

Teemu Partanen

Sähkömoottorien eristysrakenteiden koestusjärjestelmän suunnittelu ja toteutus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

7.4.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Teemu Partanen Sähkömoottoreiden eristysrakenteiden koestusjärjestelmän suunnittelu ja toteutus 39 sivua + 3 liitettä 7.4.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Laboratorioinsinööri Jani Turunen Yliopettaja Jarno Varteva
<p>Insinööriyön aiheena oli suunnitella ja toteuttaa ABB Pitäjänmäen eristyslaboratorioon koestusjärjestelmä, jolla suoritetaan suurjännite- ja lämpörasituskokeita erilaisten sähkömoottoreiden eristysrakenteille. Toimeksianto toteutettiin yhteistyössä Caverion Suomi Oy:n kanssa.</p> <p>Työ aloitettiin tutustumalla laboratoriossa jo käytössä oleviin koestuslaitteistoihin sekä laitteistojen mitoittamiseen liittyviin standardeihin. Tarkastelun pohjalta saatiin käsitys laitteiston käyttötavasta ja käyttöturvallisuuteen liittyvistä turvalaitteista. Tarkastelu osoitti myös kehityskohteita laitteiston käyttöturvallisuudessa. Laitteistosta ja käyttökokemuksista kerätyn tiedon pohjalta voitiin aloittaa uuden nykyaikaisin turvalaittein varustellun laitteiston suunnittelu ja toteutus.</p> <p>Koestuslaitteiston toteutuksen lisäksi työn tavoitteena oli myös perehtyä eristykseen liittyvään sähköfysiikkaan, induktiomootorin eristysrakenteisiin sekä niiden koestukseen. Tämän tarkoitus oli antaa riittävät perusteet, jotta voidaan ymmärtää koestusprosessi ja sen merkitys eristysten laadunvalvonnassa. Työn lopuksi myös suoritettiin induktiomootorin näytevyyh-dille suurjännitekoestukset.</p> <p>Työn lopputulokseksi saatiin toimiva ja turvallinen koestusjärjestelmä eristyslaboratorioon.</p>	
Avainsanat	eristykset, koestus, lämpövanhennus, induktiomootorit

Author Title Number of Pages Date	Teemu Partanen Designing and Construction of an Insulation Testing System of Electric Motors 39 pages + 3 appendices 7 April 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Degree Programme in Electrical and Automation Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Jani Turunen, Laboratory Engineer Jarno Varteva, Principal Lecturer
<p>The primary objective of this Bachelor's thesis work was the design and construction of an insulation test rig for the ABB insulation laboratory in Pitäjänmäki. The function of the test rig was to perform high voltage and thermal stress tests to the insulation structures of an induction motor. The assignment was carried out in co-operation with Caverion Suomi Oy.</p> <p>The study began with the examination of the test rigs currently in use in the insulation laboratory. The examination provided necessary information about the usage and safety of the test rigs. However, the examination also revealed some improving possibilities in the safety devices of the test rig. With the information received the designing and the construction of the test rig could commence.</p> <p>In addition to the design and construction of the test rig, the objective of the thesis work was to study the theory related to electrical insulations in general. The understanding of the purpose of insulation testing also required the study of physics of electric fields and structures of induction motors. The study also provided information for understanding the high voltage test which was performed to a sample coil of an induction motor as a demonstration.</p> <p>The outcome of the thesis work is a fully functioning new test rig.</p>	
Keywords	insulation materials, testing, thermal aging, induction motors

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähkökenttä	2
2.1	Sähkökentän voimakkuus, potentiaali ja jännite	4
2.2	Sähkövuo	5
3	Johteet ja eristeet	7
3.1	Teoriaa	7
3.2	Eriste sähkökentässä	8
4	Induktiomootorit	9
4.1	Teoriaa	9
4.2	Staattorin käämitys	10
4.3	Eristysrakenteiden rappeutuminen sähkömoottoreissa	11
5	Sähköpurkaukset	12
6	Eristysten rasiuskokeet	14
6.1	Syöksyaaltokoestus	14
6.2	Syklinen lämpövanhennus	15
7	Eristerakenteiden koestusjärjestelmä	16
7.1	Suunnittelu	16
7.2	Koestustilan turvallisuus	17
7.3	Koestuskeskukset	21
7.3.1	Koestuspääkeskus	21
7.3.2	Syklinen lämpövanhennuskeskus	25
7.4	Koestusmuuntajat	28
7.5	Syöttökaapeleiden mitoitus	29
8	Koestusjärjestelmän käyttöönottotarkastukset	31
8.1	Jatkuvuusmittaukset	31

8.2	Eristysresistanssin mittaus	32
8.3	Syötön automaattisen poiskytkennän testaus	33
8.4	Kiertosuunnan mittaus	34
9	Syöksyaaltokoestukset ja läpilyöntikoe	34
9.1	Kierroeristyksen koestus	35
9.2	Pääeristyksen koestus	36
9.3	Lämpilyöntikoe	37
10	Yhteenveto	38
	Lähteet	39
	Liitteet	
	Liite 1. Koestusjärjestelmän periaatekuva	
	Liite 2. Koestuspäakeskuksen piirikaavio	
	Liite 3. Syklisen lämpövanhennuskeskuksen piirikaavio	

Lyhenteet

ANSI	American National Standards Institute.
EN	Eurooppalaisessa standardisoimisjärjestössä CENissä vahvistetun standardin tunnus.
IEC	International Electrotechnical Commission, Kansainvälinen sähkötekni- nen komissio.
PLC	Programmable Logic Controller, Ohjelmoitava logiikka.
SFS	Suomen Standardisoimisliitto.

1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa ABB Pitäjänmäen eristyslaboratorioon koestusjärjestelmä, jolla suoritetaan suurjännite- ja lämpörasituskokeita erilaisten sähkömoottoreiden eristysrakenteille. Toimeksiannon toteuttaa Caverion Suomi Oy.

Insinööriyössä perehdytään eristysrakenteisiin liittyvään sähköfysiikkaan sekä yleisellä tasolla että käytännön sovellukseksi valitun induktiomootorin vyyhden suurjännitekoestuksen avulla.

Työssä käsitellään aluksi yleisesti keskeisimpiä sähköfysiikan aihealueita, jotka vaikuttavat eristykseen. Tämän tarkoitus on antaa perusteet, jonka pohjalta voidaan edetä tutkimaan induktiomootoreiden eristysrakenteisiin kohdistuvia rasituksia.

Seuraavaksi työssä perehdytään koestuslaitteiston rakenteeseen, sekä järjestelmän mitoittamiseen liittyviin standardeihin. Tämän lisäksi on myös perehdytty laitteiston käyttöön, sekä niihin liittyviin standardeihin.

Lopuksi suoritetaan induktiomootorin vyyhdille suurjännitekoestus, jonka tarkoitus on havainnollistaa koestusjärjestelmän merkitys eristysrakenteiden laadun valvonnassa.

2 Sähkökenttä

Sähkökentällä tarkoitetaan positiivisen ja negatiivisen varauksen välistä voimavaikutusta. Sähkövarausten välinen voima on vetovoima, jos varaukset ovat erimerkkiset, ja työntövoima, jos varaukset ovat saman merkkiset. Tätä ilmiötä kuvataan Coulombin lailla, joka esittää kahden pistemäisen varauksen välisen voiman suuruuden kaavan $F = k * \frac{Q_1 * Q_2}{r^2}$ mukaisesti. Kaavassa

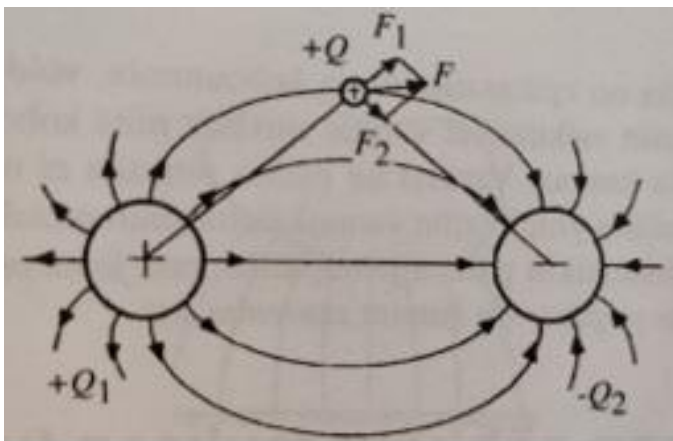
F on varausten välinen voima [Nm], newtonmetri

Q_1, Q_2 ovat sähkövaraukset [C], Coulombi

r on varausten välinen etäisyys [m], metri

k on mittajärjestelmästä ja väliaineesta riippuva vakio.

Kuvassa 1 on esitetty sähkövarauksia yhdistävät toisiinsa kuvitellut voimaviivat, joita pitkin voimavaikutus siirtyy. Sähkökentän ja sitä kuvaavien voimaviivojen suunta määritellään kentän eri kohdissa positiiviseen varaukseen vaikuttavan voiman suunnaksi. Kenttäviivojen määrä on verrannollinen sähkökentän voimakkuuteen. (Aura & Tonteri 2009: 13.)



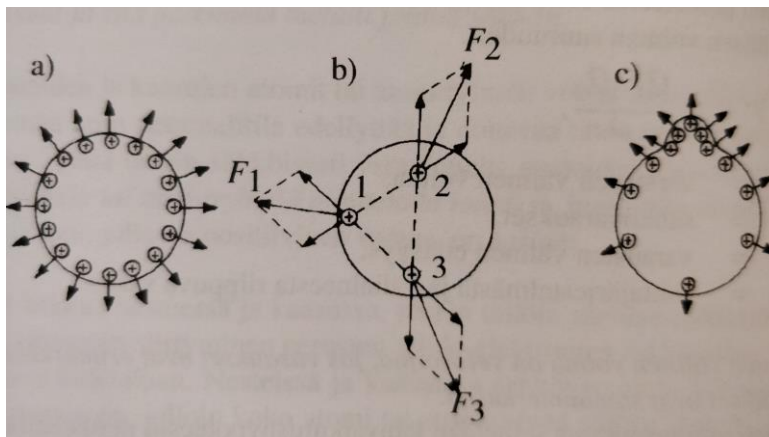
Kuva 1. Kahden erimerkkisen yhtä suuren varauksen muodostama sähkökenttä (Aura & Tonteri 2009: 13).

Sähkökentän kenttäviivat kulkevat positiivisesta negatiiviseen, jolloin kahden toisiaan lähellä olevan varauksen sähkökenttä on muodoltaan dipoli. Dipolimaisen kentän muodolla voidaan perustella sähkövarausten hajautuminen johteessa. Kyseistä ilmiötä voidaan tarkastella pyöreään johdepallon avulla. (Aura & Tonteri 2009: 14.)

Johdepallon sisällä oleviin varauksiin vaikuttaa eri varausten aiheuttamien työntövoimien summa eli resultantti. Resultantti suuntautuu aina pallon pintaa kohti ja varauksen ollessa pallon pinnalla vaikuttaa siihen voima, joka on kohtisuorassa pallon pintaa vastaan. Pallon ollessa täysin symmetrinen sen pinnalla oleviin varauksiin vaikuttavat pinnan suuntaiset voimat, jotka kumoavat toisensa ja varaukset jakautuvat tasaisesti pallon pinnalle. Tällöin varausten määrä pinta-alayksikköä kohti, eli varauskate, on vakio. (Aura & Tonteri 2009: 14.)

Kuvassa 2b on esitetty johdepallossa olevien varausten toisiinsa kohdistamat voimavaiikutukset, joiden vuoksi varaukset hajaantuvat johdinpallon seinämille kuten kuvassa 2a.

Jos pallon pinnalla on epätasaisuuksia, voidaan kuvan 2c perusteella havaita varausten kasautuvan pinnan kohoutumaan, jolloin myös varauskate kasvaa kyseisessä kohdassa pallon pinnan katetta suuremmaksi. (Aura & Tonteri 2009: 13–14.)



Kuva 2. a) Varausten hajaantuminen johdepallossa b) Johdepallon sisällä oleviin varauksiin vaikuttavat voimat. c) Pinnan epätasaisuuden vaikutus varausten jakautumiseen. (Aura & Tonteri 2009: 14.)

2.1 Sähkökentän voimakkuus, potentiaali ja jännite

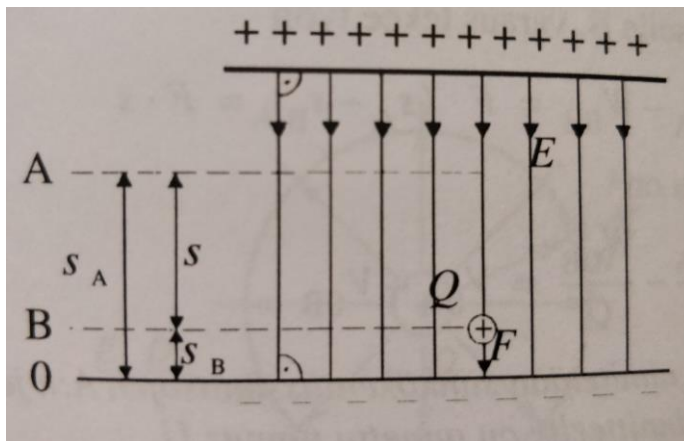
Sähkökentän voimakkuudella tarkoitetaan sähkökentässä olevaan positiiviseen varaukseen vaikuttavaa voimaa varausyksikköä kohti kaavan $E = \frac{F}{Q}$ mukaisesti. Kaavassa

E on sähkökentän voimakkuus $[\frac{N}{As}]$, $\frac{\text{newton}}{\text{Ampeerisekunti}}$

Q on sähkökentässä oleva varaus [C], Coulombi

F on sähkökentässä olevaan varaukseen vaikuttava voima [N], newton.

Kuvassa 3 varaukseen Q vaikuttaa voima F , jolloin varausta siirrettäessä tasolta A tasolle B täytyy tehdä työtä potentiaalienergian kumoamiseksi. Kyseinen työ lasketaan pisteissä A ja B nollassa nähden.

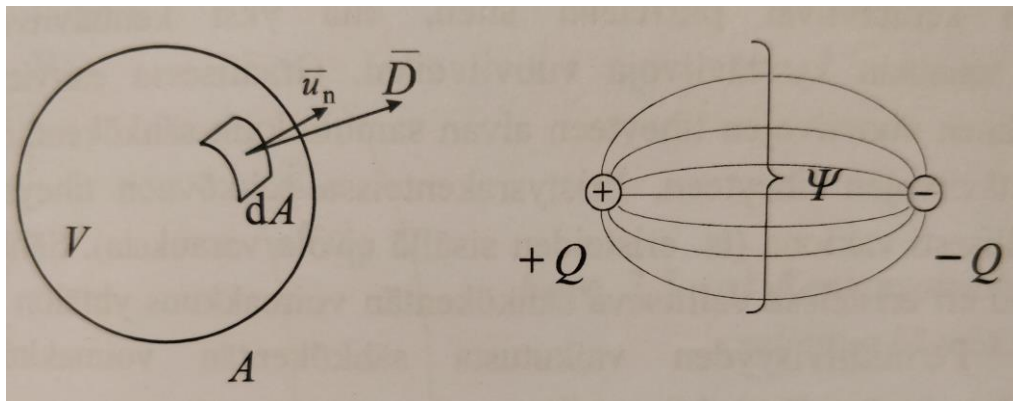


Kuva 3. Positiiviseen varaukseen vaikuttava homogeeninen sähkökenttä (Aura & Tonteri 2009: 17).

Potentiaalienergia varausyksikköä kohti on sähkökentän pisteen potentiaali, jota merkitään tunnuksella V . Potentiaalienergia varausyksikköä kohti voidaan laskea pisteessä A kaavan $V_{0A} = \frac{F \cdot s_A}{Q}$ mukaisesti ja pisteessä B kaavan $V_{0B} = \frac{F \cdot s_B}{Q}$ mukaisesti. Tätä A- ja B-pisteen välistä potentiaaliero $U_{AB} = V_{0A} - V_{0B}$ kutsutaan jännitteeksi U [V], voltti. (Aura & Tonteri 2009: 17–18.)

2.2 Sähkövuo

Staattisen sähkökentän lähteenä on aina sähkövarauksia. Sähkövarausten synnyttämää sähkökenttää voidaan tarkastella sähkövuon avulla. Sähkövuon voidaan ajatella koostuvan vuoalkioista siten, että jokaisesta positiivisesta varausalkiosta lähtee varausalkion suuruinen vuoalkio, joka kulkee kenttäviivojen suuntaisesti. Tietystä varauksesta lähtevä kokonaissähkövuo on siitä lähtevien vuoalkioiden summa. Kuvassa 4 on esitetty sähkövarauksen ja sen synnyttämän sähkövuon välistä yhteyttä. (Aro ym. 2017: 22–23.)



Kuva 4. Varauksesta lähtevä sähkövuo (Aro ym.2017: 23).

Kuvassa 4 varauksesta Q lähtee sähkövuo Ψ siten, että tietyn tilavuuden V sisältäessä kokonaisvarauksen Q on tilavuutta V ympäröivän pinnan A kautta kulkeva kokonaissähkövuo Ψ . Homogeenisessa ja isotrooppisessa väliaineessa sähkövuon Q tiheys saadaan laskettua kaavasta $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$. (Aro ym. 2017: 23.) Kaavassa

\vec{D} on sähkövuon tiheys $[\frac{C}{m^2}]$, $\frac{\text{Coulombi}}{\text{metri}^2}$

ϵ on väliaineen permittiviteetti $[\frac{As}{Vm}]$, $\frac{\text{Ampeerisekunti}}{\text{Volttimetri}}$

\vec{E} on sähkökentän voimakkuus $[\frac{N}{As}]$, $\frac{\text{newton}}{\text{Ampeerisekunti}}$

Suure ϵ tarkoittaa eristeen kykyä rajoittaa sähkökentän voimakkuutta. Eristeen permittiivisyys ϵ lausutaan yleensä suhteellisena permittiivisyytenä ϵ_r . Suhteellinen permittiivisyys saadaan laskettua kaavasta $\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$. (Aro ym. 2017: 22–23.) Kaavassa

ϵ_r on väliaineen suhteellinen permittiviteetti

ϵ on väliaineen permittiviteetti

ϵ_0 on Tyhjiön permittiviteetti $8,85 \cdot 10^{-12} \left[\frac{As}{Vm} \right]$.

Käytännön eristysrakenteiden suunnittelun kannalta eristeen permittiivisyydellä on suuri merkitys, sillä eristysrakenteen koostuessa useista eri eristeistä on suuremman permittiivisyyden omaavassa aineessa tietyllä sähkövuontiheydellä pienempi sähkökentän voimakkuus. (Aro ym.2017: 23.)

Taulukossa 1 on esitetty erilaisten eristeiden suhteellisia permittiivisyyksiä.

Taulukko 1. Eristeiden suhteellisia permittiivisyyksiä (Aro ym.2017: 23).

Eriste	Suhteellinen permittiivisyys
ilma	1,006
muuntajaöljy	2,2–2,5
polypropyleeni	2,2
paperi (kuiva)	2–3
öljyimpregnoitu paperi	2–4
epoksihartsi	3–6
posliini	5–6,5
kiille	5–7

3 Johteet ja eristeet

3.1 Teoriaa

Sähköstatiikan kannalta tutkitaan aineen kykyä johtaa tai rajoittaa sähkökentän voimakkuutta. Tällöin puhutaan johteista ja eristeistä. Käytännössä markkinoilla ei vielä ole ideaalisia johteita tai eristeitä vaan aina esiintyy tehohäviöitä.

Sekä eristeet että johteet koostuvat atomeista, joista rakentuvat molekyylit. Atomi rakentuu positiivisesti varautuneesta ytimeistä ja sitä ympäröivästä negatiivisesti varautuneesta elektronien muodostamasta elektronipilvestä. Voidaan yksinkertaistuksen vuoksi ajatella elektronipilven koostuvan päällekkäisistä ”elektronikuorista”.

Hyvin johtavassa aineessa on tyypillisesti vajaa uloin elektronikuori tai osittain päällekkäinen elektronikuori viereisen atomin kanssa, jolloin elektronien energiatilan muuttamiseen tarvitaan hyvin pieni energia. Tällöin pienikin ulkoinen sähkökenttä pystyy irrottamaan johteesta varauksen kuljettajia. Johtamattomissa aineissa uloin elektronikuori on täysi, jolloin varauksen kuljettamiseen tarvitaan hyvin suuri energia. (Aro ym.2017: 52.)

Kun sähköä tuotetaan voimalaitoksissa, tuotetaan potentiaaliero, joka aiheuttaa voimavaikutuksen eli sähkökentän positiivisiin ja negatiivisiin varauksen kuljettajiin. Jotta varauksen liike johtimessa eli sähkö saadaan liikkumaan haluttuun suuntaan, täytyy sähkökenttä saada johtimen suuntaiseksi. Eli käytännössä sähkökentän voimakkuus halutaan säilyttää johtimessa, mutta rajoittaa johtimen ulkopuolella.

Kaavan $\bar{D} = \epsilon \bar{E}$ mukaisesti sähkökentän voimakkuus \bar{E} laskee, kun kasvatetaan permittiviteettiä ϵ . Tästä voidaan nähdä, että sähkökenttä on aina voimakkain väliaineessa, jossa on pienin permittiviteetti. Tästä syystä tarvitaan erilaisia eristeitä. Tällaisia eristeitä ovat esimerkiksi kaasut, öljyt, muovit, paperiset-, lasiset-, ja keraamiset eristeet.

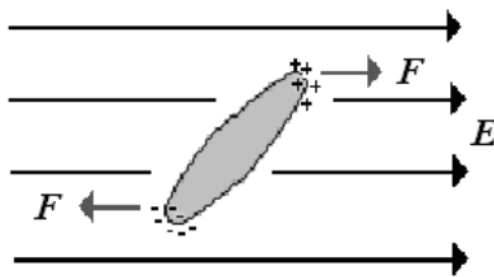
Eristysrakenteet koostuvat yleensä eri eristeiden yhdistelmistä. Eristysrakenne valitaan olosuhteiden, käyttötarkoituksen ja kustannusten mukaan sopivaksi. Esimerkiksi sähkönsiirtoverkossa on käytössä ilmaeristeiset ilmakaapelit, jotka riippuvat sähköpylväissä keraamisten tai lasisten lautaseristimien avulla, jakelumuuntajissa käytetään muuntaja-

öljyä ja öljykyllästettyä paperia, kytkinlaitoksissa SF₆-kaasua. Tässä työssä tutkitaan sähkömoottoreiden eristysrakenteita sekä niiden koestusta ja laadun valvontaa.

3.2 Eriste sähkökentässä

Polarisaatio

Eristeen ollessa vaihtojännitesähkökentässä tapahtuu eristeessä molekyylien uudelleen järjestymistä, mikä johtuu sähkökentän eri suuntiin vetävästä voimavaikutuksesta molekyylin positiivisiin ja negatiivisiin osiin. Molekyylit pyrkivät kääntymään sähkökentän suuntaiseksi muodostaen sähködipoleja. Sähkökenttä vaihtaa suuntaa verkon taajuuden mukaan, jolloin myös sähködipolit vaihtavat suuntaansa sähkökentän mukana. Tätä kutsutaan polarisaatioksi. Kuvassa 5 on havainnollistettu molekyylin polarisoitumista. (Aro ym.2017: 53.)



Kuva 5. Molekyylin polarisoituminen sähkökentässä (Nurmi 2005: 8).

Dielektriset häviöt

Koska eristeet eivät ole ideaalisia, syntyy eristeessä polarisaation vaikutuksesta tehohäviöitä. Näitä häviöitä kutsutaan dielektriseksi häviöiksi. Dielektriset häviöt syntyvät dielektrisestä jälkivaikutuksesta ja molekyylikitkasta. Molekyylikitkan aiheuttavat eristeeseen molekyylien keskinäiset kitkat, jotka myös rajoittavat niiden liikettä.

Koska sähködipolit pyrkivät eristeessä vaihtamaan suuntaansa sähkökentän mukaan, vaikuttaa niiden liikkeeseen molekyylien hitausmomentti. Tämä hidastaa polarisoitumista, jolloin polarisoituminen jää aina jonkin verran jälkeen polarisaation aiheuttavasta sähkökentästä. Tätä kutsutaan dielektriseksi jälkivaikutukseksi. Mikäli eriste on tasajännitesähkökentässä, ei tällöin kentän suunta vaihdu ja häviöksi jää ainoastaan eristeeseen vuotovirroista johtuva häviö. (Aro ym.2017: 54.)

4 Induktiomootorit

4.1 Teoriaa

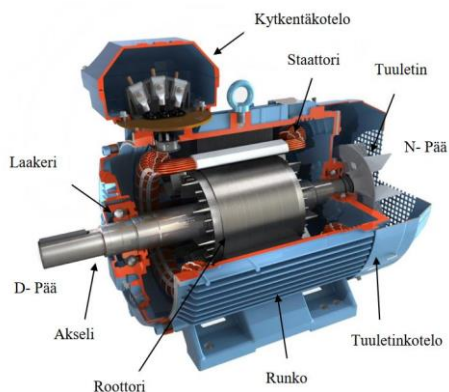
Induktiomoottori on yksinkertaisuutensa ja kestävyytensä vuoksi yleisin teollisuudessa käytettävä sähkömoottorityyppi. Moottorin käyttökohteita ovat mm. puhaltimet, pumput, nosturit ja kuljetinlaitteet.

Induktiomootorit rakentuvat yksinkertaisuudessaan liikkumattomasta staattorista ja pyörivästä roottorista. Induktiomoottorissa sähkö johdetaan kytkentäkotelon kautta staattorin käämeihin, josta sähköteho välittyy sähkömagneettisen induktion avulla roottorisauvoihin. Staattorin magneettikentän ja roottorivirran välille syntyy magneettinen voimavaikeutus, jonka vuoksi roottori alkaa pyöriä.

Moottorin runkoon asennettu staattori rakentuu rautalevysydäimestä, jonka uriin asetellaan kerroseristetyt käämitykset. Käämitysten päät on vaiheistaen yhdistetty toisiinsa ja vaihejohtimet on tuotu kytkentäkoteloon.

Staattorin sisällä pyörivässä roottorissa on myös rautalevysydän, urat sekä käämitys. Roottorissa käämien eli roottorisauvojen päät on yhdistetty toisiinsa oikosulkurenkaalla. Roottorin akselin N-päässä on tuuletin, joka jäähdyttää moottorin runkoa.

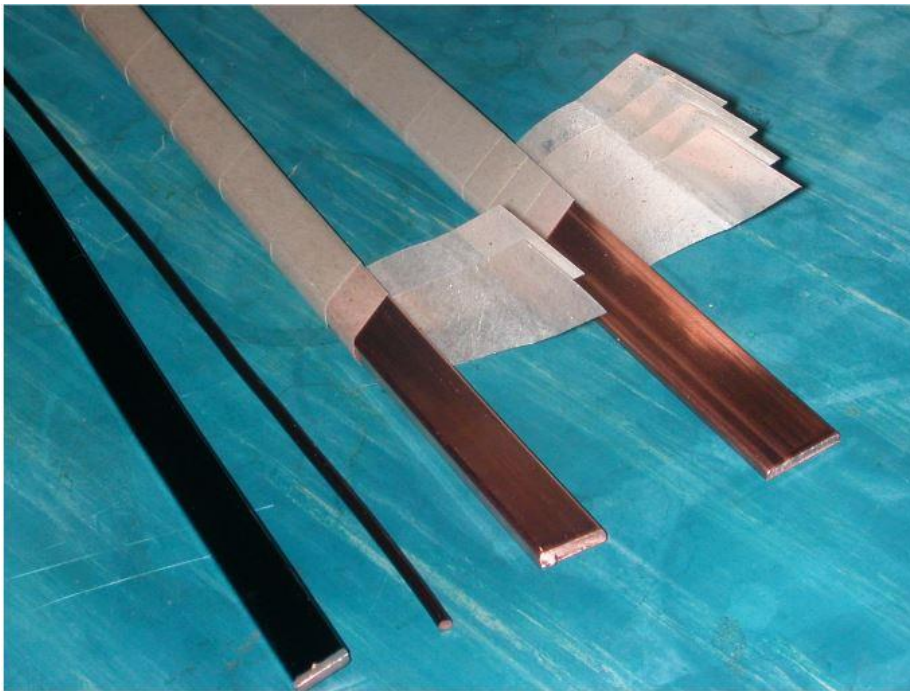
Moottori voi toimia myös generaattorina. Tällöin mekaaninen teho pyörittää roottoria, jolloin sähkömagneettinen induktio saa aikaiseksi jännitteen moottorin napoihin. Induktiomoottorin rakenne on esitetty kuvassa 6. (Hietalahti 2011: 59–60.)



Kuva 6. Induktiomoottorin rakenne (Seppälina 2014: 15).

4.2 Staattorin käämitys

Staattorin käämitys koostuu useista staattoriuriin asetetuista vyyhdeistä ja niitä yhdistävistä liitoksista. Vyyhdet voidaan valmistaa eristetyistä pyörö- tai muotolangasta. Tyypillisesti langan materiaalina käytetään kuparia hyvän sähkönjohtavuuden ja muokattavuutensa vuoksi. Kuvassa 7 on yleisimpiä vyyhdeissä käytettyjä kuparijohtimia. Vasemmalta alkaen emalieristeinen muotokuparijohdin, emalieristeinen pyörölanka sekä kaksi erilaista kiille-eristeistä muotokuparijohdinta.



Kuva 7. Erilaisia kuparilankatyyppejä (Metsberg 2006: 9).

Vyyhdin valmistus aloitetaan kelaamalla eristettyä kuparilankaa kelauskoneella tietyn pituisiksi aihioiksi. Aihion kierroslukuun vaikuttaa moottorilta halutut ominaisuudet. Kelattuun aihioon lisätään riittävin välein tukiteipit, jotka pitävät kierrokset paikoillaan aihion levityksen aikana. Aihio taivutetaan levityskoneella vyyhdiksi, jonka muoto riippuu siitä, minkälaiseen moottoriin se on suunniteltu. Tämän jälkeen vyyhti voidaan eristää. (Johansson 2018.)

Vyyhdin eristykset voidaan luokitella karkeasti kahteen ryhmään. Kierroseristykset sekä pääeristykset. Kierroseristyksellä tarkoitetaan kuparilangan omaa eristystä ja pääeristyksellä tarkoitetaan eristystä, joka erottaa vyyhdin moottorin rungosta.

Pääeristyksen ensimmäisessä kerroksessa vyyhtiä vasten on tyypillisesti kiillepaperinauhalla käsin kiedotut lenkit sekä koneellisesti kiedotut suorat osuudet. Tässä vaiheessa myös laitetaan eristesukat johtimien päihin. Toisessa kerroksessa laitetaan lenkeihin eristävä pintanauha sekä puolijohtava nauha suorille osuuksille. Valmiit vyyhdit voidaan tyhjiö-painekyllästää ennen staattorin uriin asentamista tai koko staattori vyyhteineen voidaan kyllästä riippuen moottorin rakenteesta. Eristeiden materiaali ja paksuus riippuvat pääsääntöisesti johtimelle halutusta jännitelujuudesta. Kuvassa 8 on esitetty valmis eristetty vyyhti.



Kuva 8. Eristetty vyyhti (Nikkari 2018: 9).

4.3 Eristysrakenteiden rappeutuminen sähkömoottoreissa

Sähkömoottoreissa eristykset joutuvat käytössä tyypillisesti jänniterasituksen lisäksi alttiiksi myös korkeille lämpötilavaihteluille sekä tärinälle. Sähkökoneiden eristykset vanhenevat normaalissa käytössä varsin hitaasti, jolloin muutosten diagnosointi ja eristyksen kunnon valvonta on mahdollista.

Moottorin ollessa kuormituksessa staattorin vyyhdet lämpenevät I^2R -kaavan mukaisesti. Lämmöstä johtuen vyyhtien eristeiden sideaine pehmenee, jolloin moottorin värähtelyn ja käämin kuparin lämpölaajenemisen vuoksi eristys heikkenee. Sideaineen pehmentyessä värähtelyn ja lämmön yhteisvaikutuksesta eristyksen ja kuparivyyhdin välille syntyy ilmarakoja. Näihin ilmarakoihin kertyy mm. lämpötilavaihtelujen vuoksi kosteutta, jolloin läpilyöntilujuus raossa heikkenee ja syntyy osittaispurkauksia.

Osittaispurkauksissa syntyy typpioksideja, joista kosteuden vaikutuksesta syntyy typpi-happoa. Happo hajottaa orgaanisia aineita, jolloin vyyhdin eristysten sideaine alkaa tuhoutua. Eristysten heikentyessä riittävästi syntyy värähtelyn ja hankauksen vuoksi johdin- ja/tai maasulku. (Aro ym.2017: 188.)

5 Sähköpurkaukset

Eristeen ollessa sähkökentässä vaikuttaa sen yli jännite, jolloin eristeen läpi kulkee myös vuotovirtaa. Vuotovirran merkittävä kasvu ilmaisee, että eristeessä tapahtuu sähköpurkauksia tai eristys on vaurioitumassa. Eristeessä tapahtuvaa sähköpurkausta kutsutaan läpilyönniksi silloin, kun se johtaa eristeen eristysominaisuuksien täydelliseen katoamiseen. Tällöin eristeen läpi kulkee suuri virta ja jännite eristeen yli on romahtanut pieneksi.

Purkaushetkellä eristeen yli tai läpi syntyy voimakkaasti ionisoitunut hyvin kuuma kanava, valokaari. Kun purkauskanava on kahden eri eristeen rajapinnalla, joista toinen on kaasumainen (esim. ilma ja posliini), puhutaan ylilyönnistä. Kun purkauskanava syntyy nesteeseen (esim. muuntaja-öljyyn) jättää valokaari jälkeensä kemiallisia yhdisteitä ja kaasukuplia.

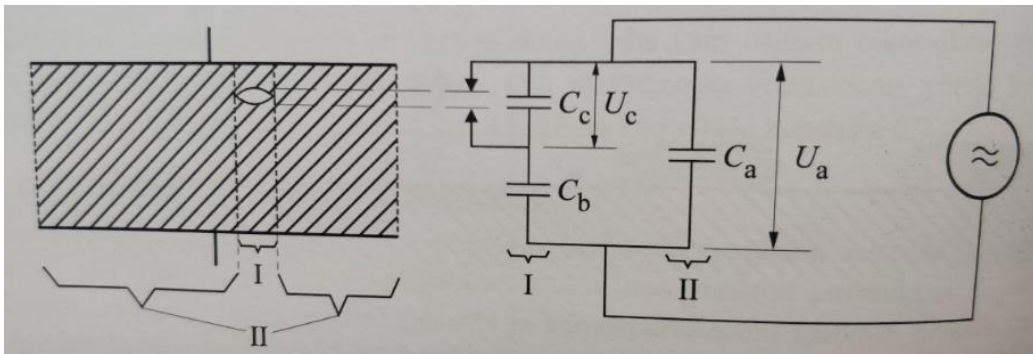
Sähköpurkauksen haitallisuus eristeelle riippuu pääsääntöisesti eristeen tyypistä. Esimerkiksi kaasueriste on vielä täysin kunnossa valokaaren sammuttua, kun taas kiinteään eristeeseen syntyy purkauskanava, jolloin eriste on käytännössä tuhoutunut.

Eristeessä voi myös esiintyä myös osittaispurkauksia, jotka kulkevat eristeessä niiden kuitenkaan läpäisemättä sitä. Tällöin sähkökentän voimakkuus ylittää kyseisen eristeen osan sähkölujuuden. Osittaispurkauksia esiintyy tasa-, vaihto- ja syöksyjännitteillä kaasuissa, nesteissä ja kiinteissä eristeissä sekä eristeiden rajapinnoilla. Osittaispurkauksien purkauslähteet voidaan jakaa karkeasti kahteen eri ryhmään: eristeen sisäiset purkaukset ja liukupurkaukset. (Aro ym.2017: 63.)

Eristeen sisäiset sähköpurkaukset

Sähkökentän kasvaessa voimakkaammaksi kuin eristeen sähkölujuudeltaan heikoin kohta syntyy eristeessä osittaispurkaus. Tyypillisesti eristeen heikoin kohta on eristeen sisällä oleva kaasukupla tai muu eristeeseen päässyt epäpuhtaus esim. metallilastu. Osittaispurkaus-ilmiön suureita voidaan havainnollisesti tarkastella yksinkertaisella eristerakenteella, jossa on kaasuontelo.

Kuvassa 9 osittaispurkaus tapahtuu niin nopeasti, että ulkoinen piiri ei ehdi vaikuttaa ilmiöön, jolloin kyseistä rakennetta voidaan kuvata kolmikapasitanssimallilla. C_c vastaa onteloa ja C_b eristettä, joka on sarjassa onteloon kanssa. C_a on C_c :tä ja C_b :tä ympäröivä eriste. Eristysrakenteessa vaikuttava vaihtojännite jakautuu kääntäen kapasitanssien suhteessa ja ontelon jännite U_c on verrannollinen koko eristysrakenteen jännitteeseen U_a . Tällöin sähkökenttä on suurempi ontelossa, kuin sitä ympäröivässä eristeessä.



Kuva 9. Eristerakenteessa oleva ontelo ja kokonaisuutta kuvaava kapasitanssimalli (Aro ym.2017: 82).

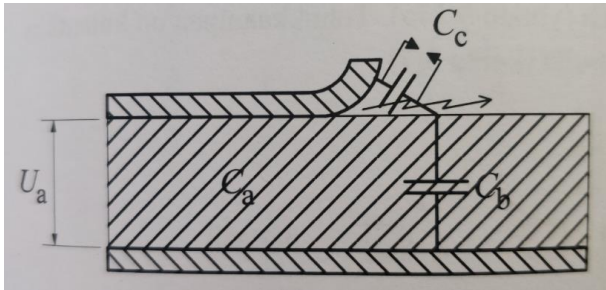
Kun jännitettä suurennetaan, ontelo syttyy tietyllä syttymisjännitteellä. Syttymistä seuraava purkaus siirtää osan varauksesta ontelon toiselle seinämälle, jolloin ontelon jännite pienenee, ja tietyllä ontelon sammumisjännitteellä purkaus sammuu. Tämä varauksen muutos säilyy uuteen purkaukseen asti, koska eristeen johtavuus on pieni. (Aro ym.2017: 81.)

Liukupurkaukset

Liukupurkaukset syntyvät voimakkaassa eristepinnan suuntaisessa sähkökentässä. Tätä ilmiötä voidaan tarkastella samalla tavalla, kuin eristeen sisäisiä purkauksia. Tällöin ontelon kapasitanssi korvataan voimakkaan sähkökentän alueen kapasitanssilla.

Kuvassa 10 tapahtuu liukupurkaus kahden eristeen rajapinnalla. Tällöin sähkökentän pinnansuuntainen komponentti on riittävän suuri voimakkaan pintapurkaukseen synty miseksi. Rajapintaa vastaan pystysuora komponentti korostaa liukupurkauksiin liittyvää ilmiötä.

Liukupurkaukset muuttavat sähkökentän jakaumaa ja johtavat helposti koko eristysrakenteen ylilyöntiin. Kapasitanssien suhteesta voidaan päätellä suurimman jänniterasituksen kohdistuvan ilmapäliin.



Kuva 10. Pintapurkausten tarkastelu analogisesti ontelopurkauksen kanssa (Aro ym.2017: 85).

Liukupurkaus syntyy kiinteän eristeen ja nesteen, tai kiinteän eristeen ja ilman välisillä rajapinnoilla. Tyypillisesti liukupurkauksia esiintyy läpivientieristeissä ja kaapelipäätteissä. Liukupurkaukset ovat erittäin haitallisia eristeelle, sillä ne kuluttavat voimakkaasti erityisesti orgaanisia eristeitä. (Aro ym.2017: 85.)

6 Eristysten rasituskokeet

6.1 Syöksyaaltokoestus

Syöksyaaltokoestuksessa koestettavaan piiriin syötetään transienttilyijännite, joka kuormittaa piirin eristystä. Eristyksen tulee kestää tietyn suuruiset ja muotoiset transientit. Eri eristysaineiden transienttikestoisuuksia ja koestusaallolle asetettuja vaatimuksia löytyy muun muassa IEC-standardeista.

Transienttilyijännitteellä tarkoitetaan loivia tai jyrkkiä syöksyjänniteaaltoja, joita aiheuttavat muun muassa sähköverkon tilamuutokset. Tällaisia muutoksia voi syntyä sekä vikatapauksissa (oiko- tai maasulku, kuorman irti kytkeytyminen, epätahtitilanne ilmastolliset ylijännitteet tms.) että muista kytkentätoimenpiteissä (virtapiirin avaaminen tai sulkeminen. (Aro ym.2017: 254–255.)

Eristyksen koestusta varten transientti eli syöksyaalto saadaan aikaiseksi syöksyaalto-generaattorilla. Syöksyaaltogeneraattorissa suurjännitekondensaattorit varataan rinnakkain koejännitteen huippuarvosta riippuvaan tasajännitteeseen, jonka jälkeen varaus puretaan koestettavaan piiriin pallokipinävälin avulla. Tällä tavalla saadaan piirin jännite nostettua erittäin nopeasti.

Piiriin syötetty syöksyaalto koostuu jyrkästä 1,2 μ s:n rintaosasta, jolloin jännite nousee hyvin nopeasti kuorman yli maksimiarvoonsa ja varauksen purkausvaiheesta eli 50 μ s:n selkäosasta. Syöksyaallon rinta- selkäosan kestoajojen suhdetta kutsutaan jännitehyötysuhteeksi. Koestettavan kappaleen kapasitanssi, resistanssi ja induktanssi vaikuttavat sekä pulssimuotoon että hyötysuhteeseen. Syöksyaaltokoestuksesta saadaan tulokseksi jännitekuvaaja, joka tallennetaan oskilloskooppiin. Saatua kuvaajaa verrataan IEC-60034-15-standardin määrittämään aaltomuotoon.

6.2 Syklinen lämpövanhennus

Syklisen lämpövanhennuksen tarkoitus on nopeuttaa sähkömoottoreiden eristysrakenteissa tapahtuvaa rappeutumista. Tällä tavoin voidaan tutkia moottoreiden eristerakenteissa pitkällä aikavälillä esiintyviä vikaantumisprosesseja kuitenkin odottamatta kohtuuttomia aikoja. Moottoreiden käyttöikä voi olla kuitenkin jopa kymmeniä vuosia.

Syklisen lämpövanhennuksen vuoksi eristeaineille voidaan määrittää laskennallinen käyttöikä. Kyseessä on kuitenkin vain arvio, koska moottorin käyttötapa ja -olosuhteet vaikuttavat olennaisesti eristeen käyttöikään. Tyypillisesti syklistä lämpövanhennusta hyödynnetään, kun vertaillaan erilaisten eristeaineiden kuormituksen sietokykyä.

Lämpövanhennuksessa staattorin käämejä syötetään suurella virralla, jolloin käämit lämpenevät hyvin nopeasti. Lämmityksessä käytettävä lämpötila tulee IEC 34-1-standardista, joka määrittää eristysaineen lämpötilaluokan. Käämin lämpötilan saavutettua eristeaineen lämpötilaluokan alkaa staattorin nopea jäähtytys. Tätä sykliä toistetaan IEC 60034-18-31-standardin mukaisesti riittävä määrä. Standardi myös määrittää syklien välissä tietyin väliajoin suoritettavat jännitemittaukset, joilla varmennetaan, että moottorin eristykset kestävät lämpötilaluokansa mukaiset lämpösyklit nimellisjännitteellä.

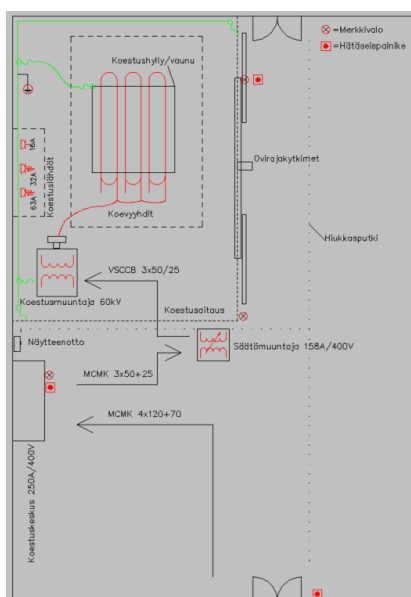
7 Eristerakenteiden koestusjärjestelmä

7.1 Suunnittelu

Induktiomootorin eristysrakenteille on asetettu paljon erilaisia laatumääritelmiä riippuen käytettävästä standardista (IEC, ANSI, SFS). Eristysten tulee kestää tietynlaisia mekaanisia ja sähköisiä rasituksia, kuten tietyn suuruiset transientit ja lämpörasitukset. Jotta voidaan todentaa, että eristysrakenteet täyttävät siltä edellytetyt ominaisuudet on eristyksille suoritettava erilaisia rasituskokeita.

Tavoitteena oli rakentaa laitteisto, jolla pystyy toteuttamaan lyhyt- ja pitkäikäisiä koestuksia turvallisesti. Suurjännitekoestuslaitteiston tehtävänä on suorittaa erilaisia jännite- ja virtakoestuksia sähkömoottoreiden vyyhtien eristysrakenteille. Tällaisia koestuksia ovat muun muassa läpilyöntikokeet, syöksyaaltokoestus, syklinen lämpövanhennus.

Koestuslaitteiston suunnittelu aloitettiin tutustumalla jo käytössä oleviin koestuslaitteistoihin ABB:n eristeainelaboratoriossa. Käytössä oli jo vastaavanlaisia kokoonpanoja, joiden pohjalta suunniteltiin nykyaikaisin koestus- ja turvalaittein varustettu koestuslaitteisto. Kuvassa 11 näkyy koestusalueen periaatekuva, jossa on esitetty tärkeimmät koestusjärjestelmän osat. Koestusaitaus turvalaitteineen, koestuspääkeskus ja koestumuuntaja, säätömuuntaja, koestuslähdöt vanhennuskeskukselle sekä koevyyhdit.



Kuva 11. Koestusalueen periaatekuva.

7.2 Koestustilan turvallisuus

Koestustilanteessa käytetään tyypillisesti suuria jännitteitä sekä virtoja. Tällöin koestettavissa kappaleissa esiintyy jännitteisiä kosketussuojaamattomia osia, sekä mahdollisesti korkeita lämpötiloja. Jotta koestukset voidaan suorittaa turvallisesti, rakennettiin koestusaitaus, jolla voitiin rajoittaa kulku koestusalueella ja suorittaa koestukset riittäväällä turvaetäisyydellä. Koska monet koestuksista ovat pitkäkestoisia, täytyi tällöin koestuksen turvallisuus varmistaa myös jatkuvan valvonnan puuttuessa. Tätä varten asennettiin koestusaitaukseen koestusjännitteen indikoinnin merkkivalot, ovirajakytkimet ja hätäseiskeytkimet. Lisäksi koestustilaan rakennettiin näytteenottojärjestelmä, joka havaitsee ilmasta kaikki tulipalossa syntyvät palokaasut ja hiukkaset. Kuvassa 12 näkyy koestusaitaus sekä vasemmalla säätömuuntaja.



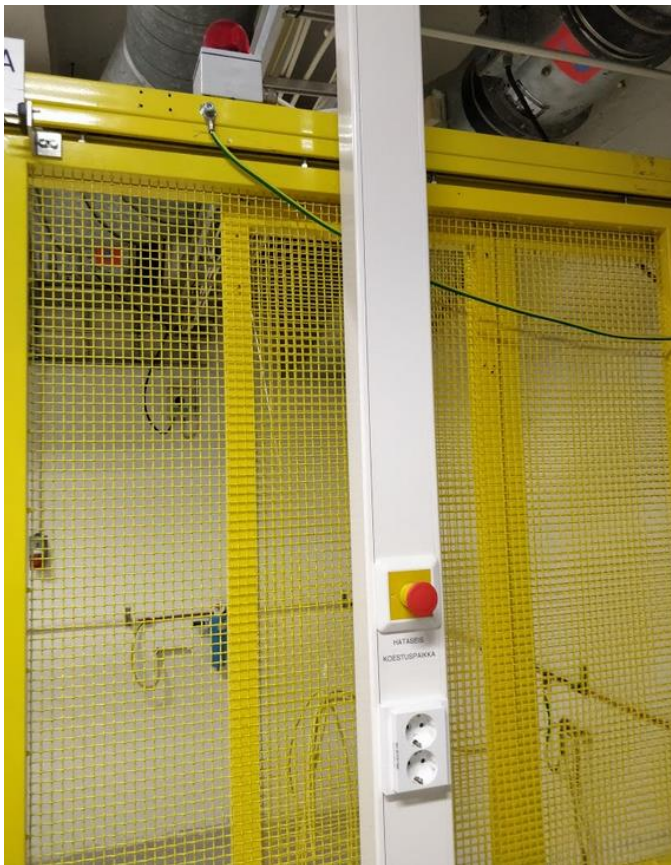
Kuva 12. Koestusaitaus sekä säätömuuntaja.

Hätä-seis-piiri

Nimensä mukaisesti hätä-seis-piirin tehtävänä on katkaista kuormavirta hätätilanteessa koestusaitauksesta. Piirin rakenteen tulee olla sellainen, että kaikki syötöt katkeavat yhden ainoan toimenpiteen avulla. Hätä-seis-piirin tulee katkaista syötöt myös piirin ohjauksijännitteen kadotessa.

Hätä-seis-piirin lauetessa koestuspääkeskuksen pääkontaktorin kärjet aukeavat, jolloin saadaan luotettavasti katkaistua kuormavirta koko koestusaitauksesta. Hätä-seis-piirin lauetta laitteen palauttaminen ei saa tehdä koestuslähtöjä jännitteisiksi. Hätä-seis-kytkimet tulee sijoittaa näkyvälle paikalle ja merkitä siten, että ne ovat helposti tunnistettavissa. (SFS-käsikirja 600-1 2012: 287–288.)

Kuvassa 13 on koestusaitauksen kulkuoven vieressä pystykouru, jossa on hyvin näkyvä keltaisella pohjalla punainen hätä-seis-kytkin. Kytkimen alla myös lukee, mille alueelle se vaikuttaa.



Kuva 13. Hätä-seis-kytkin.

Näytteenottojärjestelmä

Koestustilassa oli palkkikattorakenne, minkä vuoksi tavalliset palonilmaisimet eivät olisi välttämättä havainneet savua riittävän nopeasti. Koska koestustilassa oli useita koestusuuneja ja suurjännitekoestusaitaus, oli aiheellista asentaa näytteenottojärjestelmän imuputki koko koestustilan läpi. Tällöin voitiin varmistaa, että palonilmaisuus ja laitelähtöjen laukaisu tapahtuu mahdollisimman varhaisessa vaiheessa palon syttymisestä kaikkialla koestustilassa.

Näytteenottojärjestelmä imee putkiston kautta ilmaa koestustilasta ja analysoi ilman savupitoisuutta hyödyntäen sirontailmiötä. Ilmaisimen havaitessa savua piirikortin ohjelmoitava releen kärki sulkeutuu, jolloin saadaan ohjaus ulkoisille järjestelmille. Ilmaisimen ilmaisuherkkyyttä voidaan säätää, jotta saadaan mahdollisimman nopea ilmaisuus kuitenkin aiheuttamatta turhia hälytyksiä.

Näytteenottojärjestelmät suunnitellaan ja toteutetaan EN54-20-standardin mukaan A-, B- tai C-luokan ilmaisuherkkyydellä.

Kuvassa 14 näkyy oikealla kohteessa käytetty näytteenottolaite sekä laitteesta lähtevä imuputki. Vasemmalla näkyy laitekotelo, joka sisältää näytteenottolaitteen virtalähteen sekä akut jännitekatkojen varalta.



Kuva 14. Näytteenottojärjestelmän ohjaus- sekä akkukotelo ja näytteenottoputki.

Ovirajakytkimet

Koestustilanteessa koestusaitauksessa on kosketussuojaamattomia jännitteisiä osia, jotka aiheuttavat vaaran aitauksessa liikkuvalla henkilölle. Jotta voidaan varmistaa turvallinen työskentely aitauksessa, tulee oven auetessa koestuslähtöjen jännitteen katketa. Toiminto on toteutettu koestuslähtöjen ovirajakytkimien ohjaamalla kontaktoreilla.

Oven auetessa koestuslähtöjen kontaktoreilta häviää ohjausjännite ja kuormavirta katkeaa. Myös ohjausjännitteen katoaminen ovirajakytkimeltä katkaisee kontaktorien ohjauksen. Kuvassa 15 on ABB:n ovirajakytkin ja vastakappale, joita asennettiin yksi kappale molemmille koestusaitauksen liukuoville.



Kuva 15. Ovirajakytkimet.

7.3 Koestuskeskukset

7.3.1 Koestuspääkeskus

Koestuspääkeskuksen tehtävänä on jakaa virta kaikille koestuslaitteille, sekä ohjata koestuslähtöjä sekä normaalissa että hätätilanteessa. Keskus syöttää jännitteen säätömuuntajalle sekä muille mitta- ja apulaitteille. Kuvassa 16 näkyy koestuspääkeskus.



Kuva 16. Koestuspääkeskus.

Keskuksen mitoittaminen aloitettiin laboratorion pääkeskuksen sulakelähtöjen tarkastamisella. Käytävissä oli tässä tapauksessa 250 A:n sulakelähtö, joten tätä voitiin käyttää keskuksen mitoitusvirtana. Tällä hetkellä käyttöön tarkoitettujen laitteiden maksimi virran tarve oli noin 176 A, jolloin laajennusvaraa jäi reilusti.

Mitoituksesta siirryttiin suunnittelemaan pää- ja ohjausvirtapiirikaaviota sekä keskuksen ryhmäkaaviota. Kaaviot piirrettiin Cads electric pro-ohjelmistolla. Päävirtapiirikaavioon piirrettiin keskuksen päävirtapiirin kiskot, kaapeloinnit, kontaktorit ja kytkentäpisteet.

Keskuksen ryhmäkaavioon kirjattiin ryhmäkohtaiset virrat ja kaapeloinnit, jonka perusteella keskustoimittaja mitoitti keskuksessa käytettävät johdinpoikkipinnat, kytkentäpisteet, etukojeet sekä kontaktoreiden tyypit.

Kuvassa 17 näkyy vasemmalla pääkytkin sekä virran mittausta varten virtamuuntajat. Oikealla näkyy koestuslähtöjen pääkontaktori.



Kuva 17. Koestuspääkeskuksen pääkytkin, virtamuuntajat ja pääkontaktori.

Keskuksen ohjaukset jaettiin kahteen piiriin: hätäseis- ja ovirajaturvapiiriin.

Hätä-seis-piiriissä on turvarele, joka ohjaa suoraan keskuksen pääkontaktoria, jolloin virransyöttö saadaan hätätilanteessa katkaistua kaikista koestuslähdöistä.

Hätäseispiirissä on sarjassa kaikki hätäseiskytkimet, sekä näytteenottojärjestelmän apukärjet. Turvarele syöttää piiriin apujännitteen, jonka katketessa joko vian tai hätäpysäytyksen seurauksesta rele havaitsee jännitteen putoamisen ja avaa pääkontaktorin ohjauksen.

Piirin sulkeminen ei vielä automaattisesti sulje pääkontaktorin ohjausta, vaan turvarele täytyy kuitata erillisellä kuittauspainikkeella. Turvareleen kuittauspainike sekä tilaindikoinnin merkkivalo ovat sijoitettu keskuksen kanteen. Keskuksen kanteen on sijoitettu myös pääkontaktorin tilaindikoinnin merkkivalot ja ohjauskytkimet. Kuvassa 18 näkyy Carlo Gavazzin turvarele.



Kuva 18. Turvarele.

Kuvassa 19 näkyy koestuspääkeskuksen pääkontaktorin käyttökytkimet ja tilaindikoinnit sekä hätä-seis-painike.



Kuva 19. Koestuspääkeskuksen ohjauskytkimet, indikoinnit ja turvarele.

Ovirajaturvapiiri ohjaa koestuslähtöjen kontaktoreita, jolloin virta katkeaa vain halutuista koestuslähdöistä. Kuvassa 20 näkyy koestuslähtöjen kontaktoreita sekä keltainen turvale. Siniset releet ovat näytteenottojärjestelmän apureleitä.



Kuva 20. Koestuslähtöjen kontaktorit ja apureleet.

Ovirajaturvapiiriä ei ole varustettu erillisellä piirin kuittauskytkimellä, jolloin koestuslähdöt tulevat jännitteiksi suoraan oven sulkeuduttua, mikäli pääkontaktori on ohjattu päälle. Tällä ei kuitenkaan ole käytännössä merkitystä, sillä kaikkien koestuslähtöjen liityntäpisteet ovat kosketussuojattu pistorasioita.

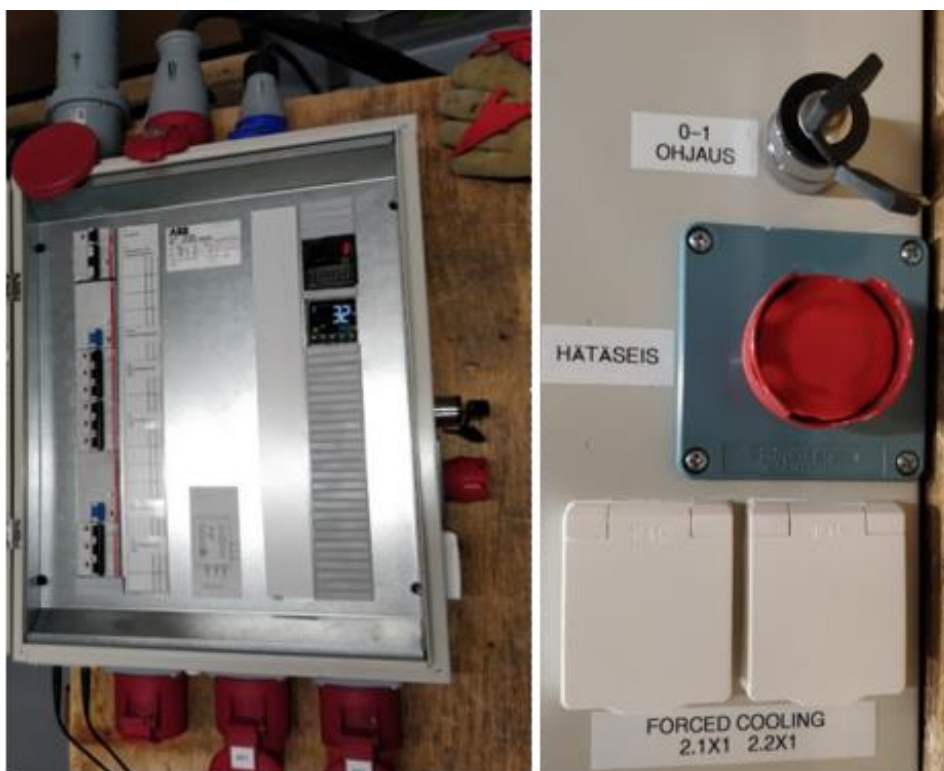
Ovirajakytkimet kuitenkin katkaisevat säätömuuntajan koestusjännitteen oven auetessa. Jännite voidaan kytkeä takaisin ainoastaan, jos ovirajaturvapiiri on suljettu ja säätömuuntajalta painettu hälytyksen kuittauksa.

7.3.2 Syklinen lämpövanhennuskeskus

Syklinen lämpövanhennuskeskus syöttää virtaa hitsausmuuntajille, jotka syöttävät koestettavan staattorin vyyhteihin suuren virran. Suuren virran vaikutuksesta staattorin vyyhdet lämpenevät hyvin nopeasti. Vyyhtien lämpötilaa seurataan lämpötilakontrollerin ja termoelementin avulla. Lämpötilakontrolleri katkoo hitsausmuuntajien virransyöttöä staattorin lämpötilan noustessa asetusarvoonsa. Kontrollerin katkaistessa virransyötön alkaa staattorin nopea jäähdytys. Staattori jäähdytetään teollisuuspuhaltimella.

Kun staattori on jäähtynyt lämpötilakontrolleriin asetettuun arvoonsa alkaa keskus taas syöttää virtaa hitsausmuuntajille ja teollisuuspuhallin pysähtyy. Staattoria lämmitetään ja jäähdytetään syklisesti haluttu ajanjakso.

Syklinen lämpövanhennuskeskus suunniteltiin asiakkaan koestuskytkennän ja kehitysideoiden pohjalta. Tarkoituksena oli rakentaa siirrettävä koestuskeskus, joka sisältäisi kaikki tarvittavat ohjaukseen ja turvallisuuteen liittyvät laitteet (Kuva 21).



Kuva 21. Syklinen vanhennuskeskus (vas.) sekä jäähdytyksen pistorasia ja käyttökytkimet (oik.).

Keskus rakennettiin kohteessa ABB:n Näpsä-keskusrunkoon. Koska keskuksen tuli olla siirrettävä, täytyi kaikkien keskuksen pää- ja ohjausvirtatulojen, sekä lähtöjen liitynnät tehdä jatkojohdoilla. Tätä varten asennettiin keskuksen tulo- ja lähtöpistokkeet (kuva 22).



Kuva 22. Syklisen vanhennuskeskuksen tuloliitännät vasemmalla ja lähtöjen liitännät oikealla

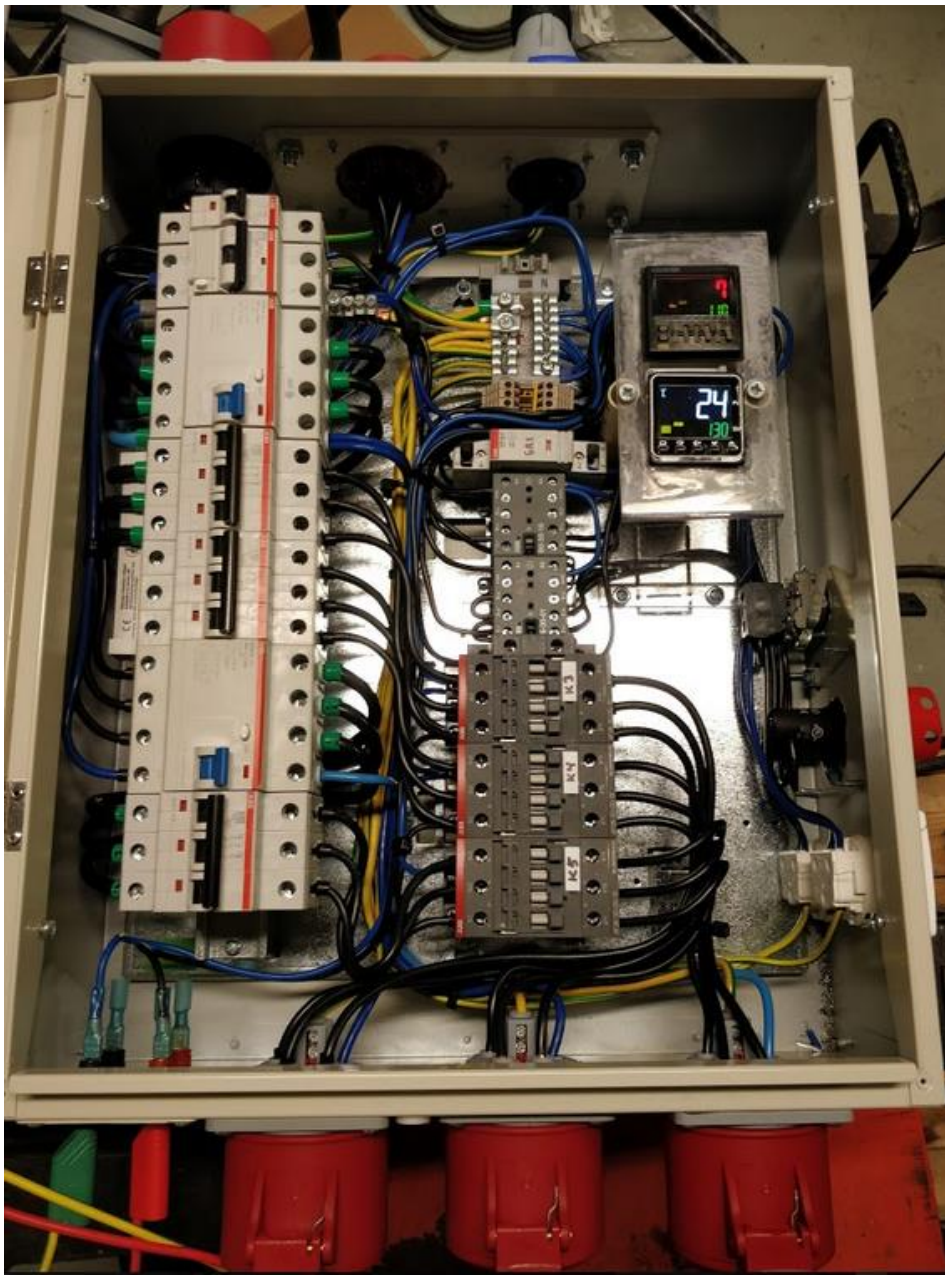
Keskuksen päävirransyöttö on toteutettu yhdellä 63 A:n ja yhdellä 32 A:n tulolla. Ohjaus- ja apulaitejännitettä varten on varattu yksi 10A tulo (kuvassa 21 vasemmalla). Lähdössä on 3 kpl 32 A:n pistorasioita sekä ulkoisen termoelementin liityntäpiste (kuvassa 21 oikealla)

Keskuksen päävirtapiiriin kuuluu kolme kappaletta ABB:n AF26-sarjan kontaktoreita, joilla katkotaan hitsausmuuntajien kuormavirtaa. Muuntajien lähdöt on suojattu automaattijohdonsuojakatkaisijoilla sekä vikavirtasuojilla SFS 6000-7-717 standardin mukaisesti.

Hitsausmuuntajien syklinen ohjaus on toteutettu Omronin digitaalisella lämpötilakontrollerilla, joka mittaa staattorin lämpötilaa termoelementillä. Ohjauspiiriin on myös kytketty Omronin laskuri, joka laskee syklien määrän. Koska keskus on siirrettävä, rakennettiin keskuksen myös oma hätäseispiiri.

Hätä-seis-piirissä on hätä-seis-kytkin sekä apurele, jonka tarkoitus on katkaista koestuslähtöjen kontaktoreiden ohjaus. Hätä-seis-kytkimen palautus palauttaa myös kontaktoreiden ohjausjännitteet. Koestuskeskuksen katsottiin olevan ainoastaan laboratorio-oloissa käytettävä apulaite, jolloin erillistä turvarelettä ei edellytetty.

Kuvassa 23 näkyy keskuksen sisällä vasemmalla johdonsuojakatkaisijat sekä vikavirtasuojat. Keskellä näkyy hitsausmuuntajalähtöjen kontaktorit sekä jäähdytyslähdön kontaktori ja ohjauksen apureleet. Oikealla näkyy lämpötilakontrolleri ja laskuri.



Kuva 23. Syklisen vanhennuskeskuksen komponentit.

7.4 Koestusmuuntajat

Koestus- ja säätömuuntaja hankittiin asiakkaan toimesta Heafely hipotronics-yritykseltä, joka toimittaa erilaisia suurjännitekoestus- ja mittalaitteistoja. Muuntajien tarkoitus on tuottaa koestettavalle vyyhdille maksimissaan jopa 60 kilovoltin jännite. Muuntajia tarvitaan tähän kaksi erilaista, jotta jännitetasoa saadaan säädettyä ja nostettua riittävän korkeaksi.

Säätömuuntaja koostuu useasta säädettävästä kelasta, joiden muuntosuhdetta pystytään säätämään muuntajan omalla PLC-logiikan ohjaamalla säätömootorilla. Säätömuuntajassa on kosketusnäyttöpaneeli, josta pystytään valitsemaan halutut koestusjännitteet sekä niiden nousu- ja laskuajat. Säätömuuntajalla on myös mahdollista toteuttaa erilaisia ohjelmoituja testisekvenssejä, joissa jännitteen suuruus, kesto, nousu- ja lasku-aika toteutuvat asetetun ohjelman mukaisesti.

Koestusmuuntajalla muunnetaan säätömuuntajan syöttämä jännite muuntosuhteen mukaisesti jopa 60 kilovolttiin asti. Kuvassa 24 näkyy vasemmalla säätömuuntaja ja oikealla alhaalla näkyy esimerkki ohjauspaneelin näyttämästä. Oikealla ylhäällä näkyy koestusmuuntaja.



Kuva 24. Säätö- ja koestusmuuntaja sekä esimerkki ohjauspaneelin näyttämä.

7.5 Syöttökaapeleiden mitoitus

Koestuspääkeskuksen virransyötön mitoituksessa tuli selvittää koestuslaitteiston maksimivirrantarve ja huomioida eri koestuslaitteiden samanaikainen käyttö. Laboratorion nousukeskuksessa oli käytettävissä 250 A:n kahvasulakelähtö, jolloin syöttökaapelin mitoitus tehtiin kyseiselle virralle. Nimellisvirran lisäksi kaapelin valintaan vaikutti myös olennaisesti kaapelointireitti ja asennustapa.

Kaapelointireitti kulki osittain vanhaa kaapelihyllyä, jolla oli myös muita kaapeleita. Tällöin kaapelin mitoituksessa täytyi myös ottaa huomioon muista kaapeleista aiheutuva lämpörasitus. Kaapelin valinnassa käytettiin apuna standardia SFS 6000-5-52, josta saatiin eri kaapeleiden kuormitettavuudet sekä korjauskertoimet eri asennustavoilla. Vaihtoehtoiksi kaapeloinnille saatiin MCMK 4x95+50 tai AMCMK 4x150+41. Valintaan vaikutti kaapelin hinnan lisäksi myös asennustapa. Kuvassa 25 näkyy vasemmalla MCMK-kaapeli ja oikealla AMCMK-kaapeli.



Kuva 25. MCMK- ja AMCMK-kaapeli (Ahlsell 2019).

Kaapelointireitti oli haasteellinen tilan puutteen vuoksi, jolloin kaapelin poikkipinta-ala vaikutti merkittävästi asennuksen onnistumiseen. Alumiinikaapeli olisi hinnan puolesta ollut edullisempi vaihtoehto, mutta koska kaapelin poikkipinta-ala kasvoi tuolloin merkittävästi, päätettiin käyttää poikkipinta-alaltaan reilusti pienempää kuparikaapelia.

Säätö- ja koestusmuuntajan kaapelointi mitoitettiin laitevalmistajan edellyttämälle 160A virralle. Tällöin säätömuuntajan syöttökaapeliksi valittiin SFS 6000-5-52-standardin mukaisesti MCMK 3x50+25. Koska koestusmuuntajan paikka voi mahdollisesti siirtyä puhtaasti tällöin puolikiinteästä asennuksesta, jolloin koestusmuuntajan syöttökaapeliksi valittiin kumikaapeli H07RN-F 3x50.

Maadoitukset

Maadoitusten ja potentiaalintasauksien pääasiallisena tehtävänä sähköturvallisuuden kannalta on rajoittaa sähkölaitteistossa tai sähköverkossa syntyneiden vikojen yhteydessä esiintyviä kosketusjännitteitä. Nimensä mukaisesti maadoituksen tarkoitus on johdattaa vaaralliset vikajännitteet maahan turvallista reittiä. Tämä toteutetaan tyypillisesti yhdistämällä kaikki jännitteelle alttiit osat rakennuksen perustusmaadoituselektrodiin. Tällaisia jännitteelle alttiita osia ovat esim. sähkölaitteiden metallikuoret, LVI-laitteistot, metalliset kaapelireitit.

Koestushuoneessa oli jo ennestään asennettuna seinällä 120 mm²:n kuparijohdin, joka oli yhdistettynä päämaadoituselektrodiin. Tästä johtimesta otettiin haara koestuslaitteiston potentiaalintasauskiskolle 70 mm²:n maadoitusjohtimella. Kaikki koestuslaitteiston ja -aitauksen johtavat osat yhdistettiin potentiaalintasauskiskoon 16 mm²:n maadoitusjohtimilla. Kuvassa 26 näkyy kaapelihyllyyn kiinnitetty potentiaalintasauskisko.



Kuva 26. Potentiaalintasauskisko ja maadoitusjohtimet.

Maadoituksessa käytetyissä johtimien poikkipinta-aloissa huomioitiin myös johtimien mekaanisen rasituksen kesto, jolloin käytetyt poikkipinta-alat olivat suurempia, kuin standardi SFS 6000-5-54 edellyttää.

8 Koestusjärjestelmän käyttöönottotarkastukset

Ennen sähkölaitteiston käyttöönottoa on tarkastettava, että laitteisto on määräysten mukainen ja siten turvallinen. Tämä edellyttää paitsi aistin varaista tarkastusta myös mittauksia sekä toiminnallisia kokeita. Tarkastuksesta tulee laatia myös mittauspöytäkirja. (D1-2012: 330.)

Jotta voitiin varmistaa koestusjärjestelmän turvallisuus tuli järjestelmälle suorittaa SFS 6000 kohdan 61.2 mukaiset mittaukset. Mittaukset suoritettiin EN61557 standardin mukaisella mittalaitteella. Standardi määrittelee muun muassa eri mittauksissa käytettävän virran ja jännitteen. Kuvassa 27 näkyy Metrel MI-3102-FIN-käyttöönottotesteri, jolla mittaukset suoritettiin.



Kuva 27. Metrel MI-3102-FIN käyttöönottotesteri.

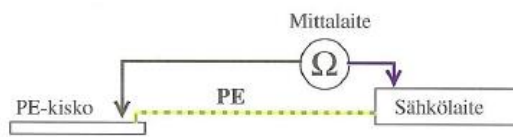
Suoritettavia mittauksia olivat suojajohtimien ja potentiaalintasausjohtimien jatkuvuuden testaus, kaapeleiden eristysvastuksen mittaukset, syötön automaattisen poiskytkennän testaus sekä kiertosuunnan mittaus.

8.1 Jatkuvuusmittaukset

Jatkuvuusmittauksella varmistettiin, että vikasuojauksen edellyttämät suojajohdinpiirit ovat ehjiä koko matkaltaan ja liitokset tehty kunnolla. Mittaukset tuli tehdä jännitteettömässä laitteistossa mittaamalla jännitteelle alttiit osa kuten koestuslaitteiden rungot sekä muut potentiaalisiin tasaukseen liitetyt osat, kuten koestusaitaus ja aitauksen yläpuolella olevat ilmastointikanavat.

Suojajohtimien mittaustulokseksi saadaan resistanssi arvo, joka saa yleensä olla enintään noin 1 ohm. Suojajohtimen pituuden kasvaessa hyvin pitkäksi voi raja-arvo olla suurempikin. Hyväksyttävälle mittaustulokselle ei ole SFS- standardissa mainittu tarkkaa raja-arvoa, jolloin saatua arvoa tulee verrata mitattavan johtimen poikkipinnan ja pituuden perusteella arvioitavissa olevaan arvoon. Mikäli nämä arvot poikkeavat toisistaan oleellisesti on poikkeaman syy selvitettävä.

Mittalaitestandardin EN61557 mukaan mittauksessa käytettävä kuormittamaton jännite on 4–24 V tasa- tai vaihtojännitteellä ja minimi mittausvirta on 200 mA. Kuvassa 28 suojajohtimen jatkuvuusmittaus kytkentä. (D1-2012: 338.)



Kuva 28. Suojajohtimen jatkuvuuden mittauskytkentä.

8.2 Eristysresistanssin mittaus

Eristysresistanssimittauksella varmistettiin, että kaikki jännitteiset osat koestusjärjestelmässä riittävästi eristettyjä maapotentiaalista. Myös eristysresistanssin mittaus tuli suorittaa jännitteettömässä laitteistossa. Mittaus aloitettiin koestuspääkeskuksen syöttökaapelista, jonka jälkeen mitattiin erikseen kaikki koestuslähtöjen syöttökaapelit. Mittauksia ei voitu suorittaa yhdestä pisteestä, koska jännitteettömässä laitteistossa ei ole kontakteilla ohjausjännitteitä ja piiri on tällöin auki.

Mittausjännitteenä käytettiin standardin SFS 6000-6 mukaista 500 voltin jännitettä. Taulukossa 2 näkyvät pienimmät sallitut arvot eristysresistansseille eri mittausjännitteillä.

Taulukko 2. Eristysresistanssit SFS 6000 s.355.

Virtapiirin nimellijännite, V	Koejännite (tasajännite), V	Eristysresistanssi, MΩ
SELV JA PELV	250	≥ 0,5
< 500 V, FELV mukaan luettuna	500	≥ 1,0
> 500 V	1000	≥ 1,0

8.3 Syötön automaattisen poiskytkennän testaus

Koestuslaitteiston turvallisen käytön varmistamiseksi täytyi varmistaa, että koestuslähtöjen vikasuojaukset toimivat vikatilanteissa standardin SFS 6000-4-41 mukaisesti.

Standardin mukaisesti vikasuojauksen vaatimukset täyttyvät, kun vian aiheuttama vaarallinen kosketusjännite kytkeytyy automaattisesti pois vaatimusten edellyttämässä ajassa. Testaus suoritetaan mittaamalla pienin oikosulkuvirta vaiheen ja suojajohtimen välisessä viassa. Oikosulkuvirran tulee olla riittävän suuri, jotta suojalaitteet, kuten johdonsuojakatkaisijat ja tulppasulakkeet katkaisevat jännitteen vaaditussa ajassa. Johdonsuojakatkaisijoilla tämä on 0,4 sekuntia ja tulppasulakkeilla 5 sekuntia.

Kaikki nimellisvirroiltaan alle 32 A:n koestuspistorasialähdöt olivat myös lisäsuojattu standardin SFS 6000-4-41 mukaisesti vikavirtasuojilla. Standardin mukaisesti tällaisissa lähdöissä on käytettävä enintään 30 mA vikavirtasuojaa. Vikavirtasuojan tarkoitus on rajoittaa vaarallisen kosketusjännitteen yhteydessä esiintyvää virtaa.

Kuvassa 29 näkyy vasemmalla ABB:n 4-napainen vikavirtasuoja, keskellä ABB:n 3-vaihejohdonsuojakatkaisija sekä oikealla Enston 1-vaihesulakepesä.



Kuva 29. 4-napainen vikavirtasuoja (vas.), 3-vaihejohdonsuojakatkaisija (kesk.) ja 1-vaihesulakepesä (oik.).

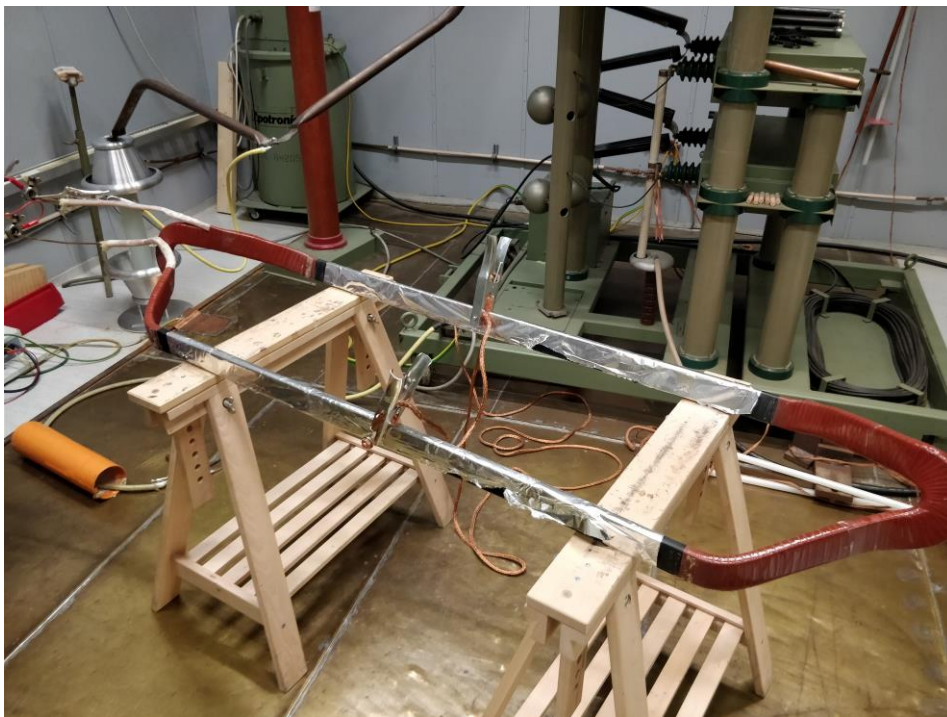
Myös vikavirtasuojien toiminta täytyi varmistaa. Toiminta testattiin laukaisemalla kaikki vikavirtasuojat kuvassa 29 näkyvästä vikavirtasuojan test-painikkeesta. Tämän jälkeen kytkimet nostettiin ylös, jonka jälkeen vielä mitattiin laukaisuvirrat kaikista vikavirtasuojista. Mittauksessa mittalaite syöttää vikavirtasuojalle nousevan vikavirran, jonka seurauksesta syötön täytyy katketa viimeistään, kun vikavirta saavuttaa 30 mA arvon.

8.4 Kiertosuunnan mittaus

Kiertosuunnan mittauksella tarkoitetaan vaihejärjestyksen tarkistusta. Mittaus suoritetaan käyttöönottotesterillä kytkemällä mittausjohtimet syötön kolmeen vaiheeseen joko johtoliittimistä tai pääkytkimeltä. Mittaus suoritetaan jännitteisenä. Mikäli mittauksen tuloksena saatu vaihejärjestys poikkeaa L1, L2, L3- järjestyksestä, on tällöin vaiheet ristissä ja tulos hylätty. Väärästä vaihejärjestyksestä johtuen on mahdollista, että sähkömoottorit pyörivät väärään suuntaan.

9 Syöksyaaltokoestukset ja läpilyöntikoe

Koestuslaitteistolla suoritettiin syöksyaalto- ja läpilyöntikokeet koevyyhdele. Kyseessä oleva koestus oli demoesitys, jossa perehdyttiin käytettävään laitteistoon sekä mittausjärjestelyyn. Vyyhden kierros- ja pääeristyksen mittauksessa hyödynnettiin standardien IEC-60034-15 mukaisia aaltomuotoja. Kuvassa 30 näkyy vyyhdin syöksyaaltokoestuksen mittausjärjestely. Vyyhdin takana näkyy syöksyaaltogeneraattori ja sen pallokipinäväli, sekä suurjännitekondensaattorit. Vasemmalla kuvan yläkulmassa näkyy suurjännitekoestusmuuntaja.



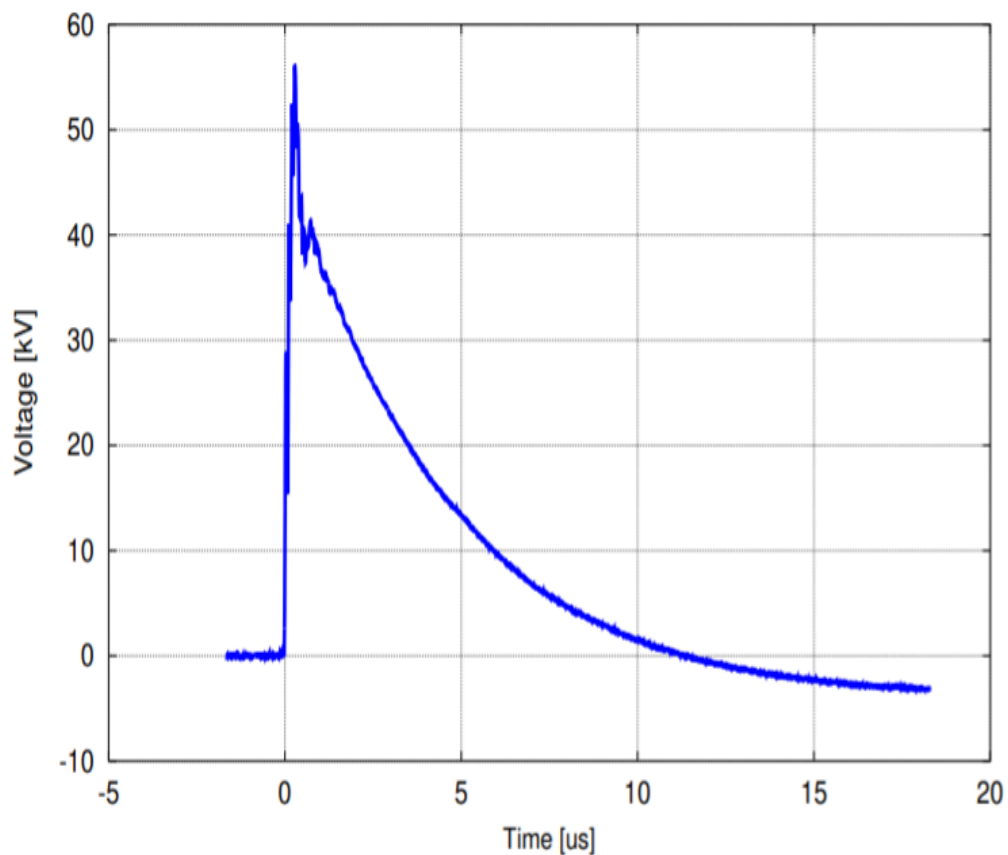
Kuva 30. Pääeristyksen syöksyaaltokoestus.

9.1 Kierroseristyksen koestus

Ensin toteutettiin vyyhdin kierroseristyksen syöksyaaltokoestus. Tämän koestuksen tarkoitus oli varmistaa, että vyyhdin kierroseristykset ovat kunnossa. Koevyyhdin johtimen toiseen päähän syötettiin noin 60 kV:n transientti, joka kulki kierroksia pitkin kohti maadoitettua toista päätä koestaen kierroseristykset.

Kuvasta 31 nähdään syöksyaallon jyrkkä rintaosa, jolloin jännite nousee noin 60 kilovoltiin asti ja selkäosan laskeva käyrä, jolloin jännite putoaa tasaisesti. Rintaosan aikana ei ole havaittavissa läpilyöntejä.

Läpilyönti näkyisi käyrässä jännitteen romahduksena. Kierrosoikosulun yhteydessä kierrosten väliin palaa myös hiilisilta, jolloin eriste olisi käytännössä tuhoutunut.

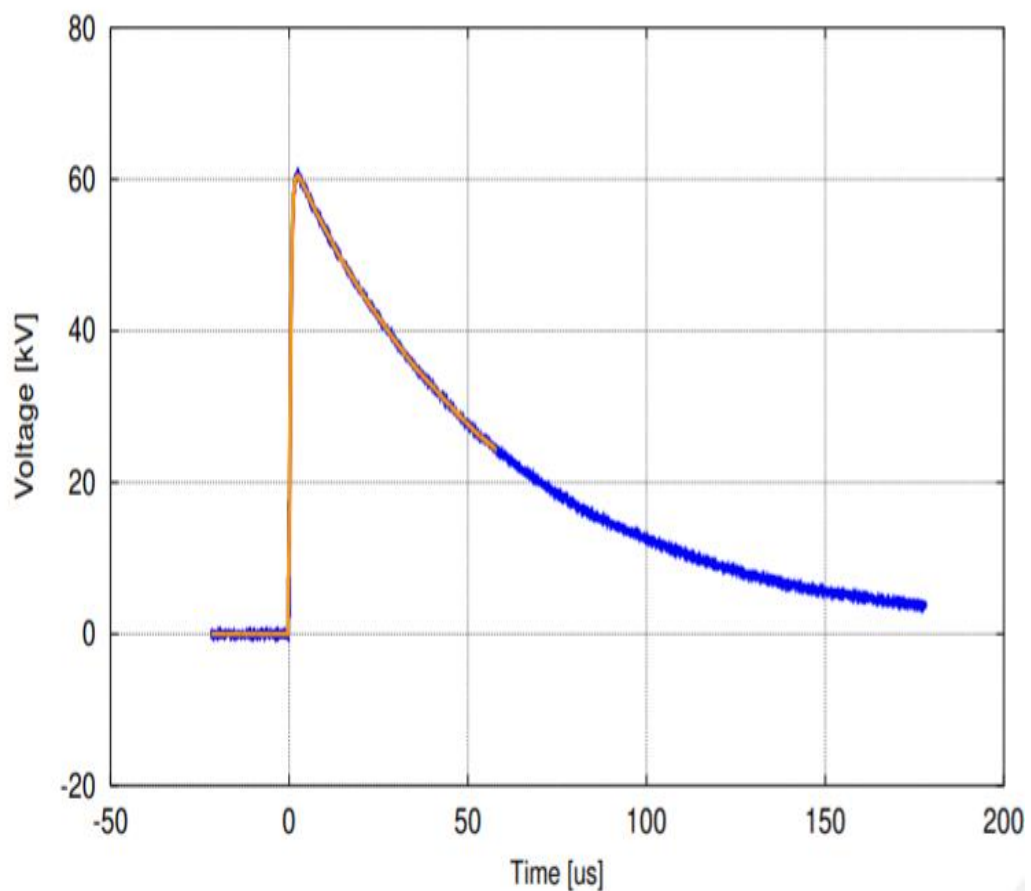


Kuva 31. Kierroseristyksen syöksyaaltokoestuksen jännitekuvaaja.

9.2 Pääeristyksen koestus

Toisena toteutettiin pääeristyksen syöksyaaltokoestus. Vyyhden johtimiin syötettiin 60 kV:n syöksyaalto. Kuvasta 32 nähdään syöksyaallon jyrkkä rintaosa ja loiva selkäosa (sinisellä). Keltainen viiva sinisen viivan päällä kuvaa standardin IEC-60034-15 edellyttämää käyrämuotoa.

Kuvan 32 jännitekäyrästä voidaan todeta, että rinta- tai selkäosasta ei ole yksittäisen koestuksen pohjalta havaittavissa läpilyöntejä.



Kuva 32. Pääeristyksen syöksyaaltokoestuksen jännitekuvaaja.

9.3 Lämpilyöntikoe

Viimeisenä suoritettiin romutettavalle vyyhdille lämpilyöntikoe. Demoesityksen tarkoitus oli havainnollistaa liukupurkausten syntymistä vyyhdin eristeiden rajapinnoilla. Tässä koetuksessa vyyhdin molempien johtimien päihin kytkettiin vaihe-elektrodit ja pääeristeen folioon kytkettiin maadoituselektrodit. Johtimiin syötettiin 50 hertsin vaihtojännite, jonka suuruutta nostettiin portaittain lämpilyöntiin asti. Koestuskytkentä on esitetty kuvassa 33.

Jännitettä nostettaessa liukupurkauksia alkoi muodostua maadoitetun pääeristyksen ja lenkkien välille. Jännitteen kasvaessa liukupurkaukset pitenivät ja muuttuivat voimakkaammaksi. Tällöin eristeen suuntainen sähkökenttä on riittävän voimakas lähes koko eristeen ylilyöntiin.

Kuvasta 33 nähdään, että purkauksia ei esiinny lenkkien harmaalla puolijohtavalla nauhalla teipatuissa osissa. Tämä johtuu siitä, että puolijohtava nauha jakaa eristeen sähkökenttää, jolloin vuon tiheys ei pääse kasvamaan eristeen heikoissa kohdissa riittävän suureksi lämpilyöntiin.



Kuva 33. Vyyhdin lämpilyöntikoe.

10 Yhteenveto

Insinööriyön ensisijaisena tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa asiakkaan vaatimukset täyttävä eristysrakenteiden koestusjärjestelmä ABB Pitäjänmäen eristyslaboratorioon. Koestusjärjestelmä saatiin toteutettua suunnitellusti ja samalla saatiin myös parannettua koestuslaitteiston käyttöturvallisuutta.

Merkittävin uudistus koestuslaitteistoon oli syklinen lämpövanhennuskeskus. Keskuksesta tuli toimiva ja turvallinen apulaite lämpövanhennukseen. Tällä saatiin korvattua aiemmin käytössä ollut koestuskytkentä, jonka suojaukset ja turvalaitteet edellyttivät päivitystä.

Tärkeitä uudistuksia koestusjärjestelmälle olivat myös turvareleen ja näytteenottojärjestelmän lisäys turvapiiriin. Näillä parannettiin erityisesti pitkäaikaisten koestusten turvallisuutta.

Insinööriyö oli kokonaisuutena erittäin mielenkiintoinen. Eristysrakenteiden koestusjärjestelmän suunnittelu ja rakentaminen edellyttää jo itsessään suurta määrää hyvien asennustapojen sekä standardien tuntemusta. Tämän lisäksi täytyi vielä perehtyä sähköfysiikkaan sekä eristeisiin yleisesti, jotta voitiin ymmärtää induktiomoottoreiden eristysrakenteissa tapahtuvia muutoksia.

Kokonaisuuden kannalta oli myös erittäin tärkeää suorittaa suurjännitekoestus sähkömoottorin vyyhdille. Tämä havainnollisti erittäin hyvin koestamiseen ja eristeisiin liittyvää teoriaa käytännössä. Oli myös helposti huomattavissa, että koestustulosten oikeaoppinen analysoiminen edellyttää vankkaa ammattitaitoa.

Lähteet

Ahlsell. Verkkoaineisto. Ahlsell Oy. <<https://www.ahlsell.fi/34/sahko/kaapelointi/06-voimakaapelit/kuparivoimakaapelit-reka/kuparivoimakaapelit-mcmk-1/sf0602379/>>. Luettu 30.1.2019.

Aro, Martti; Elovaara, Jarmo; Karttunen, Matti; Nousiainen, Kirsi & Palva, Veikko. 2017. Suurjännitetekniikka. Helsinki: Gaudeamus Oy.

Aura, Lauri & Tonteri, Antti J. 2009. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. Helsinki: WSOY pro Oy.

Tiainen, Esa (toim.). 2013. D1-2012 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Helsinki: Sähköinfo Oy.

Hietalahti, Lauri. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Vantaa: Amk-Kustannus Oy Tammermekniikka.

Johansson, Elli. 2018. Vyyhdinvalmistaja, ABB Oy, Helsinki. Haastattelu 15.8.2018.

Metsberg, Heikki. 2006. Sähkökoneen staattorikäännyksen kehittäminen. Insinöörityö. Helsingin ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

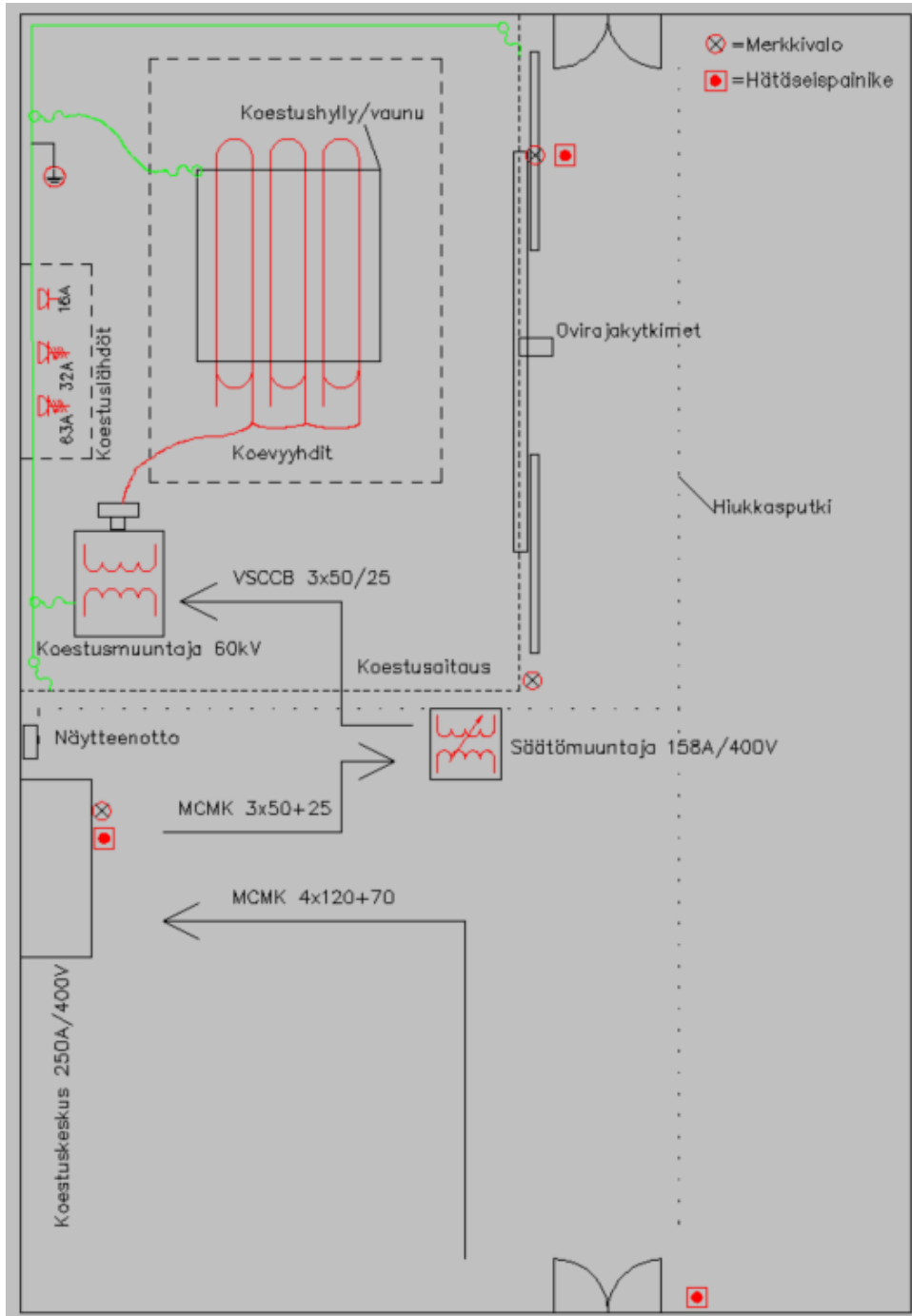
Nikkari, Timo. 2018. Matalajännitteisen muotokuparitahtikoneen laskentalogiikan kehittäminen. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Nurmi, Juuso. 2005. PD-mittaukset osana kunnonvalvontaa. Tutkintotyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Seppälä, Joni. 2014. Oikosulkumoottorin tuotannon aikaisten vikojen korjausopas. Opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

SFS 6000-5-53. Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. erottaminen, kytkentä ja ohjaus. 2012. SFS-käsikirja 600-1. Helsinki: Suomen standardisointiliitto SFS Ry.

Koestusjärjestelmän periaatekaavio



D muutos
E muutos
F muutos

SÄHKÖTEKNISET TIEDOT :

1. NIMELLISJÄNNITE / -VIRTA / -TAAJUUS 400 V 250 A 50 Hz
2. TERMINEN OIKOSULKUKESTOISUUS _____ kA
3. TASATTU- / ASENETTU TEHO / COSFII _____ kW _____ kW _____ cosfii
4. OHJAUSJÄNNITEKISKOT EI ON JÄNNITE _____ V VIRTA _____ A
5. AC-KISKOT TAI JOHTIMET L1,N L1,N,PE L1,L2,L3,N L1,L2,L3,N,PE

RAKENNETIEDOT :

1. KESKUSLAJI KENNO KOTELO KEHIKKO
2. ASENNUSTAPA PINTA UPPO KOTEL. LUOKKA IP 34
3. KIINNITYS LATTIA SEINÄ
4. OVILAITE LUKKO SALPA
5. LATT.SEIS.KESK. POHJALEVYT AVOIN PALONKESTÄVÄ
6. MAALAUUS VAKIO ERIKOIS
7. MITAT KORKEUS : 2100 LEV. : 1200 SYV. : 300

KALUSTUSTIEDOT :

1. KALUSTUSTYYPPI KIINTEÄ ULOSV. ULOSOT.
2. KALUSTUSTAPA YKSIKÖ KESKITETTY
3. MERKKILAMPUT HEHKU HOHTO LEDI
4. MITTAUKSEN TOIMITTAJA SÄHKÖLAITOS VALMISTAJA

KAAPELOINTI :

1. SYÖTTÖKAAPELI YLHÄÄLTÄ ALHAALTA
2. PÄÄKAAPELIT YLHÄÄLTÄ ALHAALTA KOJEISIIN RIVIL.
3. OHJAUSKAAPELIT YLHÄÄLTÄ ALHAALTA KOJEISIIN RIVIL.

TUNNUSMERKINNÄT :

1. TUNNUSKILVET VALM.NORM. ERILL.OHJE
2. KOJEMERKINNÄT JUOKSEVA KENNOKOHT. ERILL.OHJE

MUUT TIEDOT : Syöttö ylhäältä, vasemmalla. Ei kaapelikuilua. Kaikki lähdöt riviliittimiin/Ensto KE liittimiin

A muutos
B muutos
C muutos

Eristysainelabran
koestuskeskus
KK D41.0.K

Suunn. A.Gu /19.10.2017	Kokonaisuus	Sähköpositio	Työnumero
Piirt. TP	Lehti 1/	Piirustusnumero	
Tark.		SÄH	

D muutos
E muutos
F muutos

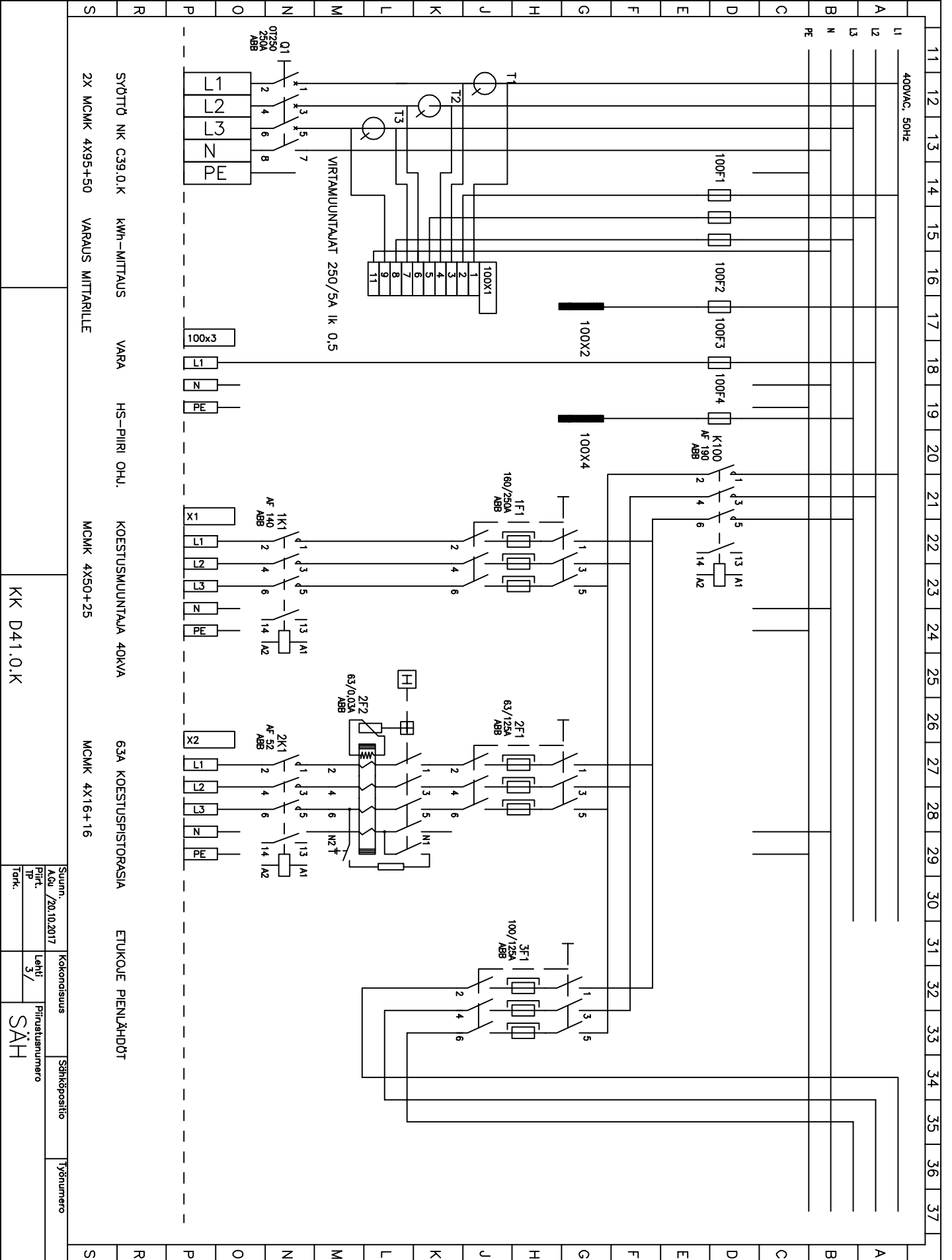
A muutos
B muutos
C muutos

KESKUS										RYHMÄ	OSOITE	A/A	JOHDOTUS	
											LISÄPOTENTIAALIN TASAUS RUNKOMAASTA		MK 70 KeVi	A
														B
											Syöttö NK B39.0.K	250	2X MCMK 4X95+50	C
											Virtamuuntajat 250/5A lk 0,5			
											Din kWh-mittari varaus			
										100F1	Mittaussulakkeet			D
										100F2	Ohjaus (pienemmät kontaktorit)	10/25A		E
										100F3	Näytteenottojärj.virtalähde	10/25A	MMJ 3X2,5S	F
	HS-turvapiiri näytteenottojärjestelmä		MMJ 5X1,5S											
100F4	Ohjaus Hätä-seis piiri ja K100	10/25A		G										
	Carlo Gavazzi turvarele													
	Hätä-seis painikkeet		2X MMJ 5X1,5S	H										
K100	Pääkontaktori	250A		J										
	Ovirajakytkimet		2X MMJ 3X1,5S											
	Merkkilamput aidoissa		2X MMJ 3X1,5S	K										
1F1	1K1			L										
2F1	2F2	2K1		M										
3F1				N										
				O										
				P										
4F1	4K1			R										
5F1	5K1			S										
6F1	6K1			U										
7F1	7K1			V										
8F1	8K1			Y										
9F1	9K1			Z										
10F1	10K1			1										
				2										

Eristysainelabra
koestuskeskus
KK D41.0.K

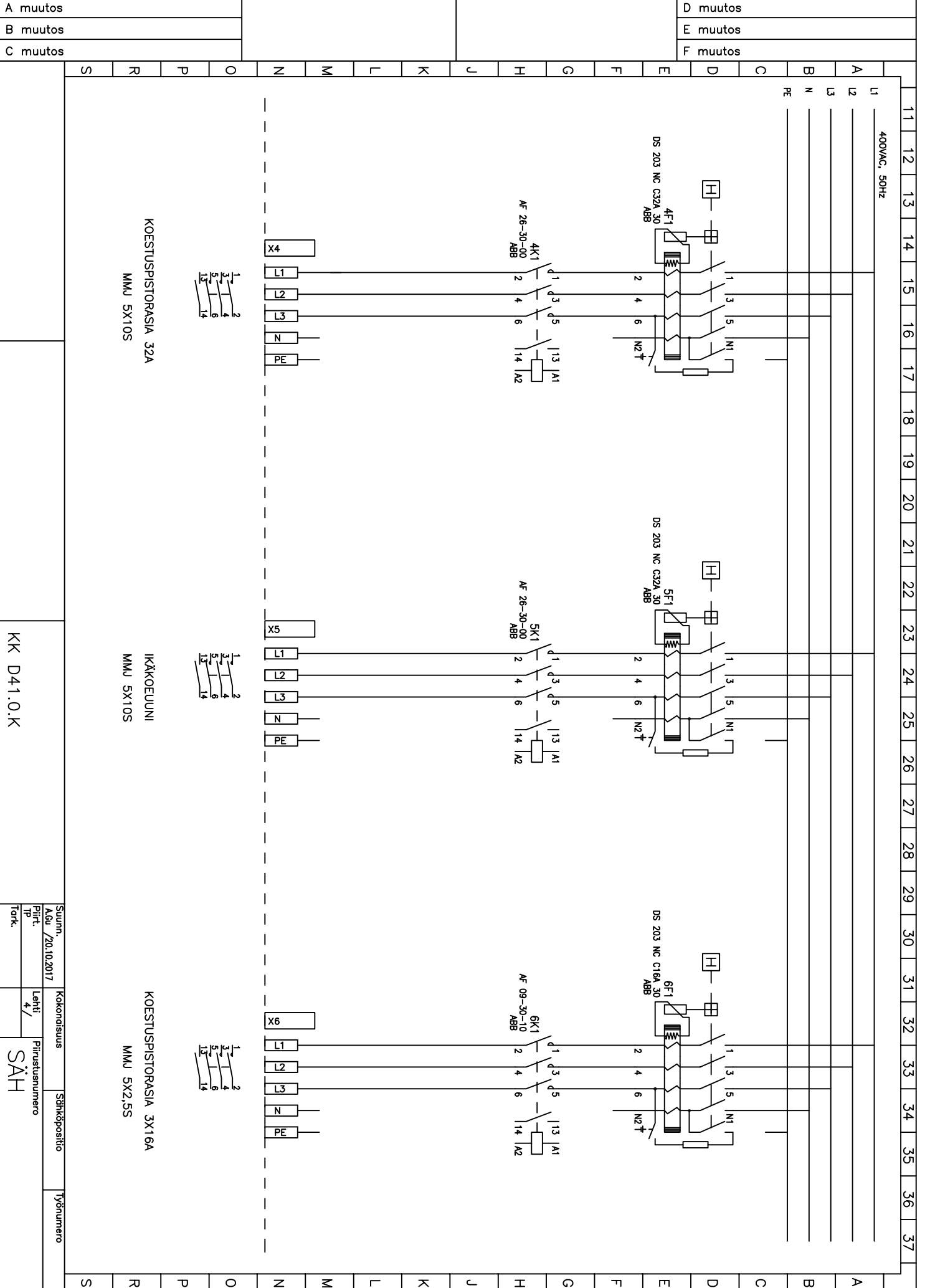
Suunn. A.Gu /19.10.2017	Kokonaisuus	Sähköpositio KK D41.0.K	Työnumero
Piirt. TP	Lehti 2/	Piirustusnumero SÄH	
Tark.			

A muutos		D muutos
B muutos		E muutos
C muutos		F muutos



SYÖTTÖ NK C39.0.K kWh-MITTAUS VARA HS-PIIRI OHU. KOESTUSMUUNTAJA 40KVA 63A KOESTUSPISTORASIA ETUKOLE PIENLÄHDÖT
 2X MCMK 4X95+50 VARAUS MITTARILLE MCMK 4X50+25 MCMK 4X16+16

KK D41.0.K		Suunn. /20.10.2017	Kokonaissuus	Sähköposti	Yönumero
		Piirt. /P	Lehti /3/	Piirustusnumero	
		Tark.	SÄH		



KOESTUSPISTORASIA 32A
MMJ 5X10S

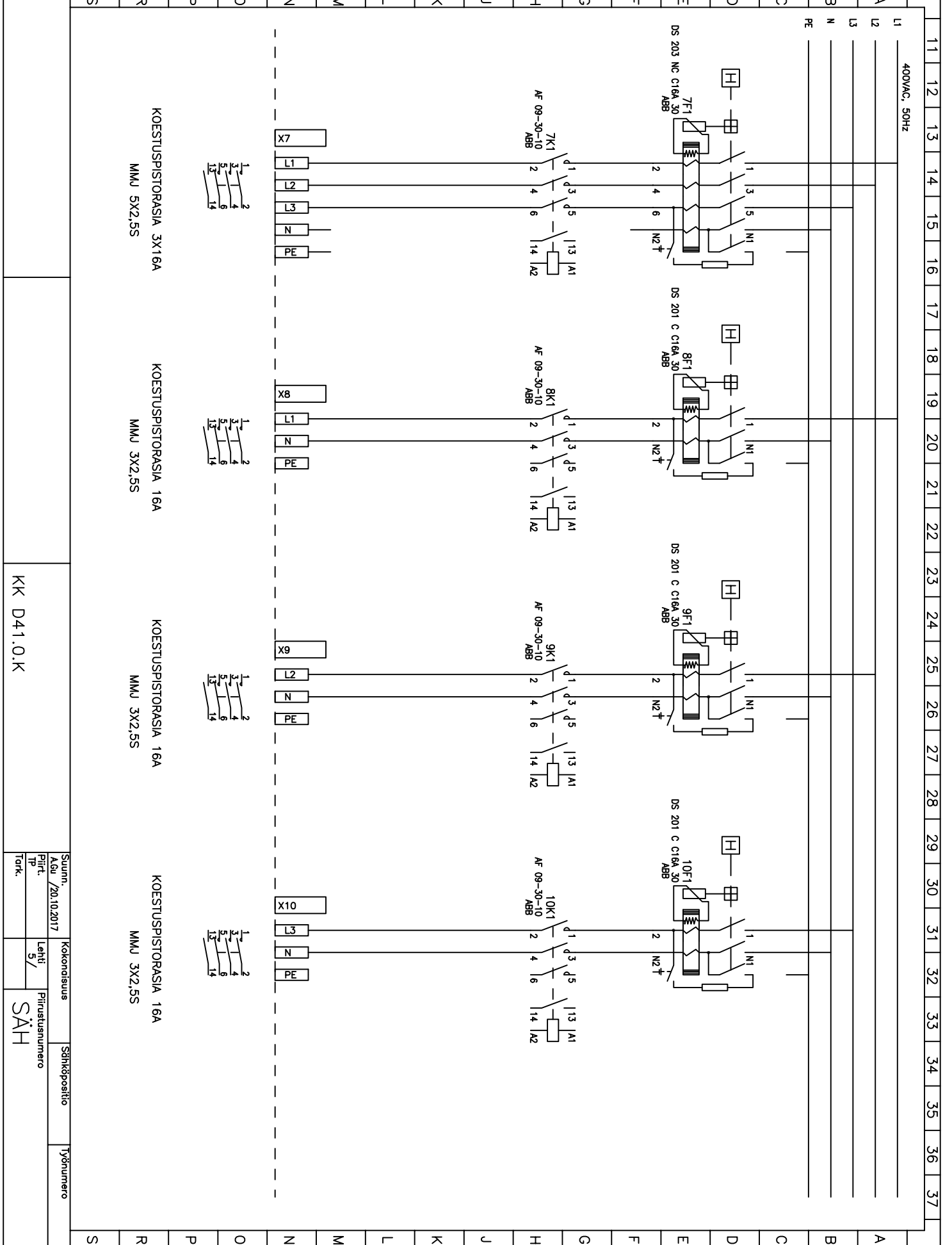
IKÄKOEJUUNI
MMJ 5X10S

KOESTUSPISTORASIA 3X16A
MMJ 5X2.5S

KK D41.O.K

Suunn. A&U /20.10.2017	Kokonaissuus	Sähkökopiointi	Työnumero
Piiritt. TP	Lehti 4/	Piirustenumero	
Tark.		SÄH	

A muutos		D muutos
B muutos		E muutos
C muutos		F muutos

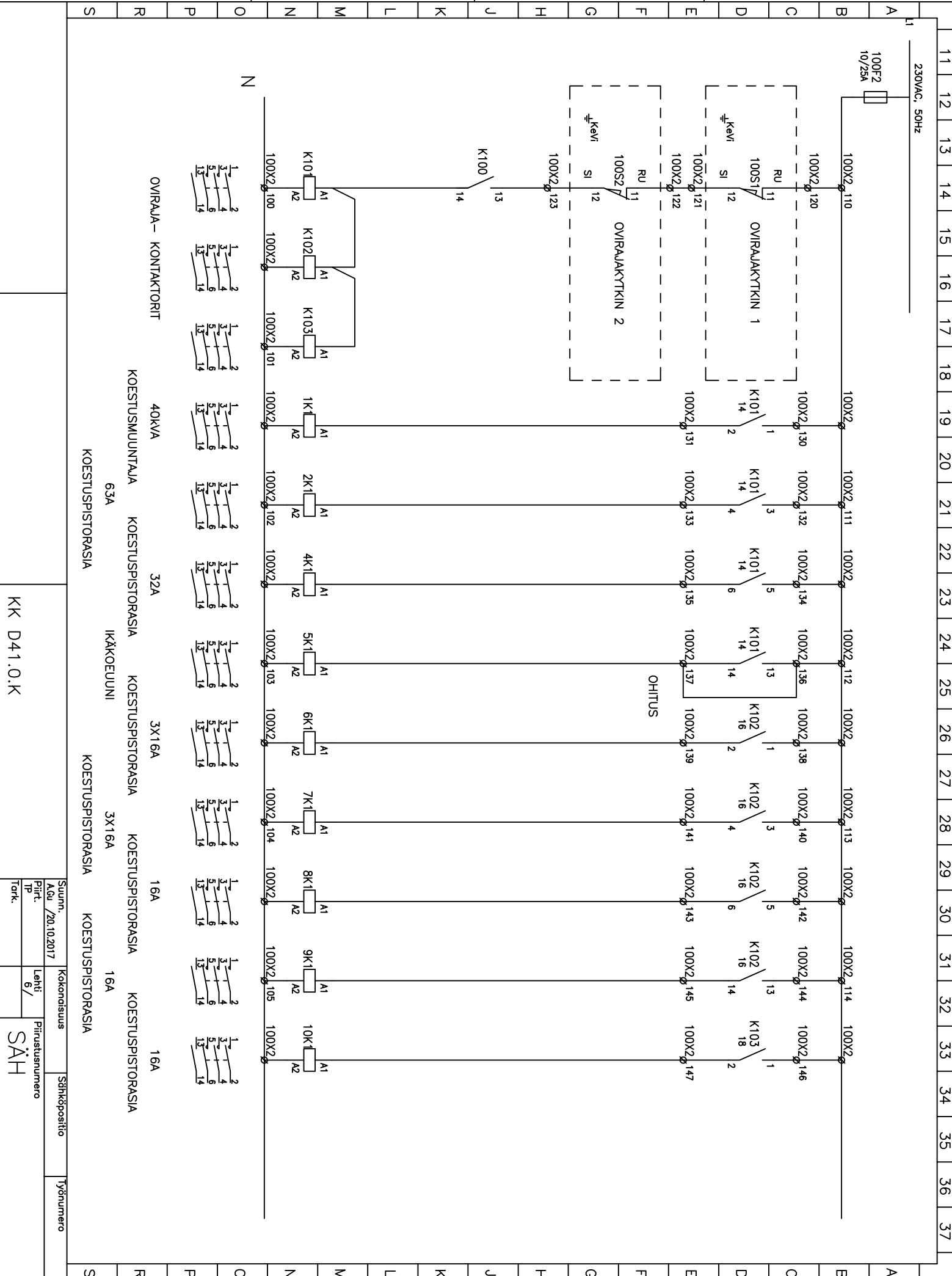


KK D41.O.K

Suunn.	Kokonaisuus	Sähkösijoitus	Työnumero
A&U /20.10.2017			
Piiritt.	Lehti	Piirustusnumero	
TP	5/		
Tark.		SÄH	

D muutos
E muutos
F muutos

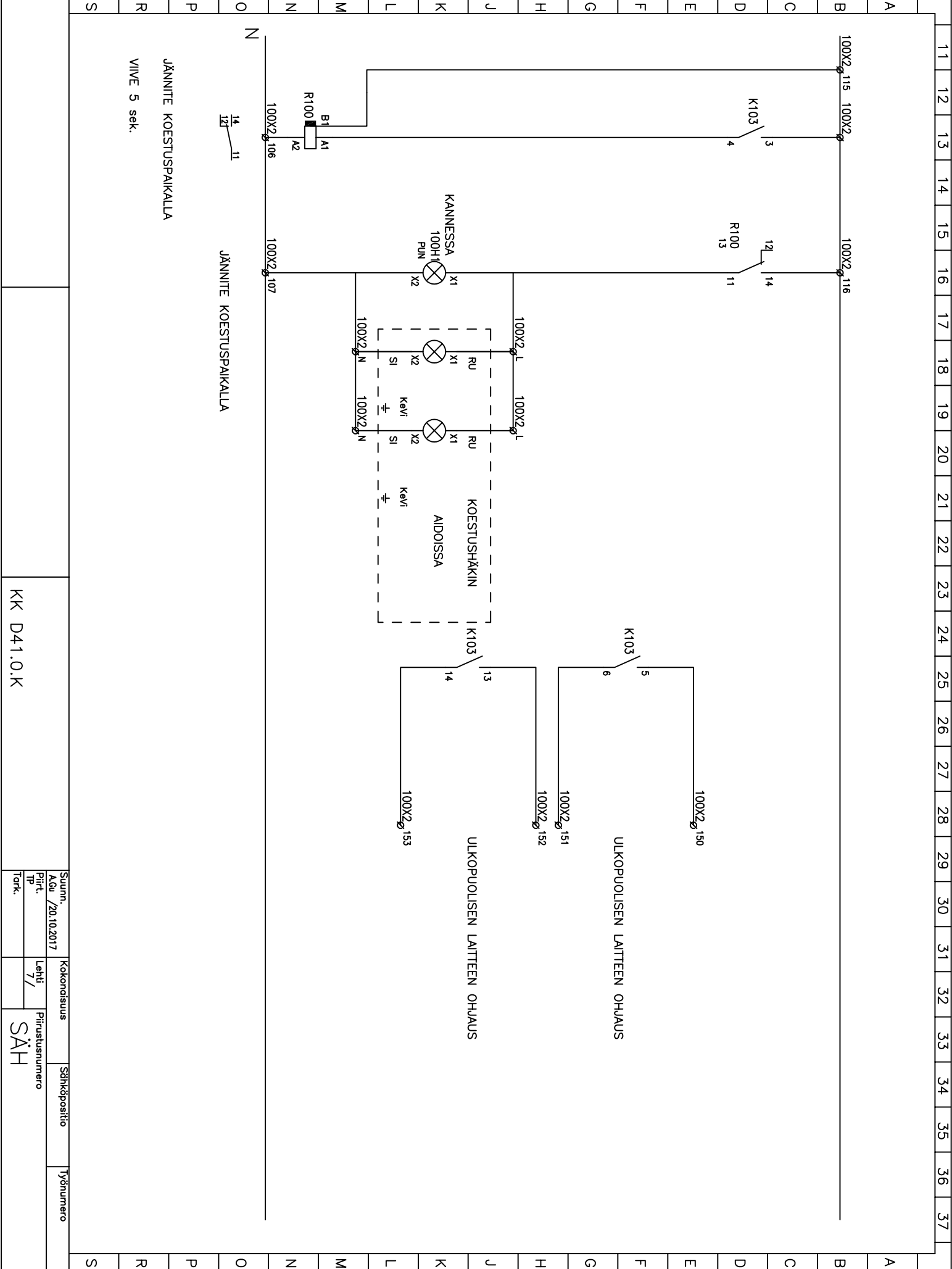
A muutos
B muutos
C muutos



KK D41.O.K

Suunn.	20.10.2017	Kokonaissuus	Sähköspositio	Työnumero
Piirrit.		Lehti		
IP		6/		
Tark.				
		Piiustusnumero		
		SÄHKÖ		

A muutos	D muutos
B muutos	E muutos
C muutos	F muutos



JÄNNITE KOESTUSPAIKALLA
VIVE 5 sek.

JÄNNITE KOESTUSPAIKALLA

ULKOPULISEN LAITTEEN OHJAUS

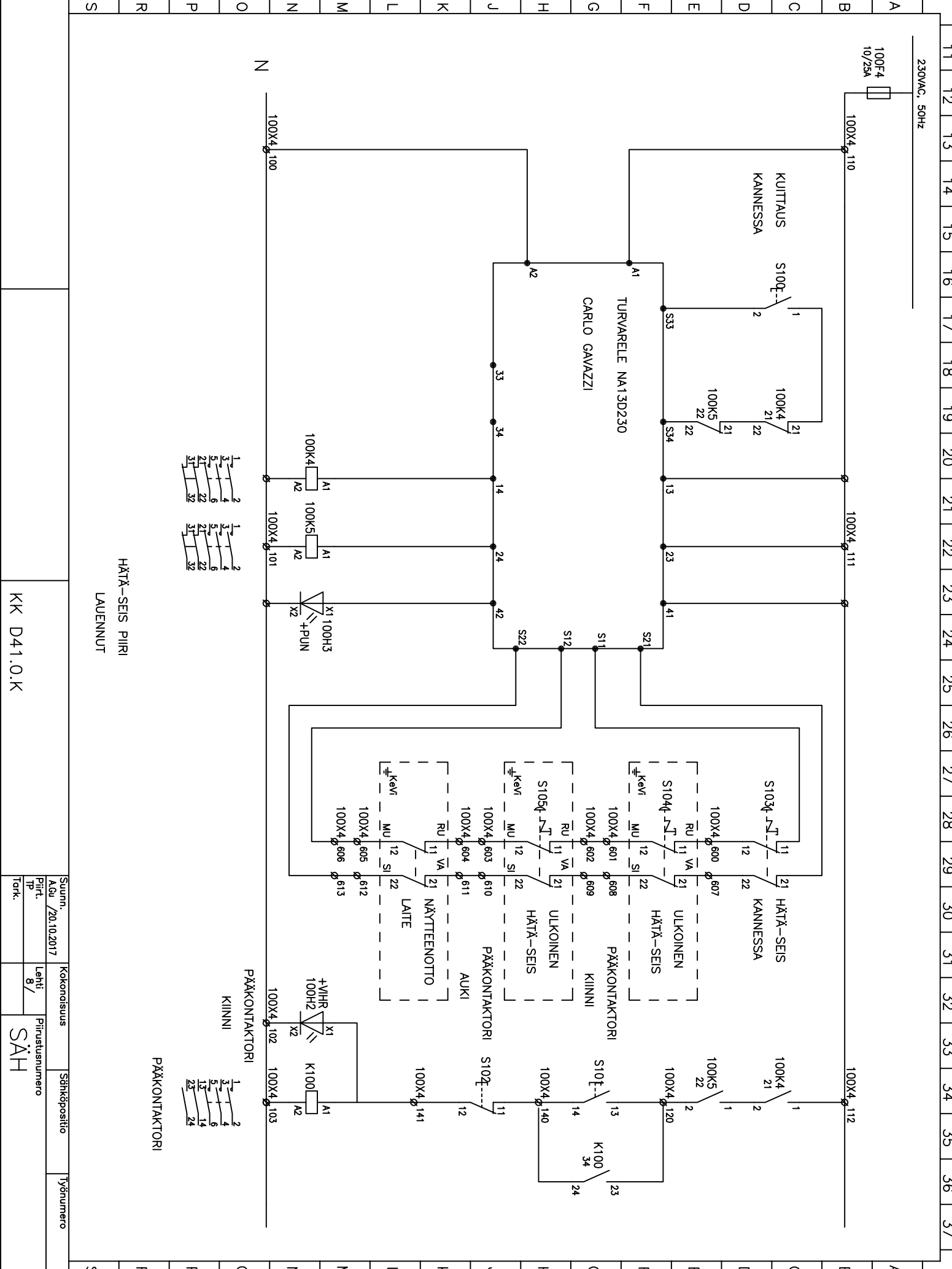
ULKOPULISEN LAITTEEN OHJAUS

KK D41.O.K

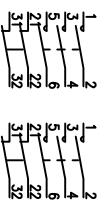
Suunn. Asu / 20.10.2017	Kokonaissuus	Sähköpostio	Työnumero
Piirt. TP	Lehti 7 /	Piirustusnumero	
Tark.		SÄH	

A muutos
B muutos
C muutos

D muutos
E muutos
F muutos



HÄTÄ-SEIS PIIRI
LAUENNUT



KK D41.0.K

Suunn.	A.Gil /20.10.2017	Kokoonlusuus	Sähkösäädös	Työnumero
Piirt.	TP	Lehti	8/	
Tark.		Piirustusnumero	SÄH	

SÄHKÖTEKNISET TIEDOT :

1. NIMELLISJÄNNITE / –VIRTA / –TAAJUUS 400 V 100 A 50 Hz

2. TERMINEN OIKOSULKUKESTOISUUS _____ kA

3. TASATTU– / ASENNETTU TEHO / COSFII _____ kW _____ kW _____ cosfii

4. OHJAUSJÄNNITEKISKOT EI ON JÄNNITE 230 V VIRTA 16 A

5. AC–KISKOT TAI JOHTIMET L1,N L1,N,PE L1,L2,L3,N L1,L2,L3,N,PE

RAKENNETIEDOT :

1. KESKUSLAJI KENNO KOTELO KEHIKKO

2. ASENNUSTAPA PINTA UPPO KOTEL. LUOKKA IP 44

3. KIINNITYS LATTIA SEINÄ

4. OVILAITE LUKKO SALPA

5. LATT.SEIS.KESK. POHJALEVYT AVOIN PALONKESTÄVÄ

6. MAALAUUS VAKIO ERIKOIS

7. MITAT KORKEUS : 550 LEV. : 400 SYV. : 155

KALUSTUSTIEDOT :

1. KALUSTUSTYYPPI KIINTEÄ ULOSV. ULOSOT.

2. KALUSTUSTAPA YKSIKKÖ KESKITETTY

3. MERKKILAMPUT HEHKU HOHTO LEDI

4. MITTAUKSEN TOIMITTAJA SÄHKÖLAITOS VALMISTAJA

KAAPELOINTI :

1. SYÖTTÖKAAPELI YLHÄÄLTÄ ALHAALTA

2. PÄÄKAAPELIT YLHÄÄLTÄ ALHAALTA KOJEISIIN RIVIL.

3. OHJAUSKAAPELIT YLHÄÄLTÄ ALHAALTA KOJEISIIN RIVIL.

TUNNUSMERKINNÄT :

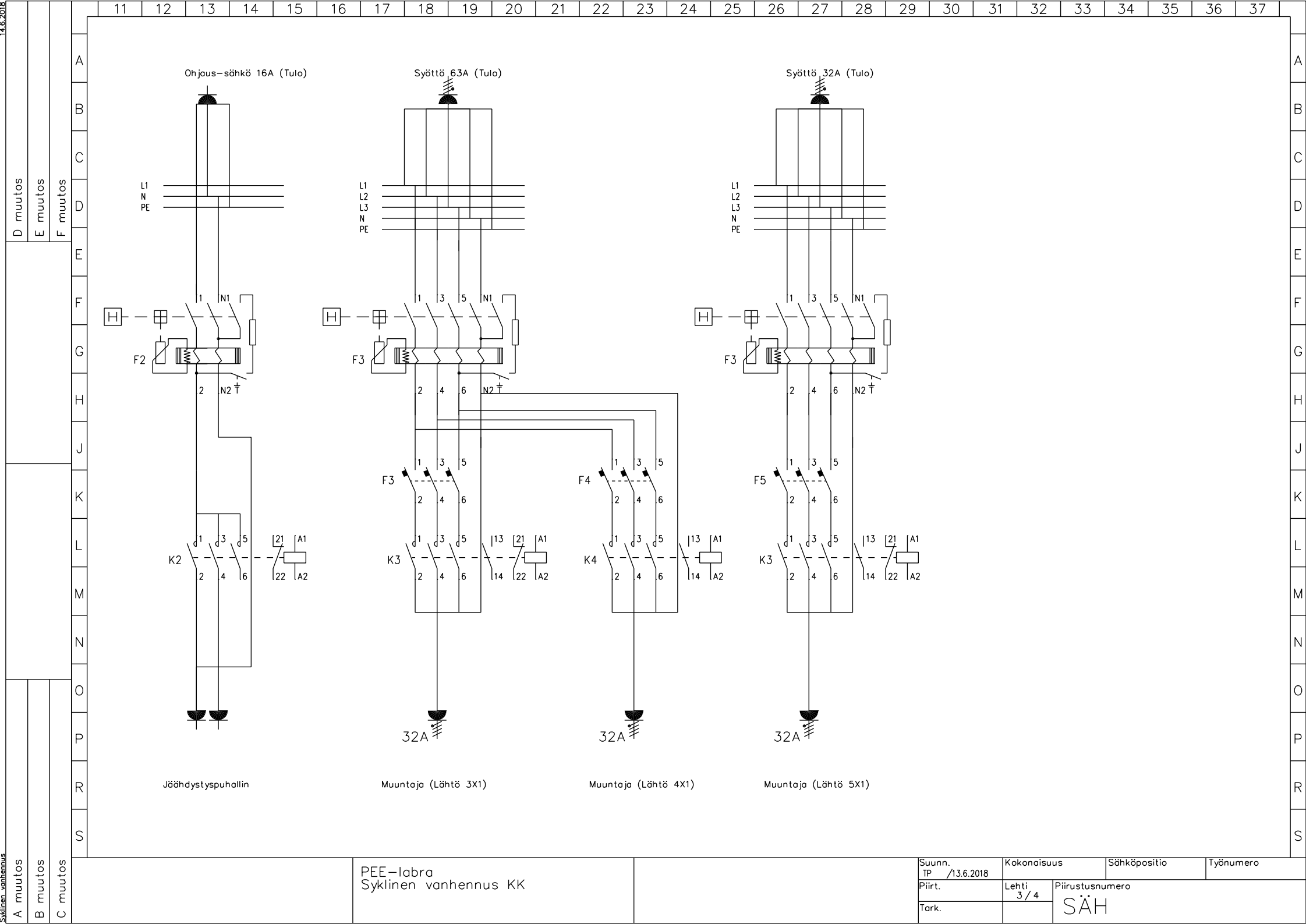
1. TUNNUSKILVET VALM.NORM. ERILL.OHJE

2. KOJEMERKINNÄT JUOKSEVA KENNOKOHT. ERILL.OHJE

MUUT TIEDOT : _____

PEE–labra
Syklinen vanhennus KK

Suunn. TP /13.6.2018	Kokonaisuus	Sähköpositio	Työnumero
Piirt.	Lehti 1/4	Piirustusnumero	
Tark.		SÄH	



Ohjau-sähkö 16A (Tulo)

Syöttö 63A (Tulo)

Syöttö 32A (Tulo)

L1
N
PE

L1
L2
L3
N
PE

L1
L2
L3
N
PE

Jäähdytyspuhallin

Muuntaja (Lähtö 3X1)

Muuntaja (Lähtö 4X1)

Muuntaja (Lähtö 5X1)

32A

32A

32A

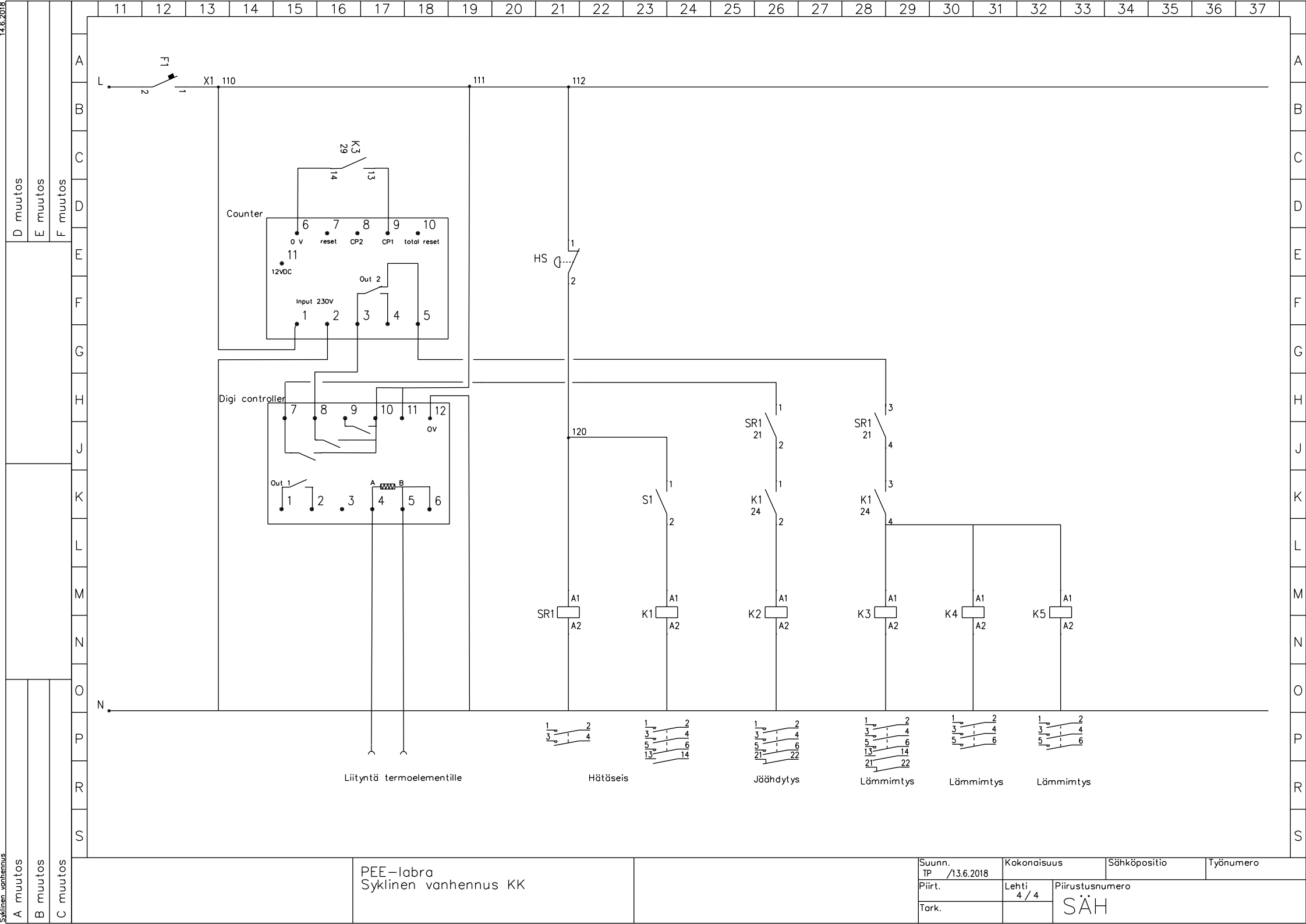
PEE-labra
Syklinen vanhennus KK

Suunn. TP /13.6.2018	Kokonaisuus	Sähköpositio	Työnumero
Piirt.	Lehti 3/4	Piirustusnumero	
Tark.		SÄH	

A muutos
B muutos
C muutos

14.6.2018

Syklinen vanhennus



D muutos
E muutos
F muutos

A muutos
B muutos
C muutos

Liityntä termoelementille

Hätäseis

Jäähdytys

Lämmitys

Lämmitys

Lämmitys

PEE-labra
Syklinen vanhennus KK

Suunn.
TP /13.6.2018

Piirt.

Tark.

Kokonaisuus

Lehti
4 / 4

Sähköpositio

Piirustusnumero

SÄH

Työnumero

11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37

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

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

14.6.2018
Syklinen vanhennus