kiskoon, kuten kuvasta 25 havaitaan (PULS GmbH, 2013)



KUVA 25. PULS UB10.241 DC-UPS control unit (PULS GmbH, 2013)

UB10.241 saa syöttönsä 24 V tasajännitteestä, joka tässä tapauksessa saadaan purkurobotin hakkuriteholähteestä. Koneen ollessa päällä ja verkkovirran ollessa kytkettynä lataa UB10.241 siihen liitettyä 12 V akkua. Kun verkkovirta menetetään ja syöttö UB10.241 katkeaa, alkaa UB10.241 UPS-yksikkö syöttämään siihen liitetystä 12 V akusta virtaa järjestelmään. UB10.241:ssä on jännitettä nostava hakkuriteholähde, joka kykenee muuntamaan 12 V akun jännitteestä 24 V jännitteen, joka vastaa järjestelmän nimellisjännitettä. Toimintaa on havainnollistettu kuvassa 26.



KUVA 26. Periaatekuva UPS-järjestelmän toiminnasta

Jotta järjestelmässä pysyisi ohjausjännite, tulisi UPS-yksiköltä tuoda jännitteet seuraaville liittimille. +24 V tulee kytkeä liittimiin: XAM4.4, XTM4.5 ja turvareleen liitti-

meen A1. UPS-syötön miinus tulee taas tulee kytkeä seuraaviin liittimiin: XAM4.1, XTM4.1 ja turvareleen liittimeen A2.

Koska liikkeitä ei voida ohjata ilman, että moottori pyörii ja pehmokäynnistimeltä on annettu signaali siitä, milloin moottori on saavuttanut rampin huipun, tarvitsisi tämä ohittaa. UB10.241:ssä on sisäisiä releitä, joita apuna käyttäen tämä voitaisiin toteuttaa. UB10.241 buffering-lähdön kosketin sulkeutuu aina, kun siltä katkeaa virran syöttö. Tällä lähdöllä voitaisiin ohjata toista relettä, joka yhdistäisi tarvittavat lähdöt.

Releeltä, jota UB10.241 buffering-lähtö ohjaa tarvitsisi tuoda sulkeutuvilta koskettimilta jännite pehmokäynnistimen A1-lähtöön ja miinus A2-lähtöön, jolloin liikkeitä voitaisiin ohjata. Vaihtoehtoisesti releeltä voitaisiin tuoda signaalit suoraan moduulin liittimille XAM1.9 ja XAM1.18. Moduulin AM liittimet XAM3.16 ja XAM3.11 tulisi myös yhdistää keskenään releen avulla.

UB10.241 voitaisiin sijoittaa esimerkiksi 24 V koteloon. Huomioida tarvitsisi haihduttaako kotelo tarpeeksi lämpöä. Myös akku voitaisiin sijoittaa 24 V-koteloon, mikäli se sinne mahtuu. Mikäli akku ei mahdu koteloon, voidaan sille tehdä teline ja sijoittaa se 24 V-kotelon läheisyyteen etukatteen alle. Valmistajan mukaan UPS-yksikkö lataa ainoastaan suljettuja huoltovapaita VRLA lyijyakkuja. Valmistaja suosittelee omia akkujaan, joita saa lisävarusteena ja ne voidaan kiinnittää DIN-kiskoon. Todennäköisesti myös muun valmistajan vastaavat akut soveltuisivat käyttöön.

Stroman Oy:n sähkösuunnittelijan Tuomo Rinta-oppaan mukaan itse moduulit ottavat korkeintaan vain muutaman sata milliampeeria. Proportionaaliventtiilien kelat taas ottavat noin 500 mA – 1000 mA. Tämän hetkisen hakkuriteholähteen ilmoitettu teho on 480 W ja huipputeho 720 W. Tehon tarve siis tuskin tulee nousemaan näin korkeaksi, sillä samalla kerralla ei ohjata montaa venttiiliä. UPS-yksikön ilmoitettu ulostulovirta on 10 A. Tämä virta riippuu kuitenkin akun varaustilasta, eikä virta tule olemaan 10 A ellei akku ole hyvin tyhjä. Näin ollen nykyinen hakkuriteholähde riittäisi antamaan tehoa myös UPS-yksikölle.

UB10.241 maksaa noin 300–350 €. Tähän pitäisi vielä lisätä akun hinta sekä tarvittavan releen hinta, jolloin tämä ominaisuus tulisi maksamaan noin 400 € riippuen hyvin pitkälti akusta. Toinen vaihtoehto olisi ostaa PULS:n UB10.241-N1, jossa on jo valmiiksi akku. Akun kapasiteetti on tosin puolet ajattelemastani akusta ja on kooltaan 5 Ah. Hin-

ta UB10.241-N1:lle on noin 400 €, joten hinta tulisi todennäköisesti olemaan sama näillä kahdella eri vaihtoehdolla, mutta erillisen akun ostamisella saataisiin suurempikapasiteettinen akku halvemmalla.

### 9.3 Moottorinsuojakatkaisija

Kun teimme toista kuormituskoetta 15 kW koneella, aiheutimme 32 A johdonsuojakatkaisijan toimimisen. Tällöin moottori otti jopa 50 A virtaa. Virta oli 1,5-kertainen nimellisvirtaan nähden, jolloin suojalaite kesti virtaa hieman yli minuutin. Kuitenkin, moottorinsuojakytkimen olisi täytynyt toimia ennen kuin johdon suojakatkaisijan. Tämä herätti kysymyksen, miksei moottorinsuojakatkaisija toiminut. Oliko moottorinsuojakatkaisija aseteltu väärin vai oliko se unohdettu kokonaan asetella? Moottorinsuojakatkaisijan asetukset olisi näin ollen hyvä tarkistaa.

Moottorinsuojakatkaisijasta voitaisiin vielä hyödyntää ominaisuus, jolloin moottorin ylikuumentuessa katkaistaan ohjausmahdollisuus puomistolle. Näin konetta voitaisiin vielä liikutella esimerkiksi pois mahdollisesta kuumasta tai pölyisestä ilmasta. Tällöin moottori pyörisi pienellä kuormituksella ja jäähdyttäisi samalla itseään. Mikäli lämpötila kuitenkin nousisi äkillisesti tarpeeksi ylös, katkaistaisiin moottorilta välittömästi virrat.

### 9.4 Automaattinen vaiheenkääntäjä

Koneen käyttämistä helpottaisi myös, mikäli koneessa olisi automaattinen vaiheenkääntäjä. Tällä hetkellä koneessa on vaihevahti, joka valvoo vaihejärjestystä. Jos Vaihejärjestys on väärä, ilmoitetaan tästä käyttäjälle huoltonäytön välityksellä. Tämän jälkeen käyttäjän on manuaalisesti käytävä kääntämässä koneen perässä olevasta kytkimestä, jolloin vaihejärjestys korjaantuu. Tämä voitaisiin myös toteuttaa automaattisesti korvaamalla nykyinen vaihevahti esimerkiksi ABB:n CM-MPS tai CM-MPN tyyppin releellä, joihin on saatavana lisävarusteena automaattinen vaiheenkääntöominaisuus.

## 9.5 Moottorin hätäpysäytys

Koneessa ei ole tällä hetkellä öljyn määrän valvontaa. Mielestäni tämä ominaisuus olisi hyvä olla, mikäli öljy pääsee äkillisesti pois järjestelmästä. Näin moottori voitaisiin pysäyttää, jos öljyntaso pääsee laskemaan alle määritellyn tason. Tällöin pumppu ei pääsisi pyörimään kuivana.

## **10 POHDINTA**

### **10.1 Moottoreiden ottamat virrat**

Koska mittauksissa osittain epäonnistuttiin ja kuormitukset olivat erisuuruiset, ei moottoreiden ottamista virroista voida tehdä luotettavia päätelmiä. Kun koneisiin saadaan uusi pumppu, jossa on mahdollisuus rajoittaa hydraulista tehoa, tulisi moottoreiden virrat mitata. Tällöin hydraulinen tuotto ja paine voitaisiin säätää vastaamaan moottorin nimellistehoa.

### **10.2 Huollettavuus ja uusi pehmokäynnistin**

Työn tarkoituksena oli myös miettiä komponenttien uudelleen sijoittamista ja huollon helpottamista. Kone on hyvin pieni ja komponentit ovat sijoitettuna hyvin tiiviiseen tilaan. Komponentit ovat tällä hetkellä sijoitettuna hyvin erillisiin matalan sekä korkean-jännitteen koteloihin. Kotelot ovat myös sijoitettuna niin, että ne eivät tule ottamaan vastaan mekaanista räsytystä, kuten kiveniskemiä.

Opinnäytetyön aikana mietittiin myös olisiko uudelle pehmokäynnistimelle mahdollisesti tarvetta. ABB:n PSR-mallin pehmokäynnistimiin olisi saatavana virranrajoitusominaisuus, jolloin käynnistyksen aikainen virta voitaisiin pitää halutuissa rajoissa. Tällä hetkellä en kuitenkaan näe tätä tarpeelliseksi, sillä 32 A gG-sulake kestää hyvin käynnistyksen aikaisen virran. Lisäksi PSR-tyypin pehmokäynnistin tuottaisi todennäköisesti enemmän hukkalämpöä ja tarvitsisi mahdollisesti toisenlaisen jäähdytyksen. Myös käynnistyminen olisi todennäköisesti huomattavasti hitaampaa.

### **10.3 Moottorinsuojakatkaisija**

Jatkossa tulisi moottorinsuojakatkaisijan asetteluarvot tarkistaa. Mikäli moottorinsuojakatkaisija on aseteltu moottorin nimellisvirran mukaan, mutta johdonsuojakatkaisija tai sulake toimii ennen moottorinsuojakatkaisijaa, tulisi moottorinsuojakatkaisija asettaa esimerkiksi kokeilemalla sopivia arvoja kuormittamalla moottoria.

## LÄHTEET

ABB, kahvasulakkeet. Esite.

[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/6bac18b236fde340c1257927002efd8c/\\$file/1SCC317002C1801.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/6bac18b236fde340c1257927002efd8c/$file/1SCC317002C1801.pdf). Luettu 16.3.2013.

ABB, 2007. pehmokäynnistinopas.pdf.

[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/6de96a2197b01677c125725f00468d4a/\\$file/pehmokaynnistinopas%202007%20fi.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/6de96a2197b01677c125725f00468d4a/$file/pehmokaynnistinopas%202007%20fi.pdf)

Ahoranta, J. 2005. Sähköasennustekniikka. Helsinki: Werner Söderström osakeyhtiö

Avanttecno, Avant tecno Oy, Tulostettu 26.1.2013

[http://www.avanttecno.com/www/index.php?PAGE=3&NODE\\_ID=3&LANG=1](http://www.avanttecno.com/www/index.php?PAGE=3&NODE_ID=3&LANG=1)

Avant tecno, 2013. Avant robot 185. Esite.

Avant tecno, 2012. Purkukoneen sähköpiirrustukset.

CEN/TS 13778:2004 Mobile demolition machinery. Safety requirements.

Farsi, M., Barbosa, M. 2000. CANOpen implementation. Hertforshire: Research studies press LTD.

EN 474-1:2009 Maansiirtokoneet. Turvallisuus. Osa 1: Yleiset vaatimukset.

EN 60204-1:2006 Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: yleiset vaatimukset.

Epec Oy, Ei julkinen lähde.

Epec Oy, Ei julkinen lähde.

Epec Oy, Epec 2020 control unit. Esite. [http://www.epec.fi/docs/074-9Le-epec\\_catalogue2010eng\\_page7.pdf](http://www.epec.fi/docs/074-9Le-epec_catalogue2010eng_page7.pdf)

Hager, Johdonsuojakatkaisimet. Esite.

[http://www.utupowel.fi/liitetiedosto.aspx?att=PDF/hager/tekniset\\_tiedot/6\\_johdonsuojat\\_t.pdf&s=2](http://www.utupowel.fi/liitetiedosto.aspx?att=PDF/hager/tekniset_tiedot/6_johdonsuojat_t.pdf&s=2). Luettu 16.3.2013.

Kauranne, H., Kajaste, J & Vilenius, M. 2008. Hydraulitekniikka. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit

Leguan lifts Oy, Yritys, Tulostettu 26.1.2013

<http://www.leguanlifts.com/index.php?page=yritys>

Lehtinen, R. tuotekehitysinsinööri. 2013. Haastattelu 31.1.2013, 18.2.2013 15.3.2013. Haastattelija Tikka, J. Tampere

Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: Amk-kustannus Oy Tammer-tekniikka

Keinänen, T., Kärkinen, P. Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. Werner Söderström Osakeyhtiö

Paavilainen, H. 2008. Mobilehydrauliikka.pdf  
<https://wiki.metropolia.fi/download/attachments/11637680/mobilehydrauliikka.pdf>

PULS GmbH. UB10.241 datasheet.pdf. Luettu 11.4.2013  
<http://www.pulspower.com/pdf/ubc10e241.pdf>

Päiviö, Olli. Konepörssi, Finmac F16 ahtaisiin purkutöihin - radio-ohjauksella, artikkeli. Tulostettu 23.1.2013  
<http://www.koneporssi.com/uutiset/finmac-f16-ahtaisiin-purkutoihin-radio-ohjauksella/>

Sauer-Danfoss. 2013. Series 45 axial piston open circuit pumps. Esite.

SFS. CEN/TS 13778:2004. Mobile demolition machinery. Safety requirements. 9.1.2004