

Niko Rahkola

KUIVAUSUUNIN OHJAUSKESKUKSEN UUSIMINEN

KUIVAUSUUNIN OHJAUSKESKUKSEN UUSIMINEN

Niko Rahkola
Opinnäytetyö
Kevät 2021
Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, Sähkötekniikka

Tekijä: Niko Rahkola

Opinnäytetyön nimi: Kuivausuunin ohjauskeskuksen uusiminen

Työn ohjaajat: Ensio Sieppi (OAMK), Kalle Rantala (ABB)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021

Sivumäärä: 68 + 4 liitettä

Opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa ABB Oy:n Oulun toimipisteelle kuivausuunin ohjauksen modernisointi. Kuivausuunissa käsitellään yleensä sähkömoottoreiden käämityksiä uppohartsauksen jälkeen, jotta hartsi saadaan kovettumaan käämityksen suojaksi. Kuivausuunin vanha ohjausjärjestelmä oli tulossa käyttökänsä päähän ja laitteiston uusimisella haluttiin minimoida mahdolliset vikaantumiset, sillä kuivausuuni on tärkeä osa sähkömoottoreiden huoltoprosessia. Toisaalta myös vanhaa ohjausta haluttiin modernisoida muun muassa tiedonkeruun ja taloudellisuuden kannalta.

Työ on jatkumoa selvitystyölle, jonka olin aikaisemmin tehnyt yhtenä osana tutkinto-ohjelman opintoja. Selvitystyön aikana aloitettua sähkösuunnittelua jatkettiin, jolloin keskuksen sähkökuvat ja sähköverkon suojauslaskelmat tehtiin loppuun. Tämän jälkeen uusi keskus tehtiin suunnitelmien mukaan alihankkijalla. Ohjausjärjestelmä päätettiin tehdä käyttäen ohjelmoitavaa logiikkaa ja käyttöpaneelia. Logiikan ja käyttöpaneelin ohjelmoinnit toteutettiin ja testattiin ennen asennusta. Asennustöissä kuivausuunin lämmitysvastus vaihdettiin ja kaapeliteitä paranneltiin. Tämän jälkeen uusi keskus asennettiin paikalleen ja uusi ohjausjärjestelmä otettiin käyttöön. Lopuksi kuivausuunin käyttäjät perehdytettiin laitteistoon ja sen turvalliseen käyttöön.

Uusi ohjauskeskus tuo korjaamolle lisäarvoa tiedonkeruun ja käytettävyyden kannalta. Vikaantumisen riski on alhaisempi ja uutta järjestelmää on myös helppo kehittää jatkossa. Tiedonkeruun osalta tuloksiin päästiin, mutta tulevaisuudessa sitä voitaisiin kehittää niin, että tiedostot tallentuisivat suoraan jonkin pilvitallennuspalvelun alle.

Asiasanat: sähkösuunnittelu, ohjelmoitavat logiikat, käyttöönotto

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Electrical and Automation Engineering, Electrical Engineering

Author: Niko Rahkola

Title of thesis: Modernization of Control System of Drying Oven

Supervisors: Ensio Sieppi (OAMK), Kalle Rantala (ABB)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2021

Pages: 68 + 4 appendices

This thesis was made for ABB Oy. The objective of the thesis was to change the old controlling system of drying oven to logic and control panel controlled system. The aim of the new control system is to improve data collection and the operational reliability of the unit.

The thesis was started by getting familiar with the old controlling system. This was followed by short circuit calculations and electrical planning of the switchboard and its components. Programmable logic and control panel were chosen as the new control system. The work also included logic and control panel programming, installation of the new switchboard and commissioning of the unit. Users were given guidance and instructions for using the new control system.

New control system has improvements in terms of data collection and reliability. The risk of failure is lower, and the new system can be improved easily in the future if necessary.

Keywords: electrical planning, logic programming, commissioning

ALKULAUSE

Kiitokseni ABB Oy:lle opettavaisesta opinnäytetyöstä ja mahdollisuudesta suorittaa opinnot työn ohessa. Kiitokset Oulun ABB:n yksikönpäällikölle Kalle Rantalalle, joka toimi tämän työn tilaajana, esimiehelleni Mika Kuivilalle ja huoltoinsinööri Jari Timoselle, jotka ovat kaikki olleet suurena tukena opintojen ja opinnäytetyön toteutuksessa. Isot kiitokset kuuluvat myös asennustöissä auttaneelle ja opastaneelle Toni Kivelälle. Kiitokseni myös koko Oulun korjaamon väelle, jotka ovat olleet suurena apuna ja tukena työn toteutuksessa.

Oppilaitoksen puolelta haluan kiittää työn ohjaajana toiminutta yliopettaja Ensio Sieppiä, tutkintovastaavaa Marjo Heikkistä ja työn kielen ohjaajana toiminutta Arja Maunumäkeä.

Suuri kiitos perheelleni, joka on tukenut minua opintojen aikana. Haluan erityisesti kiittää avovaimoani Tiinaa, joka on mahdollistanut opintojen suorittamisen perhearjen keskellä.

Kempeleessä 14.05.2021

Niko Rahkola

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	8
1.1 Työn tausta	8
1.2 ABB Oy	9
2 LAITTEISTO	10
2.1 Kuivausuunin käyttö sähkömoottoreiden huoltoprosessissa	10
2.2 Kuivausuunin rakenne	11
3 YLEISTÄ SÄHKÖSUUNNITTELUSTA	13
3.1 Sähkösuunnittelu ja standardit	13
3.2 Sähköpiirustusten dokumentointi	15
3.3 Sähköasennusten suojausvaatimusten varmistaminen	16
3.3.1 Johtojen kuormitettavuus	16
3.3.2 Ylikuormitussuojaus	18
3.3.3 Oikosulkusuojaus	20
3.3.4 Vikasuojaus	22
3.3.5 Suojalaitteiden selektiivisyys	26
3.3.6 Jännitteenalenema	27
3.4 Oikosulkuvirrat	28
3.4.1 Minimi- ja maksimioikosulkuvirta	30
3.4.2 Kolmivaiheinen symmetrinen alkuoikosulkuvirta I_k''	31
3.4.3 Yksi- ja kaksivaiheiset oikosulkuvirrat	32
3.4.4 Oikosulkuvirran huippuarvo i_p	33
3.4.5 Terminen oikosulkuvirta I_{th}	35
4 YLEISTÄ OHJAUSJÄRJESTELMISTÄ	37
4.1 Ohjelmoitavat logiikat	38
4.2 Logiikan ohjelmointi	40
4.2.1 Toimilohko-ohjelmointi	40
4.2.2 Strukturoitu teksti -ohjelmointi	41
4.3 Käyttöliittymä	42
5 TYÖN TOTEUTUS	43
5.1 Sähköverkon suunnittelu ABB e-Design -ohjelmalla	43
5.1.1 Sähköverkon mitoitus	43

5.1.2	Johtojen kuormitettavuudet	46
5.1.3	Suojausmenetelmien toteutumien	47
5.1.4	Suojalaitteiden selektiivisyys	48
5.1.5	Jännitteenalenema	49
5.2	Sähkökuvat MagiCAD Electrical -ohjelmalla	49
5.2.1	Pääkaavio	50
5.2.2	Piirikaavio	51
5.2.3	Osaluettelo	52
5.3	Ohjausjärjestelmän uusiminen	53
5.3.1	Ohjausjärjestelmän suunnittelu ja komponenttien valinnat	53
5.3.2	Logiikan ohjelmointi	55
5.3.3	Käyttöpaneelin ohjelmointi	57
5.3.4	Tiedonkeruu	58
6	ASENNUSTYÖT	59
7	LAITTEISTON KÄYTTÖÖNOTTO	61
7.1	Yleistä sähkölaitteiston käyttöönottotarkastuksesta	61
7.1.1	Aistinvarainen tarkastus	61
7.1.2	Suojajohtimen jatkuvuus	61
7.1.3	Eristysvastusmittaus	62
7.1.4	Syötön automaattinen poiskytkentä	63
7.1.5	Muut käyttöönottotarkastukset	64
7.2	Käyttöönottotarkastuksen tekeminen	64
7.3	Käyttöönotto	64
7.4	Hyväksymistestaus	65
8	POHDINTA	66
	LÄHTEET	67
	LIITTEET	69
	Liite 1 Sähkökuvat	
	Liite 2 Verkon suojaus- ja oikosulkulaskelmat	
	Liite 3 Logiikkaohjelmat	
	Liite 4 Kuvia käyttöpaneelin näkymistä	

1 JOHDANTO

Tässä luvussa tutustutaan työn taustaan sekä esitellään työn tilaaja ABB Oy.

1.1 Työn tausta

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa ABB Oy:n Oulun toimipisteelle kuivausuunin ohjauksen modernisointi. Kuivausuunin vanha ohjausjärjestelmä oli peräisin 1980-luvulta ja oli tulossa käyttöikänsä päähän. Laitteiston uusimisella haluttiin minimoida mahdolliset vikaantumiset, sillä kuivausuunin käyttö on päivittäistä ja täten tärkeä osa sähkömoottoreiden huoltoprosessia. Toisaalta myös vanhaa ohjausta haluttiin modernisoida muun muassa tiedonkeruun ja taloudellisuuden kannalta.

Tekniset vaatimukset uuden ohjausjärjestelmän osalta ovat

- lämpötilan säätö, tarkkuus $\pm 5^{\circ}\text{C}$ (80–180°C)
- uunin lämpötilan tiedonkeruu ja mahdollinen kaukovalvonta
- kuivausprosessin tarkempi säätö ja taloudellisuus
- ohjausjärjestelmän helppokäyttöisyys.

Kuivausuunin ohjauksen uusiminen on jatkumoa selvitystyölle, jonka toteutin keväällä 2020 osana tutkinto-ohjelman opintoja. Selvitystyössä vanhan ohjauksen toiminta selvitettiin ja piirrettiin niistä sähkökuvat. Lisäksi uutta ohjauskeskusta alettiin suunnittelemaan, ja sähköpiirustukset saatiin pääosin valmiiksi. Opinnäytetyö aloitettiin siis jatkamalla jo hyvälle alulle saatua sähkösuunnittelua. Opinnäytetyölle asetettiin seuraavat tavoitteet:

- sähkösuunnitelmien laadinta
- ohjauskeskuksen uusiminen ja asennustyöt
- logiikan ja käyttöpaneelin ohjelmointit
- laitteen käyttöönotto ja testaus
- käyttöohjeiden laadinta.

1.2 ABB Oy

ABB (Asea Brown Boveri) on ruotsalais-sveitsiläinen globaali teknologiayritys, jonka toiminta painottuu automaatio- ja sähkövoimatekniikan alueille. Konserni toimii yli 100 maassa ja sen palveluksessa on noin 110 000 ammattilaista. Suomessa henkilöstön määrä on noin 5000. (1.)

ABB:n toiminta Suomessa perustuu sähkötekniikan uranuurtajan Gottfrid Strömbergin vuonna 1889 perustamaan yritykseen. Yrityksen toiminta aloitettiin Helsingin Kampissa, josta se siirtyi ennen vuosisadan loppua Sörnäisiin. 1930-luvulla tuotanto siirrettiin Sörnäisistä Pitäjänmäen tehdasalueelle. 1940-luvulla Strömberg nousi yhdeksi Suomen suurimmista teollisuusyrityksistä, ja tehdastoiminta aloitettiin myös Vaasassa. Strömbergin tehtaissa valmistettiin muun muassa muuntajia, sähkömoottoreita, generaattoreita, sähköliesiä sekä koje- ja kojeistotuotteita. 1970-luvulla Martti Harmoisen johtama tutkimusohjelma taajuusmuuttajien parissa oli merkittävässä roolissa taajuusmuuttajien kehityksen kannalta ja 1980-luvulla Strömberg kehitti sähköverkkojen suojaukseen ja ohjaukseen mikroprosessoripohjaisen suojarelejärjestelmän sekä täysdigitaaliset sähkökäytöt teollisuudelle. Strömberg siirtyi vuonna 1986 ruotsalaisen ASEA:n omistukseen, ja vuonna 1988 ASEA ja sveitsiläinen BBC yhdistyivät, jolloin ABB-yhtymä sai alkunsa. (2.)

ABB:n toiminta Oulussa keskittyy tarjoamaan asiakkaille ABB:n tuotteiden huolto- ja kunnossapitopalveluja. Suurin osa henkilöstöstä työskentelee moottoreiden ja generaattoreiden kunnossapidossa. Lisäksi Oulussa on kunnossapidon asiantuntijoita muun muassa taajuusmuuttajien, tasavirtakäyttöjen ja robottien parista. Vuonna 1983 rakennetussa kiinteistössä on toimistotilojen lisäksi noin 1800 m² korjaamo, missä huolletaan pääosin sähkömoottoreita ja generaattoreita.

2 LAITTEISTO

Tässä luvussa käydään läpi kuivausuunin käyttöä ja sen rakennetta. Luvussa 2.2 esitellään kuivausuunin rakenne ennen ohjauksen modernisointia ja siinä kerrotaan myös suppeasti vanhan järjestelmän toiminnasta.

2.1 Kuivausuunin käyttö sähkömoottoreiden huoltoprosessissa

Kuivausuuni (ts. kuivatusuuni, lakkauuni) sijaitsee korjaamon käämintäpuolella, ja siinä kuivataan sähkömoottoreiden staattori- ja roottorikämmityksiä. Yleensä kuivattava kappale on uudelleen käämitty ja se on kyllästetty käämityksiä suojaavalla CC-1105 polyesterihartsilla, joka kovettuu käämityksen pinnalle kuivatuksen aikana. Uunikuivattavalla hartsilla on hyvät sähköiset ja mekaaniset ominaisuudet, ja se suojaa käämistystä kosteudelta ja kemikaaleilta. Taulukossa 1 on toimitajan ilmoittamat ohjeelliset kuivumisaajat, mutta on huomioitava, että myös kylästetyn kappaleen koko ja paino vaikuttavat kuivumisaikaan.

TAULUKKO 1. CC-1105 polyesterihartsin arvioidut kuivumisaajat (3, s. 2)

Lämpötila (°C)	Kuivumisaika
110 °C	10 - 14 h
120 °C	4 - 6 h
135 °C	2 - 3 h
150 °C	1 - 1½ h
165 °C	35 - 45 min
175 °C	15 - 30 min

Toinen yleinen kuivausuunin käyttötarkoitus on kostean käämityksen kuivatus, esimerkiksi likaisen käämityksen vesipesun jälkeen. Tällöin kappaletta kuivataan yleensä 110°C noin 8–16 tuntia riippuen kappaleen koosta ja painosta.

2.2 Kuivausuunin rakenne

Käämintäpuolella sijaitseva kuivausuuni on tyypillinen teollisuudessa käytettävä vaunu-uuni, jossa on erillinen vaunuosa, johon käsiteltävät kappaleet sijoitetaan (kuva 1). Kuivausuunin toiminta perustuu kiertoilmaan, jossa katossa sijaitseva sähkövastus tuottaa lämpöenergiaa ja vastuksen ympärillä oleva puhallin kierrättää lämmitettyä ilmaa uunin sisällä tasaisesti ja tehokkaasti.



KUVA 1. Kuivausuuni

Kuivausuunin sivussa olevasta keskuksesta ohjataan uunin toimintaa (kuva 2). Lyhyesti kerrottuna vanhaa ohjausjärjestelmää käytettiin säätämällä haluttu lämpötila lämpötilasäätimeen ja sen jälkeen säätämällä haluttu aika vuorokausikelloon. Lämmitysryhmän kontaktori sai kelalle ohjausjännitteen lämpötilasäätimen koskettimesta, joka aukeaa, kun haluttu lämpötila on saavutettu. Sekä poistopuhaltimen että lämmittimen puhaltimen kontaktorien kelat saivat ohjausjännitteen lämpötilasäätimen kautta.



KUVA 1. Uunin vanha ohjauskeskus

Kuivausuunin ohjausjärjestelmällä ohjataan kolmea toimilaitetta:

- lämmitysryhmää, missä sähkövastukset tuottavat tarvittavan lämmitysenergian uunille
- lämmittimen puhallinta, jolla kierrätetään ilmaa uunissa
- poistoilmapuhallinta, jolla estetään lämmitysprosessissa syntyvien päästöjen kulkeutuminen korjaamon sisätiloihin.

Kuivausuunin ohjausjärjestelmä seuraa kahden mittalaitteen suureita:

- PT-100 anturit lämpötilan mittaukseen, jotka on sijoitettu kiinteästi uunin sisään seinälle
- yllilämpörajoitin lämpötilan mittaukseen, joka sijaitsee kiinteästi uunin sisällä katossa.

3 YLEISTÄ SÄHKÖSUUNNITTELUSTA

Sähköalaa koskevat lukuisat viranomaissäädökset ja ohjeet. Sähkölaitteisto täytyy suunnitella näiden säädöksiin puitteissa ja yksinkertaisin tapa tähän on noudattaa voimassa olevia sähköalaa koskevia standardeja.

Tässä luvussa käydään läpi sähkösuunnittelussa huomioitavia asioita sekä kansallisen että kansainvälisten standardien kannalta.

3.1 Sähkösuunnittelu ja standardit

Sähkösuunnittelun tehtävä on tuottaa suunnitelmat, joilla voidaan toteuttaa turvallinen ja toimiva sähköasennus. Hyvällä suunnittelulla vähennetään myös valmiiden asennuksien korjaus- ja muutostöitä.

SFS 6000-1-standardin mukaan suunnitteluvaiheessa on varmistuttava, että

- ihmisten, kotieläinten ja omaisuuden suojaus toteutuu standardin SFS 6000-1 luvun 131 mukaisesti
- sähköasennus toimii tarkoitetulla tavalla tarkoitetussa ympäristössä.

Luvun 131 mukaiset turvallisuuteen liittyvät suojaukset ovat

Perussuojaus, jolla tarkoitetaan suojausta vaaroilta, joita voi syntyä koskettaessa asennuksen jännitteisiä osia (4, s. 8).

Vikasuojaus, jolla tarkoitetaan suojausta vaaroilta, joita voi syntyä koskettaessa jännitteelle alttiita osia vian aikana (4, s. 8).

Suojaus lämmön vaikutuksilta, jolla tarkoitetaan, etteivät sähköasennukset aiheuta palavan materiaalin syttymisvaaraa korkean lämpötilan tai valokaaren vuoksi. Lisäksi normaalissa käytössä sähkölaite ei saa aiheuttaa palovamman vaaraa ihmisille tai kotieläimille. (4, s. 8.)

Suojaus ylivirroilta, jolla tarkoitetaan ihmisten ja kotieläinten suojausta ylivirran aiheuttamilta vammoilta sekä omaisuuden suojausta ylivirran aiheuttamilta vahingoilta (4, s. 9).

Suojaus vikavirroilta, jolla tarkoitetaan, että muiden kuin jännitteisten johtimien sekä kaikkien muiden osien, joiden kautta vikavirta voi kulkea, on kestävä vikavirta ilman että johtimien tai osien lämpötila nousee liian suureksi. Lisäksi sähkölaitteet ja johtimet on suojattava mekaanisesti vikavirran sähkömekaanisilta vaikutuksilta niin, että tarpeellinen suojaus ihmisten, kotieläinten ja omaisuuden vahingoittumisen kannalta toteutuu. (4, s. 9.)

Suojaus jännitehäiriöiltä ja sähkömagneettisilta vaikutuksilta, jossa jännitehäiriön suojauksella tarkoitetaan ihmisten, kotieläinten ja omaisuuden

- suojausta eri jännitteellä syötettyjen virtapiirien välisissä vioissa
- suojausta muista syistä johtuvien ylijännitteiden, kuten ilmastollisen tai kytkentäylijännitteen vahingoilta
- suojausta alijännitteen ja jännitteen palaamisen vahingoilta.

Suojaus sähkömagneettisilta vaikutuksilta tarkoittaa, että sähköasennuksilla täytyy olla riittävä häiriönsietotaso sähkömagneettisilta häiriöiltä. Laitteiston rakenteessa on otettava huomioon mahdolliset sähköasennuksien ja asennettujen laitteiden aiheuttamat häiriöt. Laitteistossa käytettävien kulutuslaitteiden on oltava sopivia näihin häiriöihin. (4, s. 9.)

Suojaus syötön keskeytykseltä: ”Jos syötön keskeytyksestä voi aiheutua vaaraa tai vaurioita, on käytettävä sopivia menettelyjä asennuksessa tai asennetuissa laitteissa” (4, s. 9).

Standardi ei anna ehdottomia vaatimuksia jännitealennuksen tai suojauksen selektiivisyyden kannalta, mutta nämäkin on syytä tarkistaa suunnitteluvaiheessa. Jos asennuksessa täytyy toteuttaa ylijännite- tai alijännitesuojaus, on näiden suojausten toteutustapa määritettävä myös suunnitteluvaiheessa. (8, s. 34.)

Sähköasennusten suunnitteluvaiheessa on laskelmilla tai muilla tavoin osoitettava, että standardin SFS 6000-1 mukaiset perusvaatimukset toteutuvat. Vaatimusten täytyminen on dokumentoitava standardin SFS 6000-5-51 mukaisesti. (4, s. 9.)

3.2 Sähköpiirustusten dokumentointi

Sähköpiirustuksella tarkoitetaan yleisesti kaikkia sähkötekniisiä dokumentteja ja piirustuksia, joita käytetään kuvaamaan toimintoja, esittämään kytkentöjä tai antamaan tietoja esimerkiksi valmistusta, koestusta, asennusta, käyttöä ja huoltoa varten (7, 1–3).

Sähköpiirustuksien dokumentaatioita käytetään tukemaan asennusta ja järjestelmää sen käytön ajan. Sähkötekniikan asennukset ja järjestelmät ovat muuttuneet tekniikan kehittyessä mutkikkaammaksi ja monimuotoisemmaksi. Vaatimukset asennuksien ja järjestelmien dokumentoinnista ovat tämän johdosta kasvaneet. (7, 2–1.)

Standardi SFS 6000-5-51:2017 korostaa, että sähköpiirustukset laaditaan standardien SFS-EN 61082 ja SFS-EN 81346 mukaan ja että erityisesti seuraavat tiedot ilmenevät dokumentoinnissa:

- virtapiirien laji ja rakenne (kulutuspisteiden sijainti, johtimien lukumäärä ja koko, johtolaji, johtojen tyypit)
- tiedot, joiden avulla suoja-, kytkin- ja erotuslaitteiden ominaisuudet ja niiden sijainti voidaan tunnistaa. (5, s. 9.)

Edellä mainitut velvoitteet perustuvat Euroopan alueelliseen CENELEC HD 60364-5-51:2009 standardiin ja tästä poiketen SFS 6000-5-51:2017 velvoittaa kansallisella tasolla, että: "Dokumenttien tulee sisältää seuraavat yksityiskohtaiset tiedot, siltä osin kuin ne ovat tarpeen kussakin asennuksessa:" (5, s. 9.)

- johtimien tyypit ja poikkipinnat
- virtapiirien pituudet, joita tarvitaan suojausta tai jännitteenalennusta koskevien laskelmien tekemiseen (yleensä riittää mitoituksessa käytetyt maksimipituudet)
- suojalaitteiden lajit ja tyypit
- suojalaitteiden mitoitusvirrat tai asettelut
- prospektiiviset oikosulkuvirrat ja suojalaitteiden katkaisukyvyt

Nämä tiedot täytyy selvittää jo suunnitteluvaiheessa ja niitä tarvitaan asennuksen suojausten toimivuuden tarkistamiseen. (5, s. 9.)

3.3 Sähköasennusten suojausvaatimusten varmistaminen

Luvussa 3.1 on käyty läpi jo yleisesti SFS-6000-standardia suojausvaatimusten kannalta, mutta tässä luvussa esitetään käytännössä suojausten kannalta ratkaisevat ja huomioitavat asiat.

Käytännössä sähköasennusten suojausvaatimusten tarkasteluun käytetään yhä useammin valmiita mitoitusohjelmia ja varsinkin suurempien laitteistojen osalta tämä on ajallisesti ja virheiden välttämiseksi järkevää. Yksinkertaisten asennusten osalta suojausvaatimusten varmistaminen onnistuu myös käsilaskennalla.

3.3.1 Johtojen kuormitettavuus

Johdon poikkipinnan valintaan vaikuttaa ensisijaisesti johtimen kuormitusvirta. Tämän takia suunnitteluvaiheessa on kuormitusvirta arvioitava mahdollisimman tarkasti. Lisäksi muut johtimen kuormitettavuuteen vaikuttavat tekijät on huomioitava. Kaapeleiden kuormitettavuutta käsitellään standardissa SFS 6000 luvussa 523 ja kaapelin ylikuormitussuojausta standardissa SFS 6000-4-433. (8, s. 34.)

Johdon kuormitettavuus on määritelty johdolle sallitun suurimman lämpötilan mukaan, ja johtimen jatkuvasti sallittua lämpötilaa ei saa ylittää. Ylilämpötila kiihdyttää johtimen eristeiden ikääntymistä ja lyhentää johtimen käyttöikää. Lisäksi ylilämpötila voi aiheuttaa tulipalon. (8, s. 224.)

Johdon kuormitettavuuteen vaikuttavat muun muassa

- johdinmateriaali ja eristemateriaali
- ympäristön lämpötila
- asennustapa
- muiden virtapiirien läheisyys.

Edellä mainitut kuormitettavuuteen vaikuttavat tekijät heikentävät johtimen kykyä luovuttaa virran aiheuttamaa lämpötilaa ympäristöönsä. Standardissa SFS 6000 luvussa 523 on esitetty kuormitettavuustaulukot, joilla otetaan huomioon kaapelin

asennustapa ja mahdolliset korjauskertoimet. On myös huomioitava, että johtimen kuormitettavuus saattaa muuttua asennusreitien eri kohdissa huomattavastikin, ja siksi kuormitettavuus määritellään hankalimman olosuhteen mukaan. (8, s. 224.)

Standardin SFS 6000 kuormitettavuustaulukoita on paljon ja ne on jaoteltu yksityiskohtaisesti yksivaihe- ja kolmivaihepiireille sekä PEX-eristeisille ja PVC-eristeisille johtimille. Asennustavat on jaoteltu yhdeksään ryhmään. Standardin kuormitettavuustaulukot perustuvat suoraan IEC-esikuvastandardeihin, ja useimmat mitoitusohjelmat, esimerkiksi ABB e-Design, käyttävät kuormitettavuuden mitoituksessa vastaavia taulukoita.

Taulukossa 2 on D1-2017 käsikirjan kuormitettavuustaulukko eri asennustavoille. Sitä on yksinkertaistettu SFS 6000 -standardin taulukoista turvalliseen suuntaan niin, että kuormitettavuudet on esitetty kolmivaihepiireille ja PVC-eristeisille johtimille, jolloin niitä voidaan käyttää myös yksivaihepiireille ja PEX-eristeisille johtimille. D1-2017 käsikirjan yksinkertaistettuja taulukoita voidaan käyttää useimmissa mitoitusohjelmissa ja taulukon käyttö on vaivatonta etenkin laskettaessa käsin. Taulukoiden kanssa tulee käyttää D1-2017:ssä esitettyjä korjauskerrointaulukoita, ja on huomattava referenssilämpötilojen ero standardin SFS 6000 taulukoihin verrattuna.

TAULUKKO 2. D1-2017 yksinkertaistetut kuormitettavuudet eri asennustavoille
(8, s. 226)

Johtimen poikkipinta-ala [mm ²]	SFS 6000:n mukaiset asennustavat			
	A uppo	C pinta	D maa	E ilma
Kupari				
1,5	14	18,5	26	19
2,5	19	25	35	26
4	24	34	46	36
6	31	43	57	45
10	41	60	77	63
16	55	80	100	85
25	72	102	130	107
35	88	126	160	134
50	105	153	190	162
70	133	195	240	208
95	159	236	285	252
120	182	274	325	292
150	208	317	370	338
185	236	361	420	386
240	278	427	480	456
300	316	492	550	527
Alumiini				
16	43	62	78	65
25	56	77	100	83
35	69	95	125	102
50	83	117	150	124
70	104	148	185	159
95	125	180	220	194
120	143	209	255	225
150	164	240	280	260
185	187	274	330	297
240	219	323	375	350
300	257	372	430	404

3.3.2 Ylikuormitussuojaus

Ylikuormitussuojauksella suojataan kiinteän asennuksen kaapeleita normaalia kuormitusvirtaa suuremmilta ylikuormitusvirroilta. Ylikuormitussuojauksen mitoituksessa otetaan huomioon suojalaitteen nimellisvirran lisäksi suojalaitteen erilaiset toiminta-arvot. (8, s. 136.)

Johdonsuojakatkaisija ylikuormitussuojana

Ylikuormitussuojaus onnistuu helposti sellaisilla suojalaitteilla, joiden terminen toimintarajavirta on 1,45-kertainen nimellisvirtaan nähden. Tällaisia suojalaitteita ovat standardin SFS-EN 60 898 mukaiset B-, C- ja D-tyyppiset johdonsuojakatkaisijat ja tällöin ylikuormitussuoja voidaan valita suoraan johdon kuormitettavuuden perusteella. (8, s. 136.)

Myös K-tyyppistä johdonsuojakatkaisijaa voidaan käyttää samalla periaatteella, sillä sen terminen toimintarajavirta on 1,2 kertaa suojalaitteen nimellisvirta. Se antaa B- ja C-tyyppisiä johdonsuojakatkaisijoita paremman suojauksen ylikuormitukselta. (8, s. 136.)

Katkaisija ylikuormitussuojana

Käytettäessä esimerkiksi ilmakatkaisijaa tai kompaktikatkaisijaa, jossa toimintavirta voidaan asettaa, tulee asetteluarvon olla enintään johdon kuormitettavuuden suuruinen (8, s. 137).

Sulake ylikuormitussuojana

”Sulakkeilla ylempi sulamisrajavirta (virta, jolla sulake toimii varmasti yleensä tunnissa) on suurempi kuin 1,45 kertaa sulakkeen nimellisvirta. Tällöin ylikuormitussuojaa ei voi valita suoraan johtimen kuormitettavuuden mukaan vaan mitoituksessa on käytettävä kaavaa” (8, s. 137.)

$$k \cdot I_n \leq 1,45 \cdot I_z$$

KAAVA 1

k = sulakkeen ylemmän sulamisrajavirran ja sulakkeen nimellisvirran suhde

I_n = suojalaitteen nimellisvirta

I_z = johtimen jatkuva kuormitettavuus

Kaavaan 1 perustuen on taulukkoon 3 laskettu johdolta vaadittu kuormitettavuus, kun ylikuormitussuojana käytetään gG-sulaketta (8, s. 138).

TAULUKKO 3. Johdolta vaadittu kuormitettavuus käytettäessä gG-sulaketta yli-kuormitussuojana (8, s. 138)

gG-sulakkeen nimellisvirta [A]	Johdon kuormitettavuus oltava vähintään [A]
6	8
10	13,5
16	18
20	22
25	28
32	35
35	39
40	44
50	55
63	70
80	88
100	110
125	138
160	177
200	221
250	276
315	348
400	441
500	552
630	695
800	883
1000	1103
1250	1379

3.3.3 Oikosulkusuojaus

Keskeisin vaatimus oikosulkusuojaukselle on, että suojauksen on pystyttävä katkaisemaan suurin piirissä esiintyvä prospektiivinen oikosulkuvirta ja poiskytkennän on tapahduttava ennen kuin suojalaitteen suojaamat piirit vaurioituvat (8, s. 142).

Toisaalta oikosulkusuojauksen täytyy toimia minkä tahansa johtimien välisessä oikosulussa ja missä tahansa kohtaa johdinta. Siksi oikosulkusuojauksessa on tiedettävä piirissä esiintyvä suurin ja pienin oikosulkuvirta. (8, s. 268.)

Oikosulkusuojauksen tarkasteluun käytetään kaavaa 2, jolla saadaan selville piirissä tapahtuvan oikosulun sallittu kesto-aika (8, s. 142).

$$t = (k \cdot A / I)^2$$

KAAVA 2

t = oikosulun sallittu kesto-aika (s)

k = johdinvakio

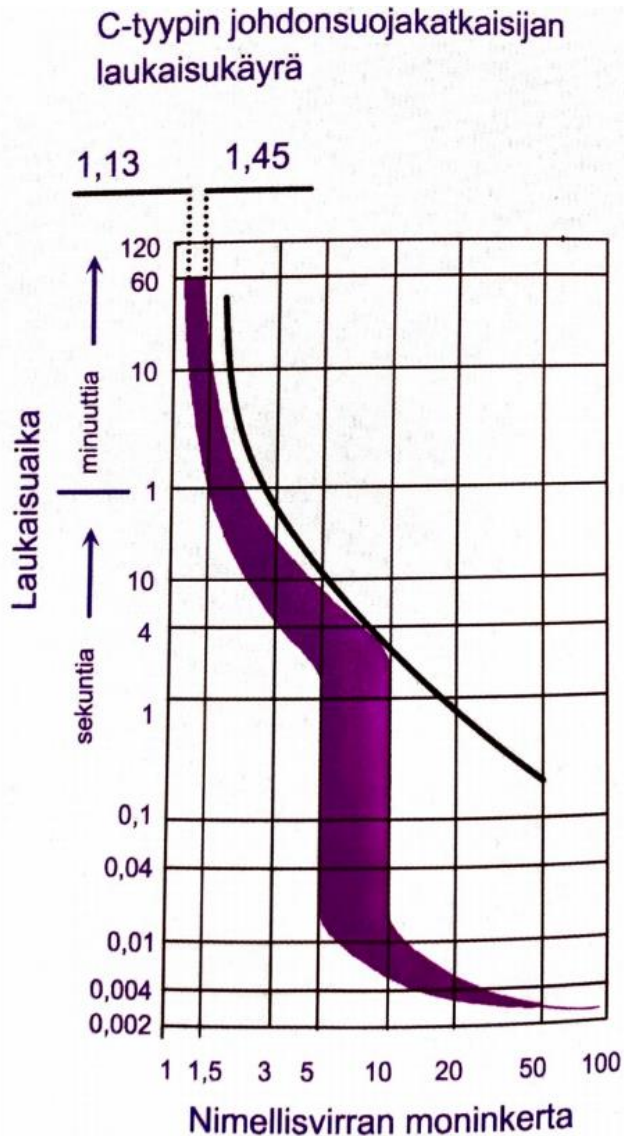
I = oikosulkuvirran suuruus (A)

A = johtimen poikkipinta (mm²)

Kaavaa 2 voidaan käyttää tarkasti enintään 5 sekuntia kestävässä vikatilanteissa. Pidemmässä oikosuluissa johtimen lämpenemisen laskeminen on vaikeampaa, mutta käytännössä käyttämällä kaavaa yli 5 sekuntia kestävässä oikosuluissa saadaan oikosulun kestoarvoja, jotka ovat johtimen lämpenemisen kannalta turvallisella puolella. (8, s. 142.)

Oikosulkusuojauksen toiminta-ajan on oltava pienempi kuin piirissä tapahtuvan oikosulun sallittu kesto-aika. Käytännössä oikosulkusuojauksen toiminta-aika varmennetaan valmistajan antamien käyrästöjen ja taulukoiden avulla (kuva 3). Oikosulkusuojauksen suunnitteluvaiheessa on tarkastettava, että suojalaitteen katkaisukyky on riittävä. (8, s. 143.)

Jos oikosulkusuojaus ja ylikuormitussuojaus on toteutettu samalla suojalaitteella, ei kaavaa yleensä tarvitse käyttää. Suoja on valittu jo johdon kuormitettavuuden perusteella ja silloin se suojaa piiriä myös oikosulkuvirran lämpövaikutuksilta. (8, s. 143.)



KUVA 3. Oikosulkusuojaus toteutuu, kun johtimen lämpenemiskäyrä on suojalaitteen toimintakäyrän yläpuolella, ja kun käyrät eivät leikkaa toisiaan (8, s. 144)

3.3.4 Vikasuojaus

”Vikasuojauksella tarkoitetaan suojausta, jonka avulla estetään ihmisiä tai kotieläimiä koskettamasta vian seurauksena jännitteiseksi tulleita johtavia osia niin, että siitä aiheutuisi vaaraa” (8, s. 84).

Vikasuojaus syötön automaattisen poiskytkennän avulla

Suojaus syötön automaattisen poiskytkennän avulla on yleisin käytetty vikasuojausmenetelmä. Tällä vikasuojausmenetelmällä pyritään siihen, että eristysvian

aiheuttama vikavirta ja syntyvä kosketusjännite poistetaan niin nopeasti, ettei siitä aiheudu vaaraa ihmisille tai kotieläimille. (8, s. 84.)

Suojauksen on täytettävä kaksi ehtoa toimiakseen:

- Virtapiirissä on oltava suunniteltu vikavirtapiiri, joka mahdollistaa eristysvian aiheuttaman vikavirran kulkemisen. Vikavirtapiirin rakenne riippuu käytetystä maadoitusjärjestelmästä. (8, s. 84.)
- Vikavirta ja kosketusjännite on kytkettävä pois sopivalla suojalaitteella. Vaadittu poiskytkentäaika riippuu eri tekijöistä, kuten kosketusjännitteestä, jonka alaiseksi ihminen saattaisi joutua ja vian todennäköisyydestä. (8, s. 85.)

Käytännössä on vaikeaa arvioida suurinta sallittua kosketusjännitettä. Siksi vika-suojaukseen koskevien vaatimusten soveltamista on helpotettu SFS 6000 taulukon 41.1 avulla, jossa suurimmat sallitut poiskytkentäajat on määritetty asennuksen nimellisjännitteestä riippuen (taulukko 4).

TAULUKKO 4. SFS 6000 taulukon 41.1 mukaiset suurimmat sallitut poiskytkentäajat (6, s. 9)

Järjestelmä	50 V < $U_0 \leq 120$ V s		120 V < $U_0 \leq 230$ V s		230 V < $U_0 \leq 400$ V s		$U_0 > 400$ V s	
	AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC
TN	0,8	^a	0,4	1	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3	^a	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

Jos TT-järjestelmässä poiskytkentä saadaan aikaan ylivirtasuojilla ja suojaava potentiaalintasaus on kytketty kaikkiin asennuksen muihin johtaviin osiin, voidaan käyttää TN-järjestelmän poiskytkentäaikoja.

U_0 on nimellinen tasa- ja vaihtojännite äärijohtimesta maahan.

HUOM. Jos poiskytkentä toteutetaan vikavirtasuojan avulla, katso kohdan 411.4.4 huomautus, kohdan 411.5.3 huomautus 4 ja kohdan 411.6.4 b) huomautus 4.

^a Poiskytkentää voidaan tarvita muusta syystä kuin sähköiskulta suojaamiseen.

Esimerkiksi TN-järjestelmässä nimellisjännitteellä 230 V on taulukon mukainen suurin sallittu poiskytkentäaika 0,4 sekuntia.

Tapaukset, joissa korkeintaan 5 sekunnin poiskytkentäaika on sallittu

TN-järjestelmässä sallitaan korkeintaan 5 sekunnin poiskytkentäajat seuraavissa tapauksissa:

- pääjohdoille
- yli 32 A:n ylivirtasuojilla suojatuille, kiinteitä laitteita syöttäville ryhmäjohtojen doille
- yli 63 A:n ylivirtasuojilla suojatuille pistorasiaryhmille (8, s. 91).

Pääpotentiaalintasaus

Nopean poiskytkennän lisäksi on myös vian aikana esiintyvän kosketusjännitteen suuruutta pyrittävä rajoittamaan. Tämä tehdään potentiaalintasauksella, jossa yhdistetään sähkölaitteiden jännitteelle alttiit osat ja muut johtavat osat suurin piirtein samaan potentiaaliin. (8, s. 86.)

Vikasuojaus suunnittelussa

Suunnitteluvaiheessa on varmistettava vikasuojauksen toimivuus. Nopean poiskytkennän kannalta selvitetään suojalaitteen pienin sallittu oikosulkuvirran arvo, jolla se toimisi vaaditussa ajassa (0,4 tai 5 sekunnissa) ja verrataan sitä suojattavan piirin pienimpään oikosulkuvirran arvoon (taulukko 5). Suojaukselta vaaditaan, että suojattavan piirin oikosulkuvirran on oltava tarpeeksi suuri, jotta suojalaite toimisi vaaditussa ajassa. (8, s. 92–93.)

TAULUKKO 5. Automaattisen poiskytkennän takia vaadittavat oikosulkuvirrat B- ja C-tyyppin johdonsuojakatkaisijoille (8, s. 93)

Nimellisvirta [A]	Pienimmät toimintavirrat [A] johdonsuojakatkaisijoille			
	B-tyyppi		C-tyyppi	
	toiminta-aika 0,4 s ja 5,0 s	vaadittu mitattu arvo	toiminta-aika 0,4 s ja 5,0 s	vaadittu mitattu arvo
6	30	37,5	60	75
10	50	62,5	100	125
13	65	81,3	130	162,5
16	80	100	160	200
20	100	125	200	250
25	125	156,3	250	312,5
32	160	200	320	400
50	250	312,5	500	625
63	315	393,8	630	787,5
80	400	500	800	1000
125	625	781,3	1250	1562,5

Mitattujen oikosulkuvirtojen täytyy olla 25 % suurempia kuin suojalaitteen pienin toimintavirta, sillä mittauksen aikana lämpötila on alhaisempi kuin oikosulun aikainen lämpötila (8, s. 93).

Oikosulkuvirta voidaan joko mitata tai laskea. Vikasuojauksen kannalta oikosulkuvirta määritetään vaihe- ja suojajohtimen välisessä oikosulussa. Kaavalla 3 voidaan laskea vikasuojauksen kannalta tarvittava yksivaiheinen oikosulkuvirta. (8, s. 94–95.)

$$I_{k1} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z}$$

KAAVA 3

I_{k1} = pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta (A)

c = kerroin 0,95 laskettaessa minimoioikosulkuvirtaa

U = pääjännite (V)

Z = virtapiirin kokonaisimpedanssi, joka muodostuu

- jakelumuntajaa edeltävän verkon impedanssista
- muuntajan impedanssista
- muuntajan jälkeisten johtimien impedansseista (vaihe- ja suojajohtimissa)

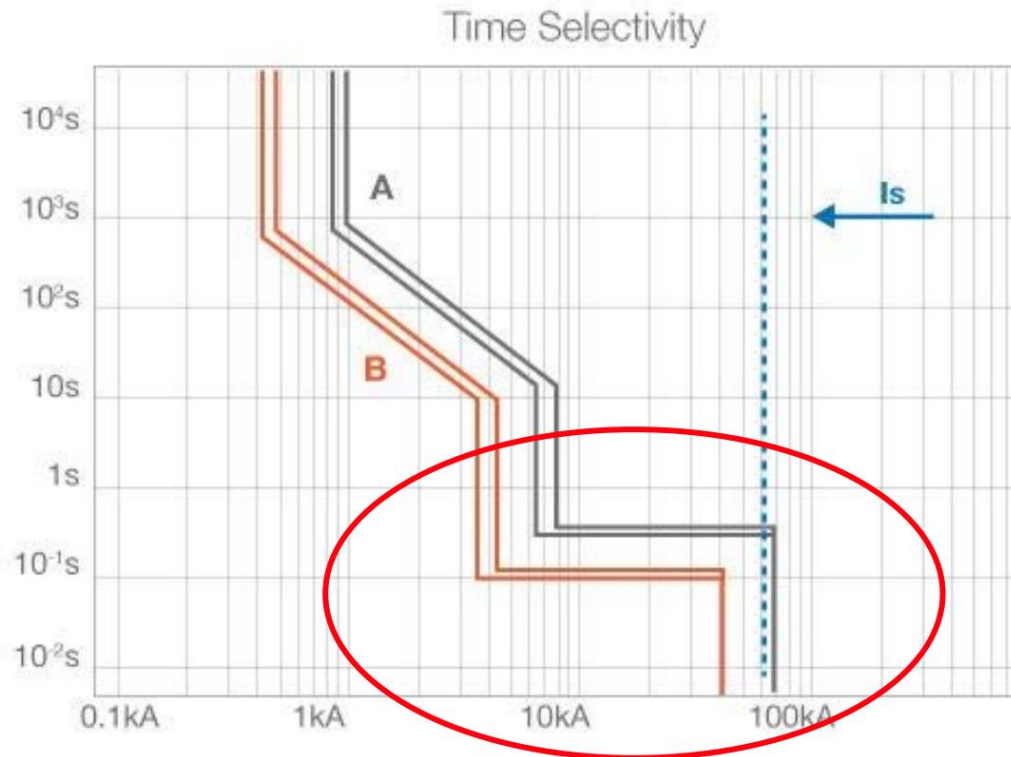
On kuitenkin huomioitava, että kyseisen yksinkertaistetun kaavan lasketut oikosulkuvirrat ovat pienempiä kuin todellinen arvo (8, s. 95). Siksi sitä ei voi käyttää esimerkiksi suojalaitteen katkaisukyvyyn määrittämiseen. Tämän opinnäytetyön luvussa 3.4 käydään tarkemmin läpi oikosulkuvirran luonnetta ja sen laskentaa.

3.3.5 Suojalaitteiden selektiivisyys

Suojalaitteiden selektiivisyydellä pyritään siihen, että lähimpänä vikapaikkaa oleva suojalaite toimii, ja muu osa verkosta on normaalissa käytössä (8, s. 247).

Suunnitteluvaiheessa selektiivisyyteen kannattaa yleensä pyrkiä, mutta täydellinen selektiivisyyden saavuttaminen voi usein johtaa kohtuuttomaan ylimitoitukseen (8, s. 247).

Selektiivisyyttä voidaan tarkastella vertailemalla suojalaitteiden ominaiskäyriä (kuva 4). Käytännössä selektiivisyys saavutetaan, kun suojalaitteiden ominaiskäyrät eivät leikkaa toisiaan ja kun kuorman puoleisen suojalaitteen ominaiskäyrä on syötön puoleisen suojalaitteen ominaiskäyrän alapuolella (8, s. 247). Selektiivisyys saadaan tarkastettua helposti suojalaitteiden valmistajien julkaisemista taulukoista ja suosituksista. Useat sähköverkon mitoitusohjelmat, kuten ABB:n e-Design Curves, tukevat myös suojalaitteiden selektiivisyydestä tarkastelua.



KUVA 4. Aikaselektiivisyyden tarkastelua e-Design Curves- ohjelmalla (19, s.12)

3.3.6 Jännitteenalenema

Jännitteenalenemalle ei ole velvoittavia ehtoja, mutta standardi SFS 6000 sisältää suosituksia jännitealeneman raja-arvoista:

- normaalista pienjänniteverkosta syötetyn laitteen jännitealenema suositusten mukaan enintään 5 %
- valaistuskormalle suositellaan enintään 3 %:n jännitteenalenemaa (8, s. 242).

Yksivaiheisella vaihtojännitteellä jännitteenalenema lasketaan kaavalla 4 (8, s. 242).

$$\Delta U = I \cdot 2 \cdot l \cdot (r \cos \varphi \mp x \sin \varphi) \quad \text{KAAVA 4}$$

Kolmivaiheisella vaihtojännitteellä jännitealenema lasketaan kaavalla 5 (8, s. 242).

$$\Delta U = I \cdot l \cdot \sqrt{3} \cdot (r \cos \varphi \mp x \sin \varphi) \quad \text{KAAVA 5}$$

Kaavoissa 4 ja 5 plusmerkkiä käytetään induktiivisella kuormalla ja miinusmerkkiä kapasitiivisella kuormalla (8, s. 242).

Suhteellinen jännitealenema lasketaan kaavalla 6 (8, s. 242).

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 \% \quad \text{KAAVA 6}$$

ΔU = jännitteenalenema (V)

I = kuormitusvirta (A)

l = johdon pituus (m)

r = johtimen ominaisresistanssi (Ω/m)

x = johtimen ominaisreaktanssi (Ω/m)

U_n = nimellisjännite (V)

φ = jännitteen ja virran välinen vaihekulma

Δu = suhteellinen jännitteenalenema (%)

3.4 Oikosulkuvirrat

Oikosululla tarkoitetaan kahden tai useamman sähköjohtimen kosketusta toisiinsa muun kuin sähkölähteen tai kuormituksen kautta. Eri potentiaalissa olevat johtimet kytkeytyvät yhteen pieni-impedanssisen kuorman kautta, jolloin virtaa rajoittaa pelkästään piirin osa, jonka läpi oikosulkuvirta kulkee.

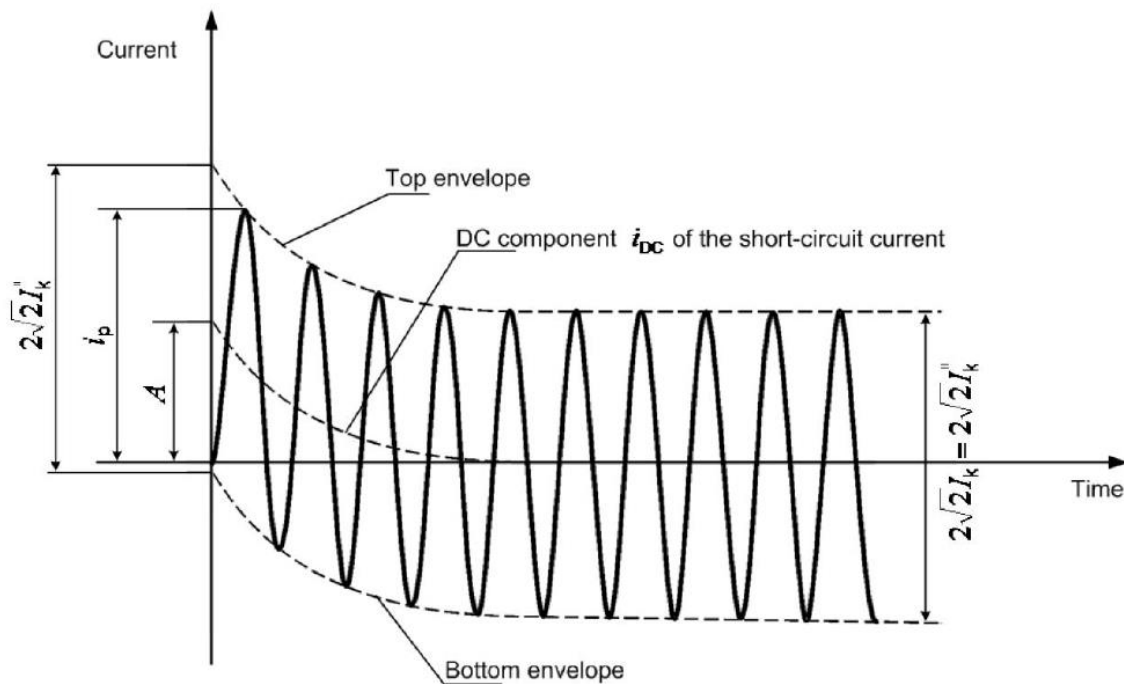
Sähköasennusten suunnitteluvaiheessa on tunnettava oikosulkuvirrat eri tilanteissa ja verkon eri osissa, jotta voidaan taata turvallinen ja standardien mukaisesti suojattu sähkölaitteisto. Sähkölaitteiston komponenttien on kestettävä mahdollisen oikosulkuvirran aiheuttamat dynaamiset ja termiset rasitukset. (9, s. 1.)

Kolmivaihejärjestelmän oikosulkuvirran laskemista ja vaikutuksia käsitellään muun muassa standardeissa IEC 60909 ja 60865, mutta tässä luvussa keskitytään pääosin käsittelemään asiaa standardin IEC 60909 ja sen osien kannalta. Standardi IEC 60909-0 käsittelee oikosulkuvirran laskentaa pienjännitteisissä ja suurjännitteisissä kolmivaiheisissa vaihtovirtajärjestelmissä, joita käytetään 50 Hz:n tai 60 Hz:n nimellistaajuudella. (10, s. 7.)

Oikosulkuvirrat ja oikosulkuimpedanssit voidaan määrittää myös mittauksin testilaitteella siten, että olemassa olevassa pienjännitteisessä järjestelmässä oikosulkuimpedanssi mitataan mahdollisen oikosulun paikasta (10, s. 7).

Oikosulkuimpedanssin ja -virran laskennan perustana on sähköverkon ja -laitteiston tiedot. Oikosulkuvirtoihin vaikuttavat ennen kaikkea verkon rakenne, kuten jakelumuuntajan koko ja sijainti, sekä kaapelien pituudet ja poikkipinta-alat. Lähötietoina laskelmille tarvitaan siis syöttävän verkon oikosulkuvirran arvot tai muuntajan ja kaapelien tiedot. (10, s. 7; 11.)

Kuvassa 5 esitetään oikosulkuvirta kaukana generaattoreista tapahtuvissa tilanteissa. Oikosulkuvirrassa on vaimeneva tasavirtakomponentti, jonka suuruus riippuu oikosulun syntyhetkestä ja vaimenemisnopeus piirin R/X-suhteesta, sekä vaihtovirtakomponentti, jossa voi myös olla vaimeneva osa. (9, s. 1; 10, s. 17.)



- I_k'' symmetrisen alkuoikosulkuvirta
- i_p oikosulkuvirran huippuarvo (sysäysoikosulkuvirta)
- I_k jatkuvan tilan oikosulkuvirta
- i_{DC} (vaimeneva jaksoton) tasavirtakomponentti
- A tasavirtakomponentin i_{DC} alkuarvo

KUVA 5. Oikosulkuvirran käyrämuoto (10, s. 17)

3.4.1 Minimi- ja maksimioikosulkuvirta

Yleensä oikosulkuvirtoja tarkastellessa otetaan huomioon kahden tyyppiset oikosulkuvirrat, jotka eroavat suuruudeltaan: maksimioikosulkuvirta ja minimioikosulkuvirta.

Maksimioikosulkuvirta

Maksimioikosulkuvirtaa käytetään keskuksen ja komponenttien mitoitukseen. Esimerkiksi suojalaitteen katkaisukyvyyn pitää olla tarpeeksi suuri maksimioikosulkuvirtaan nähden. Suurimmat arvot syntyvät yleensä kolmivaiheisissa oikosuluissa. (10, s. 36–37; 11.)

Laskettaessa maksimioikosulkuvirtoja otetaan huomioon seuraavat asiat:

- jännitekerroin c_{max} valitaan taulukon 7 mukaan
- maksimioikosulkuvirtaa laskettaessa valitaan verkon kytkentätilanne vastaamaan maksimioikosulkuvirtaa
- moottorien syöttämä oikosulkuvirta huomioidaan tarvittaessa
- kaikkien johtimien ja kaapelien resistanssit esitetään 20°C:een lämpötilassa (10, s. 41–42).

Minimioikosulkuvirta

Minimioikosulkuvirtaa käytetään muun muassa vaatimuksien mukaisen suojauksen ja suojalaitteiden valitsemiseen. Sitä käytetään esimerkiksi vikatilanteiden suojauksen toiminnan tarkistamiseen ja automaattisen poiskytkennän vaatimusten täyttämiseen. Pienimmät oikosulkuvirrat syntyvät yleensä yksivaiheisessa oikosulussa. (10, s. 36–37; 11.)

Laskettaessa minimioikosulkuvirtoja otetaan huomioon seuraavat asiat:

- jännitekerroin c_{min} valitaan taulukon 7 mukaan
- minimioikosulkuvirtaa laskettaessa valitaan verkon kytkentätilanne vastaamaan minimiä
- moottorit oletetaan seisoviksi

- johtimille ja kaapeleille käytetään suurinta käyttölämpötilaa vastaavaa resistanssia (10, s. 42).

3.4.2 Kolmivaiheinen symmetrinen alkuoikosulkuvirta I_k''

Symmetrisellä alkuoikosulkuvirralla tarkoitetaan vaihtosähköjärjestelmän symmetrisen prospektiivisen oikosulkuvirran tehollisarvoa oikosulun alkuhetkellä. Symmetrinen alkuoikosulkuvirta I_k'' lasketaan Theveninin menetelmällä (Kaava 7), jonka yksivaiheisessa sijaiskytkennässä komponentit ja lähteet korvataan oikosulkuimpedansseilla ja vikapaikkaan sijoitettavalla ekvivalenttisella jännitelähteellä cU_n , jossa U_n on vikapaikan käyttöjännite vikahetkellä ja c on taulukon 7 mukainen kerroin. (9, s. 1; 10, s. 43.)

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \quad \text{KAAVA 7}$$

c = taulukon 7 mukainen kerroin

U_n = syöttävän verkon jännite

Z_k = impedanssi vikapaikasta katsottuna

TAULUKKO 7. IEC 60909-mukainen jännitekerroin c (10, s. 22)

Nominal system voltage U_n	Voltage factor c for the calculation of	
	maximum short-circuit currents c_{\max}^a	minimum short-circuit currents c_{\min}
Low voltage 100 V to 1 000 V (IEC 60038:2009, Table 1)	1,05 ^c 1,10 ^d	0,95 ^c 0,90 ^d
High voltage ^b >1 kV to 230 kV (IEC 60038:2009, Tables 3, 4)	1,10	1,00
High voltage ^{b, e} > 230 kV (IEC 60038:2009, Table 5)	1,10	1,00

^a $c_{\max}U_n$ should not exceed the highest voltage U_m for equipment of power systems.
^b If no nominal system voltage is defined $c_{\max}U_n = U_m$ or $c_{\min}U_n = 0,90 \cdot U_m$ should be applied.
^c For low-voltage systems with a tolerance of $\pm 6\%$, for example systems renamed from 380 V to 400 V.
^d For low-voltage systems with a tolerance of $\pm 10\%$.
^e For nominal system voltages related to $U_m > 420$ kV, the voltage factors c are not defined in this standard.

3.4.3 Yksi- ja kaksivaiheiset oikosulkuvirrat

”Yksi- ja kaksivaiheisissa vioissa sijaiskytkentä muodostetaan myötä-, vasta- ja nollakomponenttiverkkojen avulla. Vikatyypin määrää komponenttiverkkojen keskinäisen kytkeytymisen.” (9, s. 2.)

”Komponenttien impedanssit kytkeytyvät myötä- ja vastaverkkoihin samalla tavalla. Nollaverkon kytkeytyminen riippuu muuntajan kytkentäryhmästä. Tähtipisteiden ja maan väliset impedanssit ja vikaimpedanssi kytkeytyvät nollaverkkoon kolminkertaisina. Ekvivalenttinen jännitelähde sijoitetaan ainoastaan myötäverkkoon.” (9, s. 1.)

”Johdoilla, muuntajilla ja kuristimilla, vasta- ja myötäimpedanssit ovat yhtä suuria. Pyörivillä koneilla myötä- ja vastareaktanssit voivat erota toisistaan. Nollaimpedanssit eroavat myötäimpedansseista kaikilla verkon komponenteilla.” (9, s. 1.)

Kaksivaiheinen oikosulkuvirta

Ilman maakosketusta tapahtuva kaksivaiheinen oikosulkuvirta saadaan kaavalla 8 (9, s. 2).

$$I''_{k2} = \frac{c \cdot U_n}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2}$$

KAAVA 8

c = taulukon 7 mukainen kerroin

U_n = syöttävän verkon jännite

\bar{Z}_1 = myötäkomponenttiverkon impedanssi

\bar{Z}_2 = vastakomponenttiverkon impedanssi

Kaukana generaattoreista $Z_1 \approx Z_2$, jolloin laskentaan voidaan käyttää kaavaa 9 (9, s. 2).

$$I''_{k2} = \frac{c \cdot U_n}{2 \cdot |\bar{Z}_1|} = \frac{\sqrt{3} \cdot I''_{k3}}{2}$$

KAAVA 9

Yksivaiheinen oikosulkuvirta

Yksivaiheinen oikosulkuvirta saadaan kaavalla 10 (9, s. 3).

$$I''_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_0|}$$

KAAVA 10

\bar{Z}_1 = myötäkomponenttiverkon impedanssi

\bar{Z}_2 = vastakomponenttiverkon impedanssi

\bar{Z}_0 = nollakomponenttiverkon impedanssi

Kaukana generaattoreista $Z_1 \approx Z_2$, jolloin laskentaan voidaan käyttää kaavaa 11 (9, s. 1).

$$I''_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|2 \cdot \bar{Z}_1 + \bar{Z}_0|}$$

KAAVA 11

3.4.4 Oikosulkuvirran huippuarvo i_p

Myös sysäysoikosulkuvirtana ja dynaamisena oikosulkuvirtana tunnettu oikosulkuvirran huippuarvo i_p on suurin mahdollinen prospektiivisen oikosulkuvirran hetkellisarvo. Oikosulkuvirran huippuarvo i_p rasittaa mekaanisesti sähkölaitteiston

osia ja rakenteita, ja sen aiheuttamat voimat on huomioitava esimerkiksi keskuk-
sen rakenteessa ja kaapelien kiinnityksissä. (9, s. 1; 13, s. 4.)

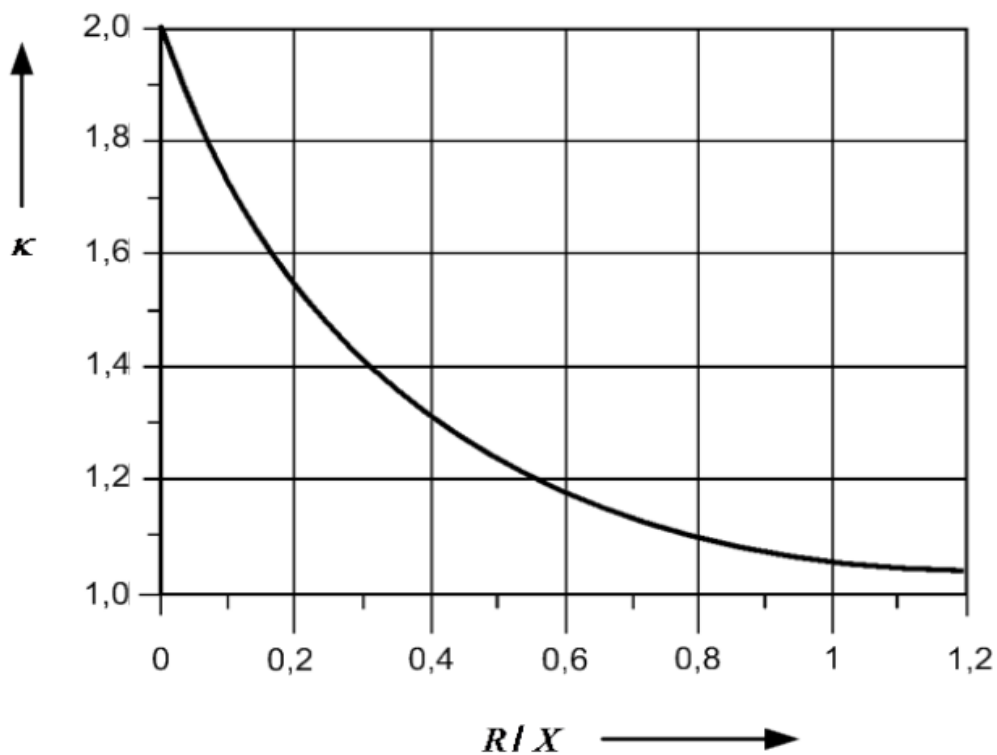
Säteittäisissä verkoissa oikosulkuvirran huippuarvo i_p lasketaan kaavalla 12 (9,
s. 7).

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k''$$

KAAVA 12

κ = sysäyskerroin kuvan 6 mukaan

Sysäyskerroimen suuruus riippuu oikosulkuvirtapiirin resistanssin R ja reaktans-
sin X suhteesta. Suurjänniteverkossa κ on yleensä alle 1,8 ja pienjännitever-
koissa yleensä alle 1,44. (9, s. 8.)



KUVA 6. Sysäyskerroimen riippuvuus oikosulkuvirtapiirin R/X - suhteesta (10, s. 50)

Silmukoidun verkon oikosulkuvirran huippuarvon laskentaa käsitellään standar-
dissa IEC 60909-0 luvussa 8.1.2 (10, s. 51–52).

3.4.5 Terminen oikosulkuvirta I_{th}

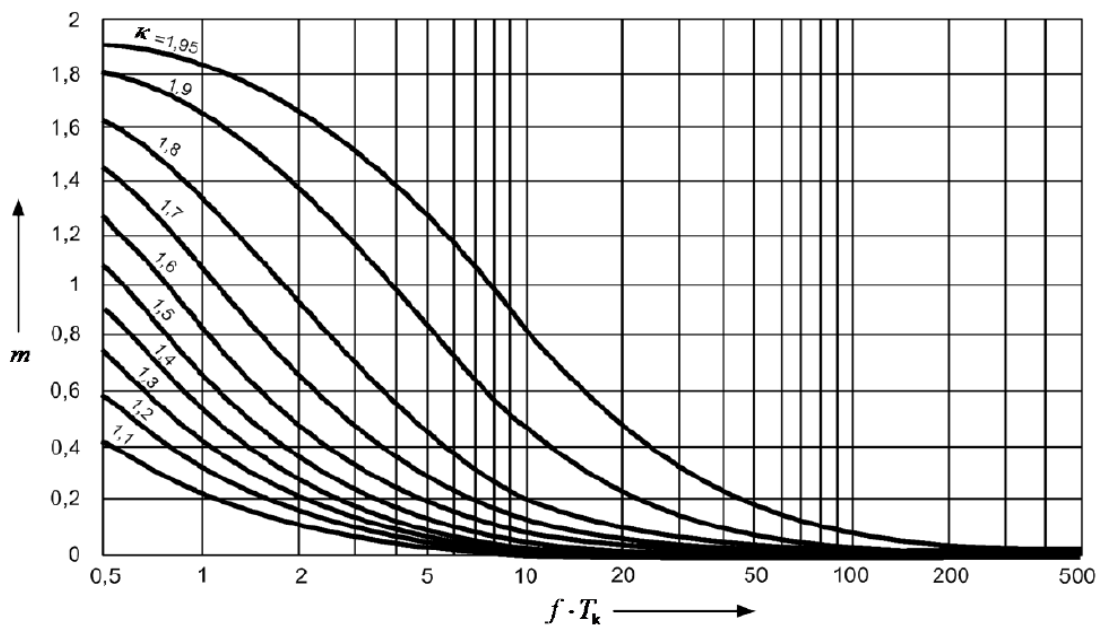
Terminen oikosulkuvirta aiheuttaa virtapiirissä ja sen komponenteissa termisen rasitteen (10, s. 37). Virtapiirin komponenttien on kestävä näitä oikosulkuvirran termiset vaikutukset. Yleensä laitteiden terminen kestoisuus ilmoitetaan 1 sekunnin arvona, mutta myös muita arvoja käytetään. (9, s. 9.)

Ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirta I_{th} lasketaan kaavalla 13 (9, s. 8–9).

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m + n} \quad \text{KAAVA 13}$$

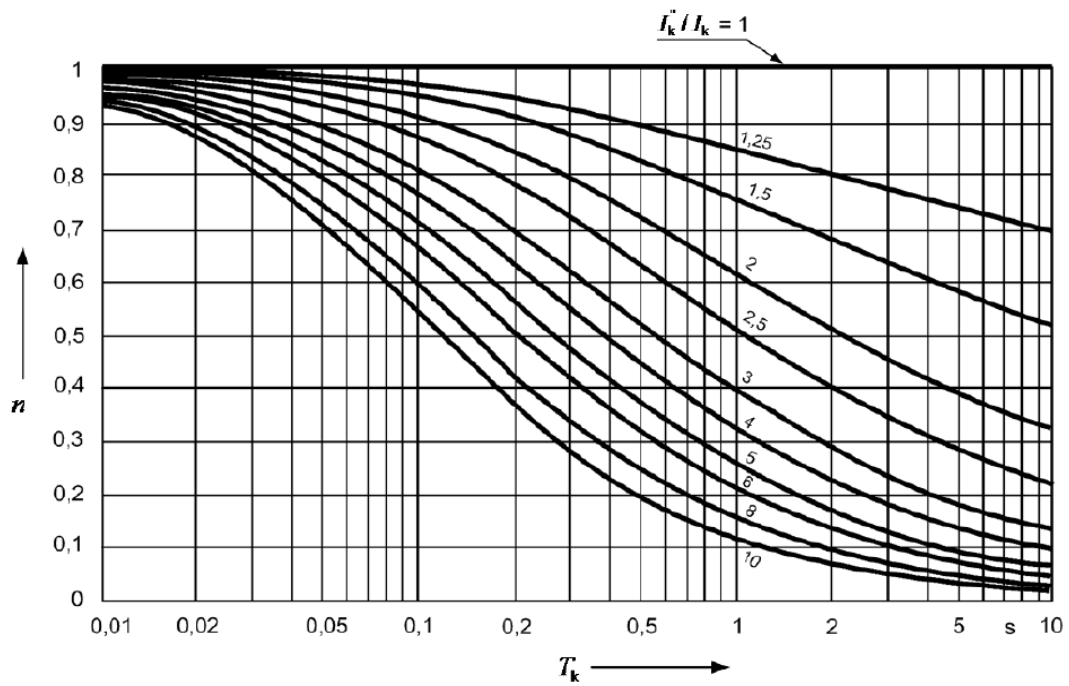
m = tasavirtatekijä kuvan 7 mukaan

n = vaihtovirtatekijä kuvan 8 mukaan



- m tasavirtatekijä
- κ sysäyskerroin
- f taajuus
- T_k oikosulun kesto aika

KUVA 7. Tasavirtatekijän m riippuvuus oikosulkuvirran sysäyskerroimesta κ ja oikosulun kestoajasta (10, s. 66)



n vaihtovirtatekijä

T_k oikosulun kesto aika

I_k'' / I_k oikosulkuvirran alkuarvon ja pysyvän arvon suhde

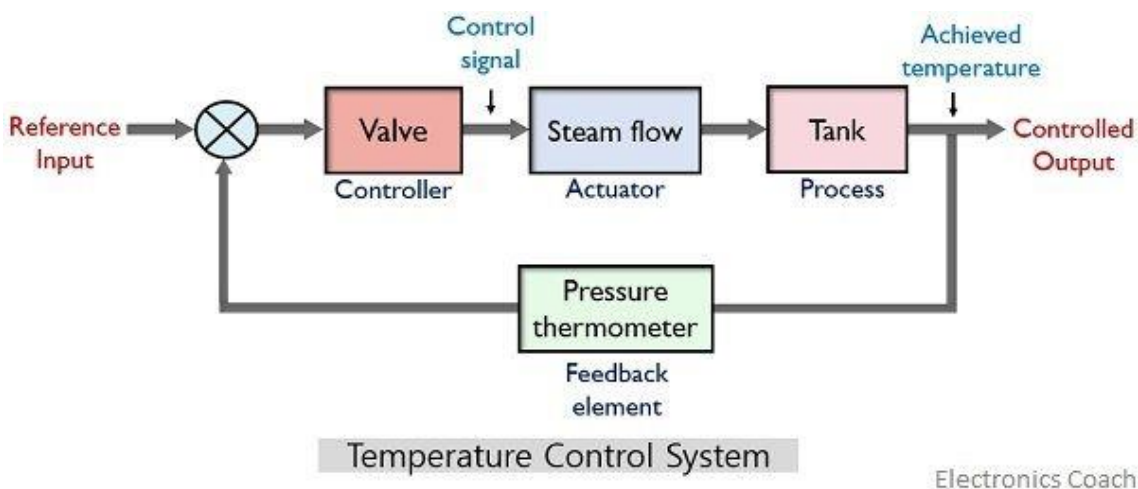
KUVA 8. Vaihtovirtatekijän n riippuvuus oikosulkuvirran alkuarvon ja pysyvän arvon suhteesta I_k'' / I_k . (10, s. 67)

4 YLEISTÄ OHJAUSJÄRJESTELMISTÄ

Ohjausjärjestelmän ts. säätöjärjestelmän tarkoitus on ohjata ja säätää jonkin laitteen tai laitteiston käyttäytymistä säätöpiirejä käyttäen. Yksinkertaisena esimerkkinä voidaan pitää kodin lattialämmityksen säätöpiiriä, jossa termostaatti pyrkii pitämään lämpötilan halutulla tasolla. Teollisuudessa ohjausjärjestelmät ovat usein monimutkaisempia ja koostuvat useista säätöpiireistä. (14.)

Ohjaustoiminnot voidaan jakaa kahteen yleiseen luokkaan: avoin silmukka ja suljettu silmukka. Avoimen silmukan järjestelmissä säädinpiirin ohjaustoiminto on riippumaton prosessimuuttujasta. Esimerkkinä on kuivausuunin lämmitysvastus, jota ohjataan pelkästään ajastimella. Prosessimuuttujana on uunin lämpötila, mutta ohjaustoiminto ohjaa pelkästään lämmitystä päälle tai pois.

Suljetun silmukan järjestelmissä (kuva 9) säädinpiirin ohjaustoiminto riippuu myös prosessimuuttujasta. Käyttäen samaa esimerkkiä suljetun silmukan ohjaus saataisiin toteutettua, jos prosessimuuttujaa eli lämpötilaa mitattaisiin, ja sillä perusteella lämmitystä säädettäisiin päälle tai pois.



KUVA 9. Esimerkki suljetun silmukan ohjausjärjestelmästä (14)

4.1 Ohjelmoitavat logiikat

Ohjelmoitava logiikka (PLC) on mikroprosessoripohjainen laite, jota käytetään ohjaamaan prosessin laitteita. Ohjaus tapahtuu logiikan tulojen, lähtöjen tai väylien kautta niiden muistissa olevien ohjelmien ja parametrien perusteella (kuva 10). Ohjaukseen voidaan tehdä helposti muutoksia sovellusohjelmaa muuttamalla. (16, s. 7.)



KUVA 10. Ohjelmoitavan logiikan rakenne (16, s. 8)

Ohjelmoitavan logiikan tarkoitus on siis toteuttaa prosessin ohjaus sovellusohjelman ja prosessitietojen perusteella. Logiikka tarvitsee tätä varten tuloliitännät prosessitietojen lukemiseen, lähtöliitännät prosessin ohjauksiin sekä muistipaikkoja ohjelmaa ja muuttujia varten. Erilaiset kenttäväyläratkaisut (esimerkiksi Profibus DP ja Modbus) ovat lisänneet sarjaliikenteen käyttöä eri toimilaitteiden, antureiden viestinnän ja hajautetun I/O:n parissa. (16, s. 7.)

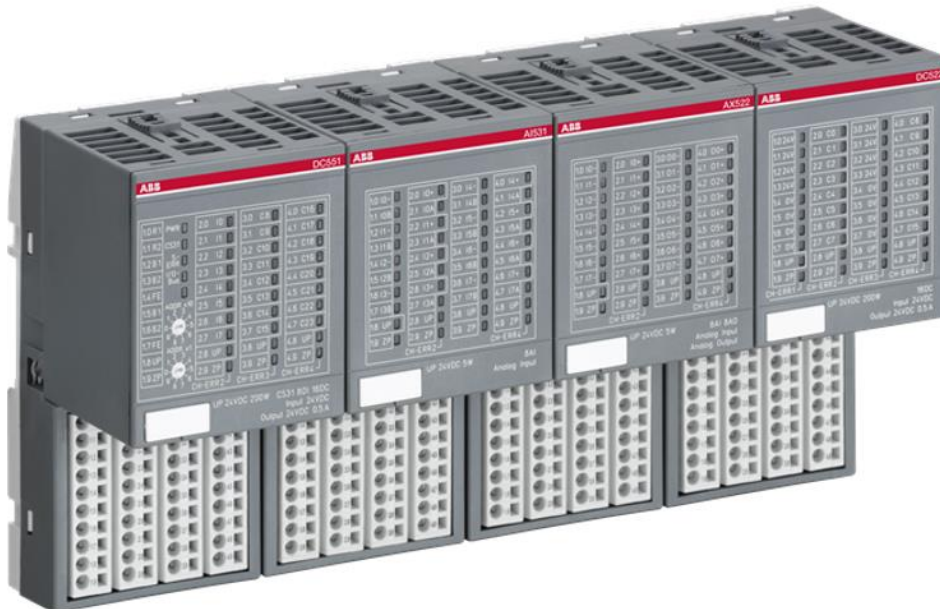
Ohjelmoitava sovellusohjelma määrää logiikan tehtävät, ja miten logiikka ohjaa prosessia. Ohjelmoitu sovellusohjelma tallennetaan logiikkaan yleensä käyttäen paristovarmennettua RAM-muistia (Random Access Memory). (16, s. 7.)

Joissakin logiikoissa on myös Flash-ROM (Read Only Memory) -tyyppinen luku-muisti, kuten esimerkiksi useissa ABB AC500-sarjan logiikoissa, joissa ohjelmaa voidaan tallentaa Flash-EEPROM (Erasable Programmable Read-Only Memory) muodossa logiikalle.

Tulot ja lähdöt

Tulot ja lähdöt ovat ohjelmoitavan logiikan ulkoisia liitäntöjä, joiden nimitys tulee termistä I/O, input/output. Tulot antavat tietoa logiikalle prosessimuuttujista, ja lähdöillä ohjataan prosessia halutulla tavalla. (16, s. 7.)

Tulo- ja lähtöyksiköiden (kuva 11) kautta logiikka voidaan liittää erityyppisiin prosessisignaaleihin. Pääsääntöisesti logiikka käyttää binäärisiä (digitaalisia) kaksitehojauksia, mutta myös analogisia standardiviestejä ja pulssijonoja käytetään. (16, s. 7.)



KUVA 11. ABB:n AC500 sarjan I/O logiikkamoduuleita (20)

Digitaalinen tulo/lähtö ilmaisee vain päällä- tai poissa-tilan (1,0). Tyypillinen digitaalinen tulosignaali saadaan esimerkiksi rajakytkimeltä, kun taas digitaalisena lähtönä voi toimia esimerkiksi kontaktorin kelan ohjaus. Digitaaliset liittynät varaavat logiikan muuttujamuistista yhden bitin (1 bit). (16, s. 7.)

Analoginen tulo/lähtö ilmaisee kaikki arvot sen toiminta-alueelta (esimerkiksi 4–20 mA, 0–10 V). Tyypillinen analoginen tulosignaali on lämpötilan mittaus ja analoginen lähtö esimerkiksi säätöventtiilin ohjaus. Analogiset liittynät varaavat logiikan muuttujamuistista yhden sanan (16 bit). (16, s. 7.)

4.2 Logiikan ohjelmointi

Logiikan ohjelma kirjoitetaan tietokoneella erityisesti tähän tarkoitettu ohjelmointiohjelmistolla, joka on yleensä valmistajakohmainen. Käytännössä ohjelma koostuu käskysanoista tai toimintasymboleista riippuen siitä, mitä ohjelmointikieltä käytetään. Käskysanat tai symbolit voivat olla esimerkiksi ajastimia tai las-kureita, mutta myös ulkoisia tulo- ja lähtösignaaleja. (16, s. 9.)

Nykyaikaisia logiikoita voidaan ohjelmoida monella eri ohjelmointikielellä. Ohjelmointikielen voi valita oman taustan mukaan, esimerkiksi tikapuu- eli relekaavio (LD) on suosittu sähköalan ammattilaisten keskuudessa, koska se muistuttaa sähköpiirikaaviota ja on helppo omaksua, kun taas strukturoitu teksti (ST) on monimutkaisempi tekstiin pohjautuva kieli, joka muistuttaa Pascal- ja C-kieltä. (16, s. 9–11.)

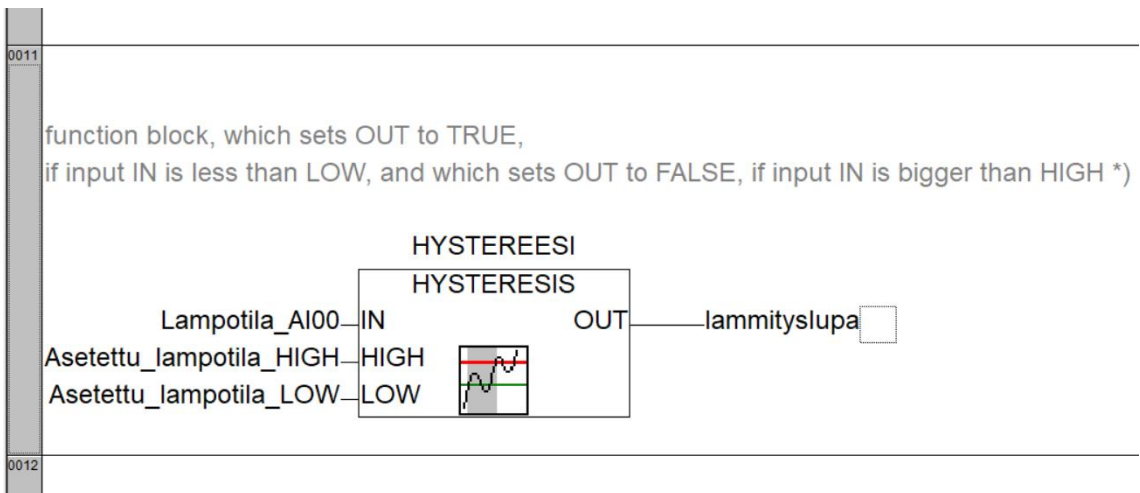
IEC 61131-3 standardissa on lueteltu seuraavat ohjelmointikieliset:

- FBD (Function Block Diagram) eli toimilohko- tai logiikkakaavio
- LD (Ladder Diagram) eli tikapuu- tai relekaavio
- ST (Structure Text) eli strukturoitu teksti tai rakenteinen teksti
- IL (Instruction List) eli käskylista
- SFC (Sequential Function Chart) eli sekvenssivuokaavio (16, s. 9–11).

Opinnäytetyön ohjelmointikielinenä käytettiin toimilohkokaaviota ja strukturoitua tekstiä, joista kerrotaan lisää luvuissa 4.2.1 ja 4.2.2.

4.2.1 Toimilohko-ohjelmointi

Toimilohkot ovat ohjelmoijan itsensä tekemiä tai laitevalmistajan ohjelmakirjastosta valmiiksi löytyviä funktioita, jotka esitetään yhdellä käskyllä lohkoa kutsuvassa ohjelmassa. Kuvassa 12 on esimerkkinä toimilohko HYSTERESIS. Ohjelma yksinkertaistuu, kun mutkikkaat toiminnot voidaan esittää yhdellä toimilohkolla, joka käyttää sille tarvittavia tulo- ja lähtöparametrejä toiminnan suorittamiseksi. (16, s. 10.)



KUVA 12. Esimerkki toimilohko-ohjelmoinnista

4.2.2 Strukturoitu teksti -ohjelmointi

Strukturoitu teksti on lausemuotoista IEC-ohjelmointikieltä (kuva 13). ”IEC-ohjelmoinnissa on se hyvä puoli, että samaa ohjelmakoodia voidaan soveltaa helposti toisten ohjelmitavien logiikoiden valmistajien laitteisiin. Perusehtologiikan ohjelmointi on tällä tavalla hankalampaa verrattuna relekaavioon, mutta taas mutkikkaampien laskentaoperaatioiden tai ohjelmasilrukoiden tekeminen taas joustavampaa.” (16, s. 9.)

0001	PROGRAM Paneelille_aikatieto
0002	VAR
0003	seconds: INT;
0004	END_VAR
0001	seconds := milliseconds/1000;
0002	mins := seconds/60;
0003	hours := mins/60;
0004	milliseconds := milliseconds MOD 1000;
0005	seconds := seconds MOD 60;
0006	mins := mins MOD 60;

KUVA 13. Esimerkki Strukturoitu teksti -ohjelmoinnista

4.3 Käyttöliittymä

Käyttöliittymä on se laitteen tai ohjelmiston osa, josta käyttäjä saa tietoa prosessin tilanteesta ja jonka kautta ohjaus tapahtuu. Käyttöliittymä voi olla esimerkiksi operointipaneeli (kuva 14) tai valvomo-ohjelmisto, mutta se voidaan määrittellä myös eri osista, esimerkiksi valikoista, painikkeista ja näytöistä, koostuvaksi kokonaisuudeksi. (17.)



KUVA 14. ABB:n CP600 ohjauspaneeli tuoteperhe (15)

Käyttöliittymän suunnittelussa täytyy huomioida käyttäjä, jotta valmis tuote olisi mielekäs ja helppo käyttää. Hyvän käyttäjäkokemuksen mittareita ovat esimerkiksi hyödyllisyys, käytettävyys ja tehokkuus. (17.)

5 TYÖN TOTEUTUS

Työn toteutus aloitettiin sähköverkon mitoituksella ja sähkösuunnittelulla. Tämän jälkeen siirryttiin ohjausjärjestelmän suunnitteluun ja komponenttien valintaan. Lopuksi ohjelmoitava logiikka ja käyttöpaneeli ohjelmoitiin.

5.1 Sähköverkon suunnittelu ABB e-Design -ohjelmalla

Sähköverkon mitoitus toteutettiin ABB e-Design -ohjelmalla, joka on ABB:n ilmaisohjelma pien- ja keskijänniteverkkojen mitoitukseen ja laskemiseen (18, s. 6). e-Design käyttää standardia IEC 60909 oikosulkuvirtalaskelmiin sekä standardia IEC 60364 kaapelien mitoitukseen. (18, s. 21.)

ABB e-Design ohjelmaa käytetään muun muassa

- verkon yksiviivakaavion piirtämiseen
- kuormitusvirtojen ja jännitehäviöiden laskemiseen
- oikosulkuvirtojen laskemiseen
- kaapeleiden mitoitukseen
- kytkentä- ja suojalaitteiden mitoitukseen.

5.1.1 Sähköverkon mitoitus

Lähtötietoina laskelmille tarvittiin

- verkon ja/tai muuntajan oikosulkuteho
- laitteiden nimellisvirrat ja/tai -tehot
- kaapelien poikkipinta-alat, pituudet ja asennustapa.

Mitoitus aloitettiin syöttämällä ohjelmaan jakelumuuntajan arvot (kuva 15). Kiinteistössä on oma muuntamo, joten tekniset arvot saatiin suoraan muuntajan tyyppikilvestä (taulukko 8).

Power supply

Power supply

LV Distribution

I¹k 20.16 [kA] MV-LV Transformer 1 Trafo

Sk 13.97 [MVA] Sr 800 [kVA]

+10% tolerance Ukr 6.3 [%]

+6% tolerance

MV Distribution

Ur 15000 [V] I¹k 20.16 [kA]

Neutral balanced 3I₀ 50 [A]

LV section default values

400 [V] LLLN TN-S 50 [Hz]

Network demands

P 39.59 [kW] I 57.24 [A]

Q 2.427 [kvar] COSφ_n 0.9981

Options

Store current settings as default values for new projects

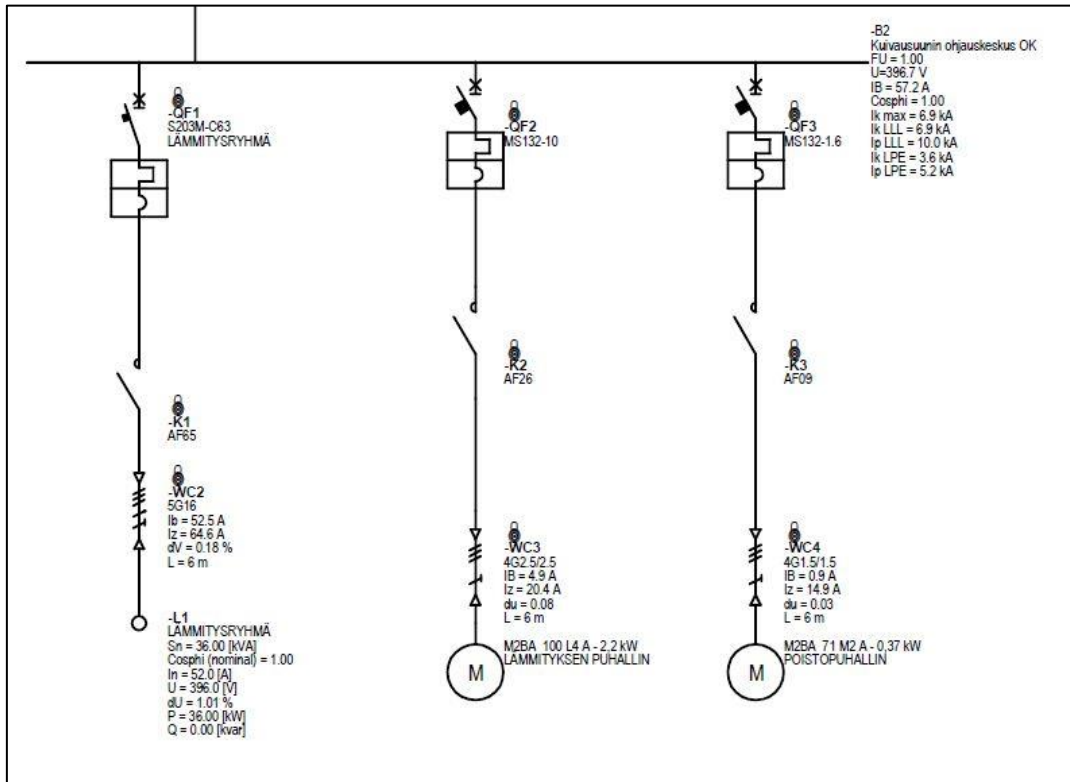
ABB OK Cancel

KUVA 15. Muuntajan tiedot voidaan syöttää suoraan lähtötietoihin

TAULUKKO 8. Muuntajan tekniset tiedot

Valmistaja:	Strömberg
Vuosi:	1984
Malli:	KTJH 24 XA 800
KytKentä:	Dyn11
Sn [kVA]	800
U _{1n} [V]	20000
I _{1n} [A]	1154,7
U _{2n} [V]	400
I _{2n} [A]	23,1
Z _k [%]	6,3
P _k [W]	7367
P _o [W]	1766

Muuntajan tietojen täyttämisen jälkeen sijoitettiin pääkeskus. Tämän jälkeen piirrettiin kuivausuunin syöttökaapeli sekä sitä suojaavat sulakkeet. Kuivausuunin ohjauskeskuksesta piirrettiin ryhmäjohdot kuormille, ja valittiin haluttu suojalaitte jokaiselle ryhmälle (kuva 16).



KUVA 16. Ryhmäjohtojen mitoitus

Tässä työssä käytettiin mahdollisuuksien mukaan jo valmiita kaapelointeja. Tästä syystä kaapeleiden poikkipinta-alat, pituudet ja asennustapa lukittiin, jottei ohjelma mitoituksessa muuta syötettyjä tietoja.

Lämmitysvastusta syöttävälle ryhmäjohdolle valittiin suojalaitteeksi johdonsuojakatkaisija, kun taas puhallinryhmille valittiin moottorinsuojakatkaisija.

Ohjelma mitoittaa automaattisesti sopivat suojalaitteet, ja jos esimerkiksi kaapelin kuormitettavuus ei riitä tai ryhmän oikosulkusuojaus ei toteudu, ohjelma antaa tästä selvän virheilmoituksen.

5.1.2 Johtojen kuormitettavuudet

Johtojen kuormitettavuuden teoriaa on käyty läpi tarkemmin tämän opinnäytetyön luvussa 3.3.1. Kuormitettavuuteen vaikuttavat muun muassa johtimien asennustavat, lämpötila ja muiden piirien läheisyys.

ABB e-Design -ohjelmaan voidaan syöttää suoraan jokaiselle kaapelille haluttu asennustapa ja muut kuormitettavuuteen vaikuttavat tekijät (kuva 17).

Asennusolosuhteet, jotka otettiin huomioon kuormitettavuuden laskennassa:

Asennusreitti 1:

- kaapelitikkailla ilmassa
- asennustapa E, kohta 34
- 9 kaapelia vierekkäin = 0,78
- lämpötila 30°C.

Asennusreitti 2:

- rei'ittämättömällä kaapelihyllyllä
- asennustapa C, kohta 30
- 2 kaapelia vierekkäin = 0,85
- lämpötila 30°C.

Feeder properties

LV cable (-WC1) Fuse (-FU1)

Description

I_b 57.2 [A] LLLN 400 [V] TN-S 50 [Hz]

$\cos\phi$ 1.00

Ambient temperature 30 °C

Maximal dU% allowed [%]

Cable with double insulation

Cable Busway

Length 40 [m]

Multi-core

PVC Cu

Installation method

Overhead

On ladders

Distance <1 cable diameter

34

Phase 1 x 25 [mm²]

Neutral 1 x 25 [mm²]

PE 1 x 25 [mm²]

I_z 78.78 [A]

Kt 0.78

dU 0.83 [%]

Further results

Reduction factors

Short circuit currents

Advanced options

ABB

OK Cancel

KUVA 17. Kaapeleiden asennustavat ja -olosuhteet voidaan lisätä ohjelmaan

Kuivausuunin syöttökaapeliin vaikuttivat kummatkin asennusolosuhteet, kun taas ryhmäjohdoille käytettiin asennusreittiä 2.

5.1.3 Suojausmenetelmien toteutumien

Johdon ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus toteutuu ohjelman mitoituksen mukaan (kuva 18). Syöttökaapelin sulakkeet olivat alun perin 80 A, ja ohjelma vaatii 63 A sulakkeen, jotta kaapelin ylikuormitussuojaus toteutuu.

Vikasuojaus toteutuu ohjelman mitoituksen mukaan (kuva 18). Vikasuojaus toteutetaan syötön automaattisen poiskytkennän avulla, ja ohjelma mitoittaa jokaisen ryhmän standardin mukaisin poiskytkentäajoin (0,4 tai 5 sekuntia). Esimerkiksi syöttökaapelin poiskytkentäaika on 5 sekunnin mukaan ja poistopuhaltimen poiskytkentäaika on 0,4 sekuntia.

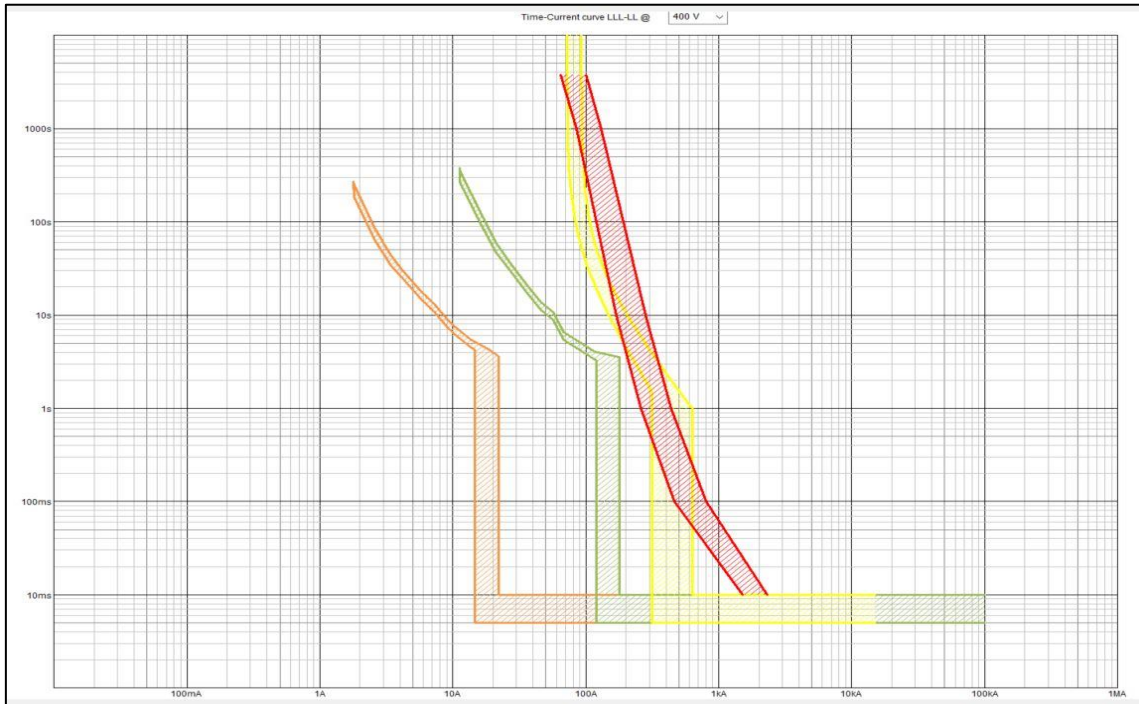
Overload: protected by		-QF1 S203M-C63	Passed
IB (52.49[A]) <= Ith (63.00[A]) <= Iz (64.60[A]) and If (91.35[A]) <= 1.45*Iz (93.67[A]); Uref=400V			
1 ↓	Short circuit at terminal 1 (current flowing downstream): protected by	-QF1 S203M-C63	Passed
	Protection guaranteed up to Ik LLL (6.92[kA]), Ik LN (3.59[kA]), Ik L-PE (3.59[kA]); Uref=400V		
2 ↓	Indirect touch at terminal 2 (current flowing downstream): protected by	-QF1 S203M-C63	Passed
	I@Max tripping time (0.28[kA])<=Ikmin L-PE (1.68[kA]); Trip time=5.00[s]; Uref=400V		
1 ↑	Short circuit at terminal 2 (current flowing upstream): protected by		
2 ↑	Indirect touch at terminal 1 (current flowing upstream): protected by		
Overload: protected by		-QF2 MS132-10	Passed
IB (4.86[A]) <= Ith (6.30[A]) <= Iz (20.40[A]) and If (8.19[A]) <= 1.45*Iz (29.58[A]); Uref=400V			
1 ↓	Short circuit at terminal 1 (current flowing downstream): protected by	-QF2 MS132-10	Passed
	Protection guaranteed up to Ik LLL (6.92[kA]), Ik L-PE (3.59[kA]); Uref=400V		
2 ↓	Indirect touch at terminal 2 (current flowing downstream): protected by	-QF2 MS132-10	Passed
	I@Max tripping time (0.18[kA])<=Ikmin L-PE (0.87[kA]); Trip time=0.40[s]; Uref=400V		
1 ↑	Short circuit at terminal 2 (current flowing upstream): protected by		
2 ↑	Indirect touch at terminal 1 (current flowing upstream): protected by		

KUVA 18. Suojauksien toteutuminen tulostuu raporttiin

5.1.4 Suojalaitteiden selektiivisyys

Syöttökaapelin sulake jouduttiin vaihtamaan 63 A:ksi, jotta ylikuormitussuojaus toteutuu. Tämän johdosta syöttökaapelin ja lämmitysryhmän suojalaitteiden käyrät asettuvat päällekkäin. Lämmitysryhmän vikatapauksessa tämä saattaa aiheuttaa syöttökaapelin sulakkeiden laukeamisen lämmitysryhmän johdonsuojakatkaisijan sijaan.

Muiden ryhmien osalta selektiivisyyteen päästiin hyvin (kuva 19).



KUVA 19. Suojalaitteiden selektiivisyys

5.1.5 Jännitteenalenema

Jännitteenalenema pysyy laskelmien mukaan alle 2 %:ssa, kun standardi SFS 6000 antaa jännitteenaleneman raja-arvoille suositukset:

- normaalista pienjänniteverkosta syötetyn laitteen jännitealenema suositusten mukaan enintään 5 %
- valaistuskormalle suositellaan enintään 3 %:n jännitteenalenemaa.

Voidaan todeta, että jännitteenalenema pysyy suositeltavien raja-arvojen sisällä.

5.2 Sähkökuvat MagiCAD Electrical -ohjelmalla

Sähköpiirustukset tehtiin pääosin MagiCAD Electrical -ohjelmistolla, joka toimii Autodeskin Revit- ja AutoCAD-alustoissa. MagiCAD-ohjelmisto on kehitetty tehokasta LVIS-suunnittelua varten ja sitä kehittää suomalainen MagiCAD Group Oy.

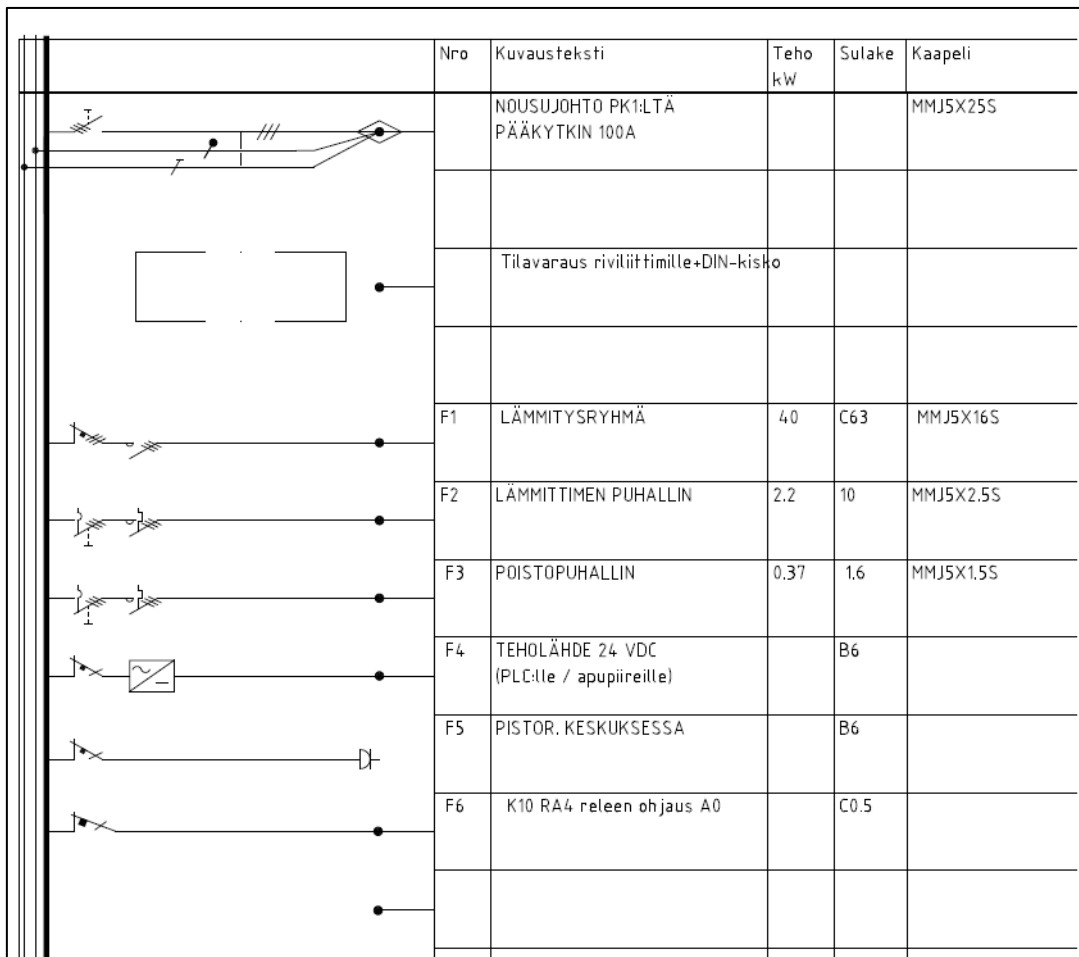
MagiCAD-ohjelmistolla laadittiin seuraavat sähköpiirustukset:

- pääkaavio
- piirikaaviot (päävirta- ja ohjausvirtapiirit)
- osaluettelo.

Näiden lisäksi keskusvalmistaja laati kokoonpanokuvat uudesta keskuksesta. Keskuksessa käytettyjen komponenttien dokumentit saatiin toimittajien verkkosivuilta.

5.2.1 Pääkaavio

Keskuksen pääkaavio (yleiskaavio) on suhteellisen yksinkertainen ja sitä käytetään osoittamaan keskuksen päävirtapiirit, sen komponentit ja toiminnot (kuva 20). Se voi olla lähtökohtana yksityiskohtaisempien kaavioiden, kuten piirikaavion, laatimiselle. Keskuksen pääkaaviossa esitetään keskuksen tärkeimmät tekniset tiedot, keskuksen rakenne, keskukseseen liittyvät johdotukset, lähdöt ja keskuksessa olevat komponentit nimellisvirtoineen. (7, 3–2; 12.)



KUVA 20. Pääkaavio keskuksesta

5.2.2 Piirikaavio

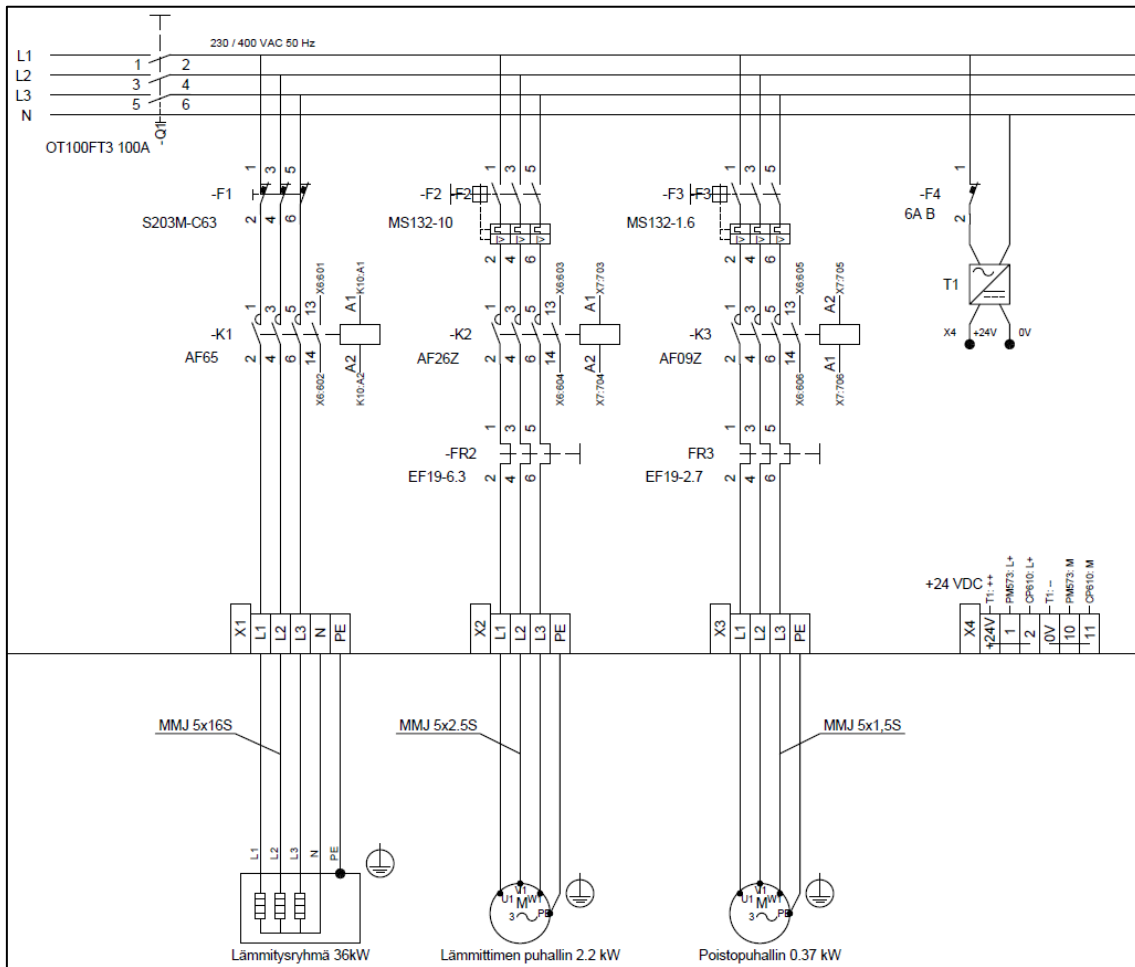
Piirikaavion tarkoitus on esittää yksityiskohtaisesti laitteen tai laiteyhdistelmän toiminta (kuva 21). Piirikaaviossa tietyn piirin sähköiset kytkennät ja toiminnot esitetään piirrosmerkein ottamatta huomioon osien todellista kokoa ja sijaintia. (7, 3–3.)

Piirikaavion on esitettävä välttämätön tieto, joka on tarpeen

- piirin toiminnan ymmärtämiseksi
- liitännäsdokumenttien laatimiseksi
- testaamista ja virheiden paikantamista varten
- asennuksen, kunnossapidon ja koulutuksen tueksi (7, 3–3).

Piirikaavio on sähköpiirustusten perusdokumentti, jota käytetään runsaasti myös koulutus-, koestus-, huolto- ja käyttötoiminnassa (7, 3–3).

Opinnäytetyössä piirikaaviot piirrettiin vapaan esitystavan mukaisesti. Vapaan esitystavan mukaan piirin eri osat kuvataan erikseen niin, että päävirtapiirit, ohjausvirtapiirit, säätöpiirit tai vastaavat esitetään omilla piirustuslehdillään. Piirit ovat mahdollisimman suoraviivaisia ja helppoja seurata, ja näin ollen voidaan esittää selkeästi laajojakin järjestelmiä. Viitteitä käytetään esittämään eri piirustuslehdillä olevien piirikaavion osien liittyminen toisiinsa. (7, 3–15.)



KUVA 21. Piirikaavio pääpiireistä

5.2.3 Osaluettelo

Osaluettelo laadittiin dokumenttien tueksi, jotta keskuksen tarjouslaskelmat ja osien tilaus olisi vaivatonta. Osaluettelossa on lueteltu keskuksen pääkomponentit, muun muassa suojalaitteet, kontaktorit ja logiikkamoduulit. Keskusvalmistaja tuottaa tarkemman osaluettelon, jossa luetellaan jokainen yksittäinen käytetty komponentti riviliittimistä lähtien.

5.3 Ohjausjärjestelmän uusiminen

Ohjausjärjestelmän kannalta täytyy ottaa huomioon lähtötiedoissa mainitut asiat:

- lämpötilan säätö, tarkkuus $\pm 5^{\circ}\text{C}$ (80–180°C)
- uunin lämpötilan tiedonkeruu ja mahdollinen kaukovalvonta
- kuivausprosessin tarkempi säätö ja taloudellisuus
- ohjausjärjestelmän helppokäyttöisyys.

Ohjausjärjestelmän komponenttien valintaan vaikuttivat myös suuresti korjaamon muiden laitteiden ohjaukseen käytetyt komponentit. Kun valitaan samantyylinen ohjausjärjestelmä muiden laitteiden kanssa, ohjausjärjestelmien välinen ero ei ole suuri ja laitteen käyttäjän on helppo käyttää laitetta. Myös taloudellisuuden kannalta samanlaisen ohjauksen käyttö on järkevää, sillä laitteiden osat sopivat toisiinsa, ja varastossa säilytettävien varalaitteiden määrää voidaan vähentää.

5.3.1 Ohjausjärjestelmän suunnittelu ja komponenttien valinnat

Ohjelmoitavan logiikan kokonaisuuteen (kuva 22) valittiin ABB:n AC500-sarjasta

- keskusyksikkö PM573-ETH, jolla toteutetaan kuivausuunin ohjaus logiikkaohjelman avulla sekä kommunikointi käyttöpaneelin kanssa
- analogisille kenttälaitteille logiikkamoduuli AX522, jossa on kahdeksan (8AI/8AO) tulo- ja lähtökanavaa
- digitaalisille kenttälaitteille logiikkamoduuli DC522, jossa on 16 ohjelmoitavaa I/O kanavaa.



KUVA 22. PLC paikallaan keskuksessa

Teholähde mitoitettiin PLC:n ja logiikkamoduulien virrankulutus huomioiden. Teholähteeksi valittiin ABB:n CP-D 24 VDC / 4.2 A.

Käyttöpaneeliksi valittiin ABB:n CP610, joka toimii käyttöliittymänä ja jolla ohjataan prosessia. Käyttöpaneeli ja PLC kommunikoivat yhdessä verkkokaapelin kautta.

Lämmitysryhmän ja puhallinryhmien ohjaus tapahtuu kontaktoreilla niin, että kontaktorin kela ohjataan suoraan PLC:n lähtösignaalilla. Kontaktorin kelat on valittu tälle ohjaustavalle sopiviksi.

Muita ohjausjärjestelmän komponentteja:

- Yliämpörajoitin, joka suojaa laitteistoa liian suurilta lämpötiloilta. Jos lämpötila kasvaa liian suureksi, lämpötilaan reagoiva kosketin aukeaa.
- SEIS-painike, jota käytetään logiikkaohjelman pysäyttämiseen, jos käyttöpaneeli jostakin syystä jumittuu ja logiikkaohjelmaa ei voi pysäyttää paneelista.

- Väli releet, joilla valvotaan kontaktorien pääkontakteja hitsautumisen varalta sekä valvotaan johdonsuojakatkaisijoiden ja sulakkeiden laukeamista.

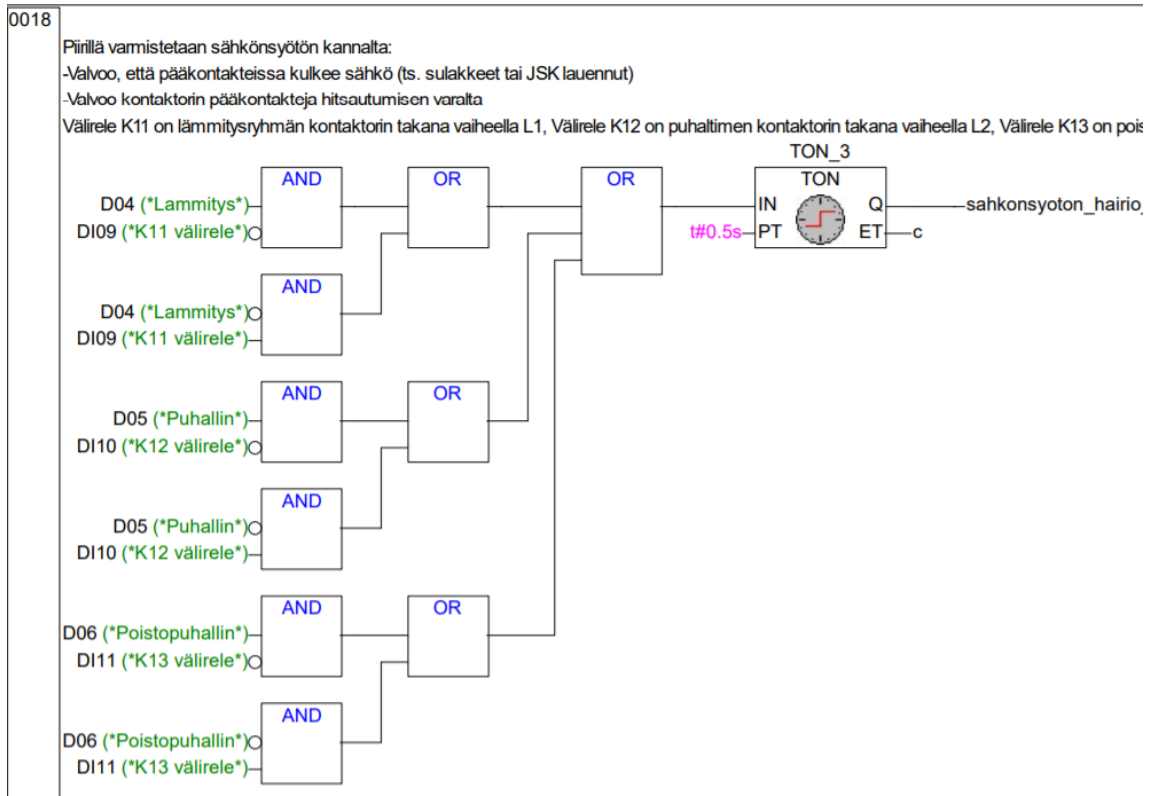
5.3.2 Logiikan ohjelmointi

Logiikan ohjelmointi tapahtui ABB:n Automation Builder -ohjelmistolla, joka käyttää logiikoiden ohjelmointiin CODESYS- ohjauslaitetta, joka on kansainvälisen IEC 61131-3 standardin mukainen ohjelmointiympäristö.

Lähtökohtana laadittiin sanallinen selostus kuivausuunin prosessin toiminnoista, jonka perusteella varsinaista logiikkaohjelmaa (kuva 23) alettiin tekemään. Ohjelmointikieleksi valittiin toimilohkokaavio (FBD), koska siitä oli selvästi eniten opintomateriaalia ja videoita. Lisäksi jo aikaisemmin muista ohjelmointiohjelmista (STEP 7 ja CX-ONE) tutuksi tullut relekaavio-ohjelmointi tuntui kankealta, joten tämäkin puolsi toimilohkokaavion valintaa.

Logiikkaohjelman pääkohdat:

- Lämmittimen ohjaus toteutettiin käyttäen HYSTERESIS-toimilohkoa. Lämmitys on päällä, kunnes lämpötila on yli 103 % asetetusta arvosta. Lämmitys lähtee uudestaan päälle, kun lämpötila on alle 97 % asetetusta arvosta.
- Lämmitysryhmän ja puhaltimen ajastettu ohjaus toteutettiin käyttäen RS- ja TON-toimilohkoa. Käyttöpaneelille asetetaan haluttu aika tunteina ja minuutteina, jotka "konvertoidaan" TIME-tyyppiseksi ja lasketaan yhteen millisekunneina. Ajastin käynnistyy käyttöpaneelin START-painikkeesta.
- Poistopuhaltimen ohjaus tapahtuu aikaisemmin kuvatulla ajastetulla ohjauksella, mutta se pysyy myös päällä, kun ajastin on käynyt loppuun ja jos uunin lämpötila on yli 70°C. Tämä saadaan toteutettua LIMITALARM-toimilohkolla.
- Erilaiset vikatilanteet (esim. sulakkeen laukeaminen, liian korkea lämpötila) pysäyttävät logiikkaohjelman.
- Käyttäjän painaessa paneelin STOP-painiketta tai keskuksessa olevaa SEIS-painiketta logiikkaohjelma pysähtyy.



KUVA 23. Suurin osa logiikan ohjelmasta tehtiin toimilohkokaaviolla

Myös strukturoitua tekstiä (ST) käytettiin, kun käyttöpaneelille haluttiin tuoda lo-
 giikkaohjelman ajastimelta aikatieto käyttäjälle luettavaksi (kuva 24). Ajastimen
 TIME datatyyppi yritettiin tuoda sellaisenaan käyttöpaneelille siinä onnistumatta,
 joten millisekunteina tuleva aikatieto päädyttiin ”konvertoimaan” INT-tyyppiseksi.
 Muuttujat (tunnit ja minuutit) vietiin sitten logiikan muistipaikoille, josta ne saatiin
 käyttöpaneelille luettavaksi.

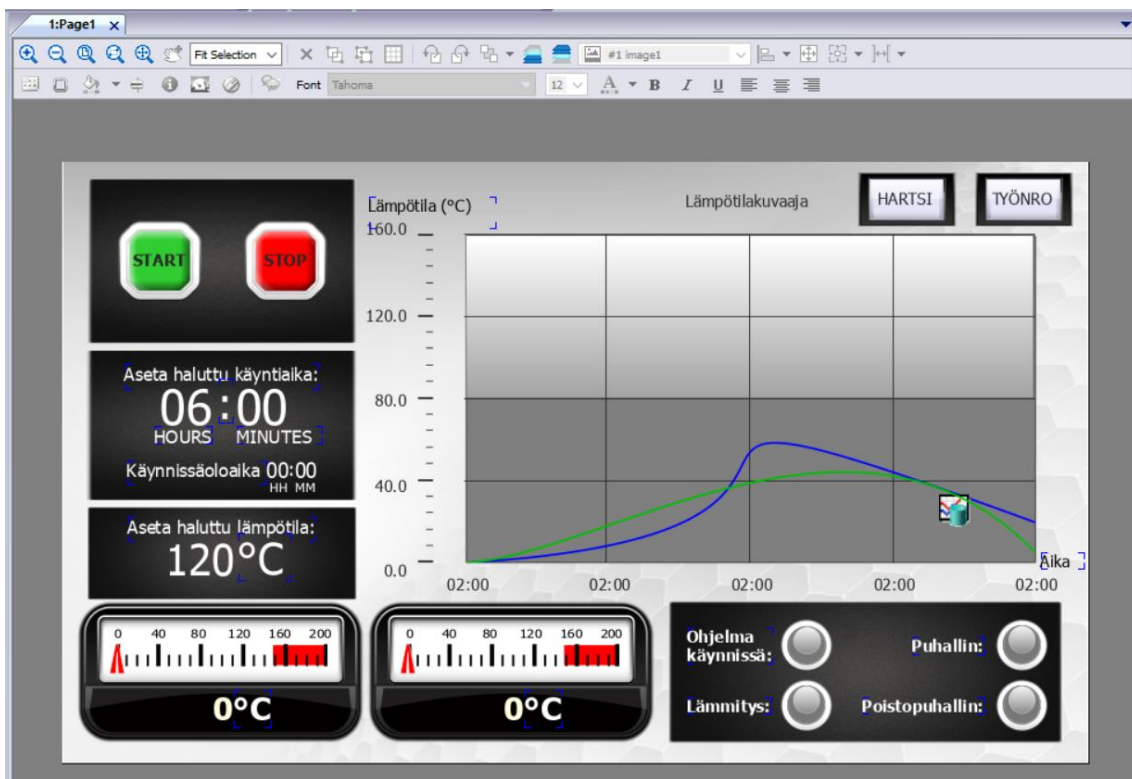
0001	PROGRAM Paneelille_aikatieto
0002	VAR
0003	seconds: INT;
0004	END_VAR
0001	seconds := milliseconds/1000;
0002	mins := seconds/60;
0003	hours := mins/60;
0004	milliseconds := milliseconds MOD 1000;
0005	seconds := seconds MOD 60;
0006	mins := mins MOD 60;

KUVA 24. Paneelille aikatieto -ohjelma

5.3.3 Käyttöpaneelin ohjelmointi

Paneelin ohjelmointi (kuva 25) tapahtui Panel Builder 600 -ohjelmistolla, joka kuuluu ABB:n Automation Builder -ohjelmistoon. Paneelin ja logiikan ohjelmat voidaan myös avata saman projektin alle, jolloin ohjelmat pysyvät helposti tallessa.

Panel Builder 600 -ohjelmistolla voidaan vaivattomasti lisätä "Widget Gallery" -kirjastosta valmiita painikkeita, mittareita ja kuvaajia. Niiden kokoa ja väriä voi muuttaa. Halutessaan projektiin voi lisätä sivuja, dialogeja tai hälytyksiä.



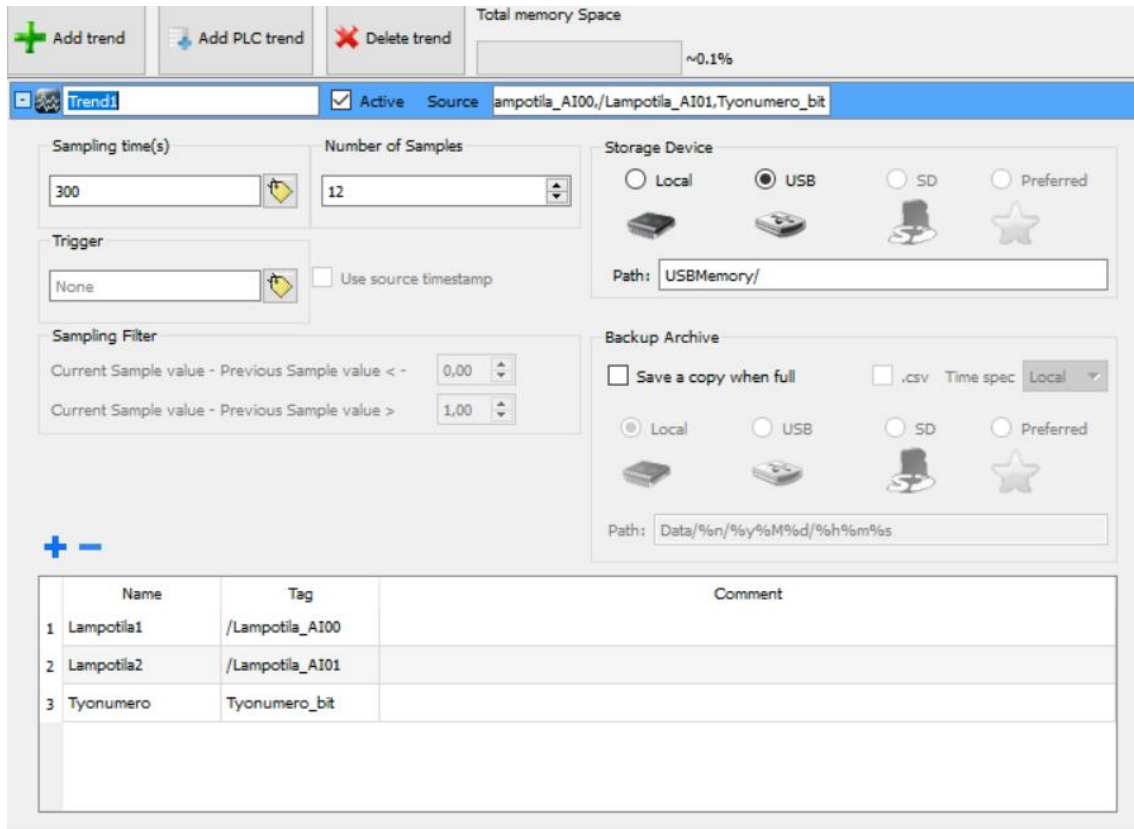
KUVA 25. Paneelin ohjelmointia

Käyttöpaneelin pääkohdat ovat

- START- ja STOP-painikkeet, joilla ohjelma saadaan päälle ja pois
- halutun käyntiajan asetus tunteina ja minuutteina
- halutun lämpötilan asetus
- lämpötilatiedot luku- ja kuvaajamuodossa
- lähtöjen seurantavalot (lämmitys, puhallin, poistopuhallin)
- vikatilat ilmestyvät käyttäjälle dialogina (esim. korkea lämpötila).

5.3.4 Tiedonkeruu

Tiedonkeruu tapahtuu käyttöpaneelilla. Panel Builder 600 -ohjelmistossa on ”Trends” -toiminto, johon voidaan määrittää ne prosessimuuttujat, joista halutaan tallennettua tietoa. (Kuva 26). Lisäksi voidaan vaikuttaa näytteenottoaikaan ja näytteiden määrään sekä käytettyyn muistipaikkaan (Local, USB, SD).



KUVA 26. Tiedonkeruu toteutettiin ”Trends”-toiminnolla

Tiedonkeruu seuraa kahta lämpötilatietoa sekä tyonumeroa, jonka käyttäjä voi halutessaan lisätä. Näytteenottoaikaan ja näytteiden määrään laitettiin kuvan 26 mukaiset asetukset, mutta niitä on myös tarvittaessa helppo muuttaa. Tallennus-tilana käytetään käyttöpaneeliin kiinnitettävää USB-tikkua.

6 ASENNUSTYÖT

Asennustyöt aloitettiin vaihtamalla kuivausuunin lämmitysvastus, sillä sen yksi vastus oli palanut. Uusi vastaava lämmitysvastus asennettiin (kuva 27) ja sen tuentaa parannettiin, sillä vanha vastus ei ollut juurikaan tuettuna ja tämä saattoi johtaa sen ennenaikaiseen vikaantumiseen.



KUVA 27. Uusi lämmitysvastus asennettuna

Tämän jälkeen vanhan keskuksen purkutyöt aloitettiin ja se irrotettiin. Ohjauspiirin kaapeleiden reititys tehtiin siten, että ne pysyisivät mahdollisimman etäällä 230 / 400 V:n nimellisjännitteisistä kaapeleista, jotta ohjauskaapeleihin ei indusoituisi häiriöjännitteitä. Uusi ohjauskeskus asennettiin paikalleen ja kaapelit kytkettiin keskuksen (kuva 28).



KUVA 28. Uusi ohjauskeskus asennettuna

7 LAITTEISTON KÄYTTÖÖNOTTO

Tässä luvussa käsitellään käyttöönottovaiheen teoriaa pääosin käyttöönotto tarkastusten näkökulmasta. Lisäksi luvussa käsitellään kuivausuunin käyttöönotossa tehdyt tarkastukset, toiminnalliset kokeet ja hyväksymistestaus.

7.1 Yleistä sähkölaitteiston käyttöönotto tarkastuksesta

”Ennen sähkölaitteiston käyttöönottoa on tarkastettava, että laitteisto on määräysten mukainen ja siten turvallinen. Tämä edellyttää paitsi aistinvaraista tarkastusta myös mittauksia ja toiminnallisia kokeita.” (8, s. 342.)

Sähkölaitteiston käyttöönotto tarkastuksessa on selvitettävä riittävässä laajuudessa, ettei laitteistosta aiheudu sähköturvallisuuslain 6. §:ssä tarkoitettua vaaraa tai häiriötä (8, s. 343).

7.1.1 Aistinvarainen tarkastus

Aistinvaraista tarkastusta tehdään yleensä koko asennustyön ajan, mutta viimeistään se tehdään ennen mittauksia jännitteettömässä laitteistossa (8, s. 343).

Aistinvaraisessa tarkastuksessa kiinnitetään huomiota seuraaviin seikkoihin:

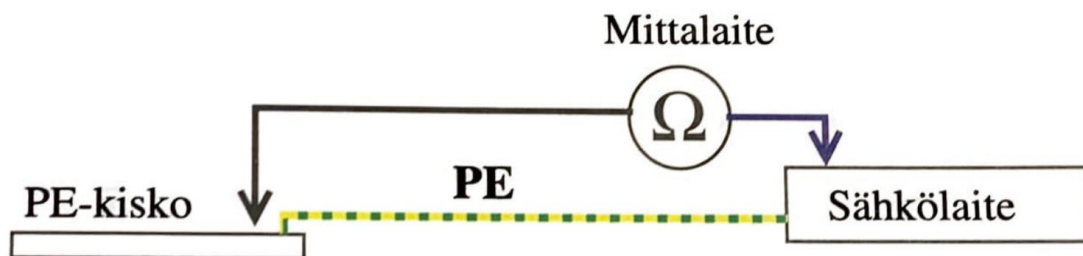
- laitevalinnat ja tarvikkeet ovat suunnitelmien mukaisia ja soveltuvat asentukseen (suojalaitteet, kaapelit, EMC)
- laitteiden perussuojauksen on oltava kunnossa
- sähkölaitteet eivät saa aiheuttaa palovaaraa
- tarkastetaan, että nolla- ja suojajohtimien tunnuksot, piirustukset, varoituskilvet, keskuksen komponenttien merkinnät ja vastaavat tiedot ovat kunnossa.

7.1.2 Suojajohtimen jatkuvuus

Suojajohtimen, PEN- ja potentiaalintasausjohtimien jatkuvuuden mittauksella tarkastetaan, että vikasuojauksen edellyttämät suojajohdinpiirit ovat jatkuvia ja liitokset on tehty kunnolla. Mittaus tehdään jännitteettömässä laitteistossa mittamalla jännitteelle alttiin osan ja lähinnä olevan pääpotentiaalintasaukseen liitetyn

pisteen välinen suojajohtimen resistanssi (kuva 29). Jatkuvuusmittaus suoritetaan laitekohtaisesti, ja jokainen suojajohdinyhteys on mitattava. (8, s. 350–351.)

Tarkkoja raja-arvoja ei hyväksyttävälle mittaustulokselle ole, mutta saatuja arvoja on verrattava mitattavan johtimen poikkipinnan ja pituuden perusteella arvioitavissa olevaan arvoon. Jos mitatut arvot ovat huomattavasti suuremmat kuin arvioitavissa oleva arvo, on arvojen poikkeavuus selvítettävä. Yleensä resistanssiarvoa voidaan pitää hyväksyttävänä, jos se on alle 1 ohmia, mutta pitkillä matkoilla arvo voi olla suurempikin. (8, s. 350–351.)



KUVA 29. Suojajohtimen jatkuvuus (8, s. 351)

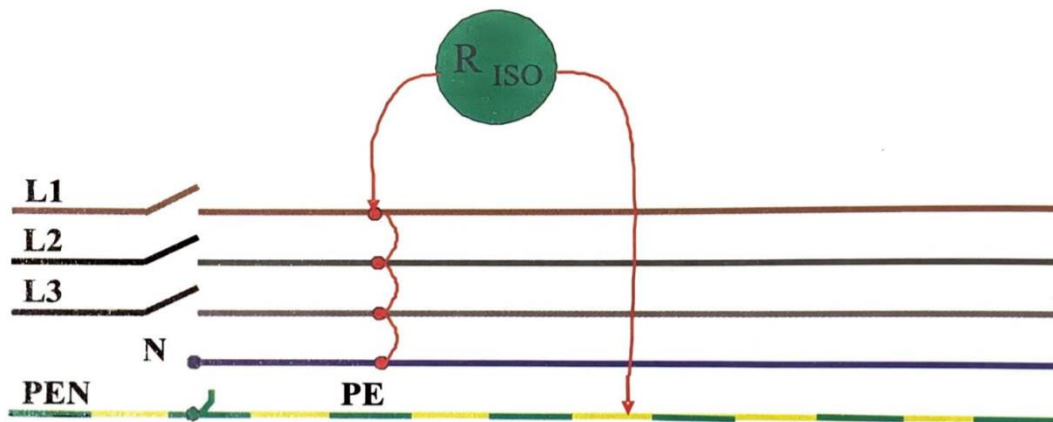
Käyttöönottotarkastuspöytäkirjassa täytyy todeta suojajohtimen jatkuvuusvaatimusten täyttyvän. Yksittäisiä mittaustuloksia siinä ei tarvitse esittää, mutta yleensä pöytäkirjaan merkitään, missä ryhmässä suurin suojajohtimen resistanssiarvo mitattiin. (8, s. 351.)

7.1.3 Eristysvastusmittaus

”Sähköasennuksen eristysresistanssimittauksella varmistetaan, että jännitteiset osa (vaiheet + nolla) ovat riittävästi eristettyjä maasta. Mittaus tehdään eristysresistanssimittarilla ennen laitteiston käyttöönottoa jännitteettömässä asennuksessa. Kulutuskojeiden ei tarvitse olla mittauksen aikana kytkettyinä verkkoon.” (8, s. 352.)

Mitattavan alueen jokaisen kytkimen ja katkaisijan (esim. johdonsuojakatkaisija tai pääkytkin) on oltava I-asennossa sekä ryhmäjohtojen sulakkeiden on oltava paikallaan. Jos jokin virtapiiri on varustettu kontaktorilla tai vastaavalla laitteella,

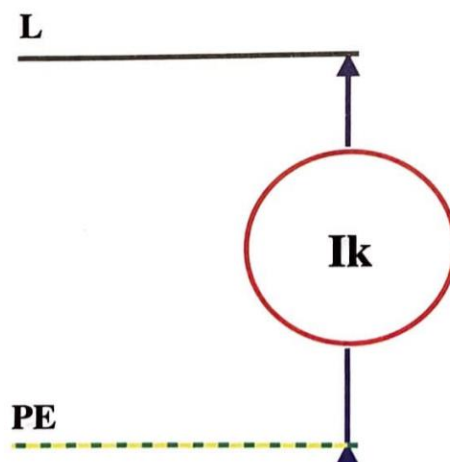
jolla virtapiiri erottuu mitattavasta piiristä, on se virtapiirin osa mitattava erikseen. TN-S-järjestelmässä mittaus suoritetaan kuvan 30 mukaisesti. (8, s. 352.)



KUVA 30. Eristysvastusmittaus TN-S-järjestelmässä (8, s. 352)

7.1.4 Syötön automaattinen poiskytkentä

Syötön automaattisen poiskytkennän tarkastelu tehdään, jotta voidaan todeta vi-
kasuojauksen toimivuus. Tämä tehdään mittaamalla pienin oikosulkuvirta vai-
heen ja suojamaan välillä (kuva 31). Mitatun oikosulkuvirran arvon täytyy olla tar-
peeksi suuri, jotta vian aiheuttama vaarallinen kosketusjännite kytkeytyy pois
vaaditussa ajassa. Mittaus suoritetaan yleensä huoneenlämmössä, joten mitatun
arvon täytyy olla 25 % vaadittua arvoa suurempi. Näin ollen mitatut arvot ovat
vertailukelpoisia laskemalla (+80°C) saatuihin tuloksiin nähden. (8, s. 356–357.)



KUVA 31. Silmukkaimpedanssin mittaus (8, s. 357)

Vaihtoehtoisesti vikasuojauksen toimivuus voidaan tarkastaa suunnitteluvaiheen suojauslaskelmista ja todeta asennuksen vastaavan suunnitelmia (suojalaite- ja kaapelivalinnat). Suojauslaskemien tueksi on kuitenkin syytä tehdä vähintään kontrollimittauksia, jotta voidaan varmistaa suunnitelmien oikeellisuus. (8, s. 356.)

7.1.5 Muut käyttöönottotarkastukset

Muita käyttöönottovaiheen aika tehtäviä tarkastuksia:

- kiertosuunnan tarkistus
- toiminnalliset kokeet
- jännitteenalenema.

Verkon kiertosuunta selvitetään mittaamalla ja dokumentoidaan pöytäkirjaan. Kiertosuunta tarkistetaan keskuksissa ja monivaiheisissa ryhmissä. Toiminnalliset kokeet on suoritettava sähkölaitteiston laitteille, kuten lukitus-, ohjaus- ja suojalaitteille. Toimivuuden tarkistamisen lisäksi säädettävien laitteiden, kuten lämpöreleiden ja moottorinsuojakatkaisijoiden, asetelut tarkistetaan. Jännitteenalenema mitataan yleensä vain silloin, kun siitä on erikseen sovittu, sillä standardissa ei ole vaatimusta sallitusta jännitteenalenemasta. Jännitteenalenema voidaan todeta joko laskelmin tai mittaamalla. (8, s. 358.)

7.2 Käyttöönottotarkastuksen tekeminen

Käyttöönottomittaukset aloitettiin aistinvaraisella tarkastuksella, jonka jälkeen suoritettiin sähkölaitteistolle jännitteettömänä tehtävät mittaukset eli suojajohtimen jatkuvuusmittaukset ja eristysvastusmittaus. Sitten tehtiin jännitteiselle keskukselle oikosulkuvirran mittaus, kiertosuunnan tarkistus sekä jännitteen ja taajuuden mittaus.

7.3 Käyttöönotto

Käyttöönotto aloitettiin toiminnallisilla kokeilla ja säätämällä moottorinsuojakatkaisijat ja lämpöreleet vastaamaan moottoreiden nimellisvirtoja. Tämän jälkeen

käyttöpaneelin toiminnot testattiin ja uuni laitettiin päälle. Moottoreiden pyörimissuunnat tarkastettiin ja jokaisen ryhmän virrat mitattiin. Ohjausjärjestelmän testaus aloitettiin ja seurattiin, että se toimii toivotulla tavalla.

Ohjauksen mahdollisia virheitä etsittiin ja ne poistettiin tekemällä muutoksia logiikan ja käyttöpaneelin ohjelmiin.

7.4 Hyväksymistestaus

Hyväksymistestaus (Site Acceptance Test) suoritettiin valmiille järjestelmälle, jotta voitiin todeta sen vastaavan vaatimuksia. Hyväksymistestauksessa testajana toimi tuotteen loppukäyttäjä, jotta testaus olisi mahdollisimman lähellä todellista toimintaympäristöä. Lopulliset muutosehdotukset ohjauksen toiminnasta otettiin vastaan, ja testaus päätettiin.

8 POHDINTA

Kuivausuunin keskuksen ja ohjausjärjestelmän uusiminen saatiin toteutettua hyvin pitkälti alussa asetettujen tavoitteiden mukaisesti. Toki myös kehityskohteita löytyi muun muassa taloudellisuuden ja tallennustilan käytön kannalta. Kuivausuunin käyttäjät ovat antaneet positiivista palautetta uudesta järjestelmästä ja esimerkiksi paneelin käyttöjärjestelmää on keuhuttu helppokäyttöiseksi. Uunin tiedonkeruun avulla asiakkaalle voidaan nyt näyttää tarkkaa dataa kuivausprosessista. Kuivausuunin keskuksen uusiminen toi myös varmuudella lisää käyttöikää ja käyttövarmuutta laitteistoon.

Tiedonkeruun osalta ei täysin päästy tavoitteisiin, sillä tiedonkeruu tapahtuu USB-tikulle eikä esimerkiksi pilvitalennustilaan, josta se olisi vaivattomammin saatavissa. Lisäksi lämmitysvastuksen asennuksessa huomattiin, että lämmitysvastuksessa on kaksi erillistä 3-vaiheryhmää yhden (36 kW) ryhmän sijasta. Taloudellisuuden kannalta olisi järkevää, että kummallakin ryhmällä olisi oma syöttönsä keskukselta, jolloin suurempaa vastusryhmää (24 kW) voitaisiin käyttää pelkästään uunin lämmityksen alkuvaiheessa, kun uuni täytyy saada nopeasti tavoitelämpötilaan. Lämpötilan ollessa lähellä tavoitetta voitaisiin lämpötilan ylläpitoon käyttää pelkästään pienempää vastusryhmää (12 kW), ja näin myös sähkönkulutus laskisi.

Kokonaisuudessaan opinnäytetyö onnistui hyvin ja se oli erittäin opettavainen, sillä se koostui niin monesta osa-alueesta. Erityisesti sähkösuunnittelu ja logiikan ohjelmointi laajensi omaa osaamistani, ja tunnen nyt omaavani näistä osa-alueista hyvät perusteet.

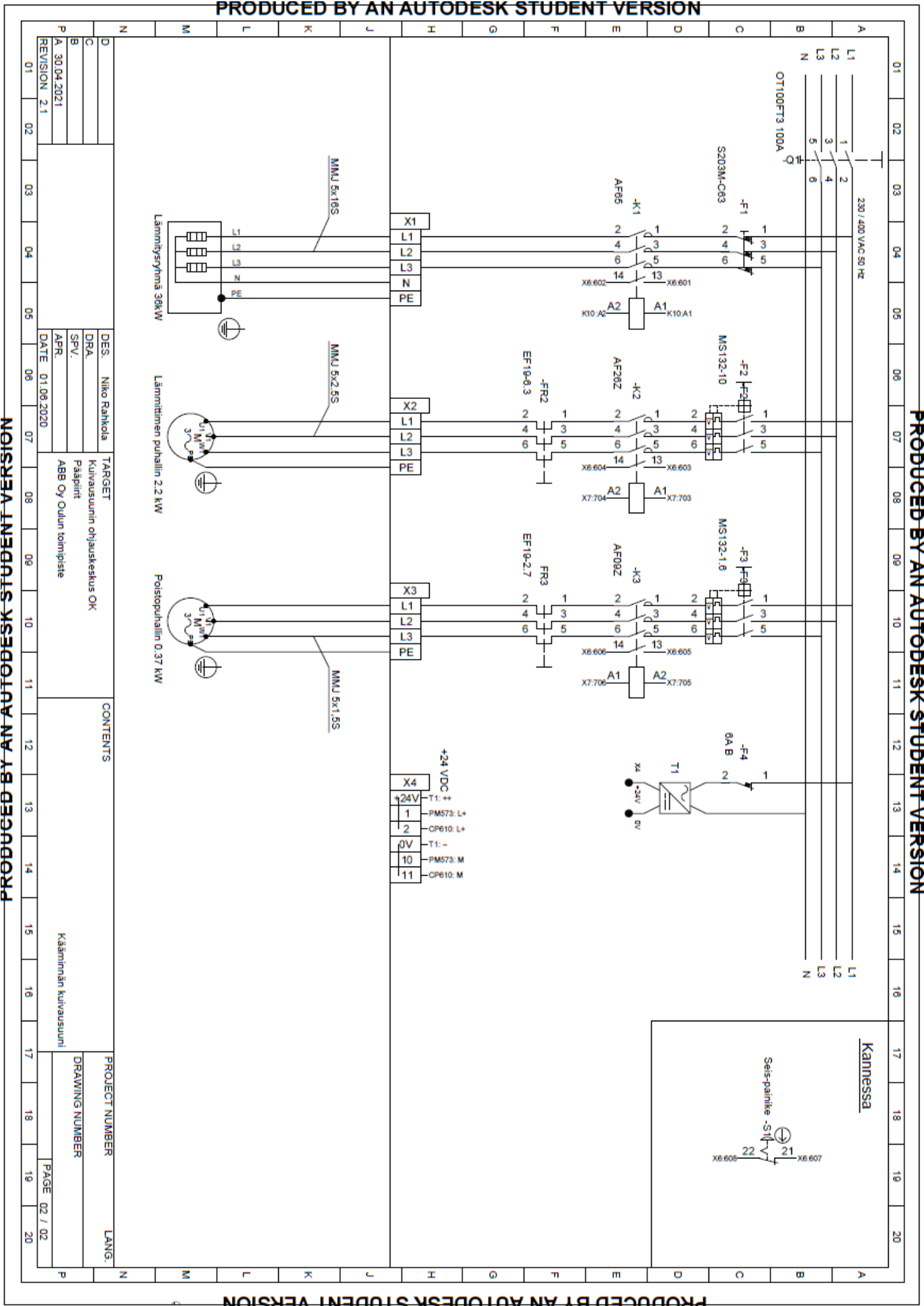
LÄHTEET

1. ABB Oy. ABB Suomessa. Saatavissa: <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>. Hakupäivä 14.5.2021
2. ABB Oy. Suomalaiset juuret: Strömbergin jalanjäljillä vuodesta 1889. Saatavissa: <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia/suomalaiset-juuret>. Hakupäivä 14.5.2021
3. Oy Stenbacka Ab. 1-komponenttinen polyesterihartsia CC-1105. Saatavissa: https://stenbacka.fi/wp-content/uploads/sites/3/2019/08/CC-1105_FIN.pdf
Hakupäivä 14.5.2021
4. SFS 6000-1. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: Peruseräatteen, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmä. Helsinki: SESKO ry.
5. SFS 6000-1. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-51: Sähkölaitteidenvalinta ja asentaminen. Yleiset säännöt. Helsinki: SESKO ry.
6. SFS 6000-1. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-41: Suojausmenetelmät. Suojaus sähköiskulta. Helsinki: SESKO ry.
7. Pere, Aimo. Sähköpiirustus. 1998: Kirpe Oy
8. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 2017. D1-2017. Espoo: Sähköinfo.
9. ABB Oy. ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. 2000. Luku 7 Oikosulkusuojaus. Saatavissa: http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07_1_Oikosulkusuojaus%20ja%20sulakkeet.pdf. Hakupäivä 14.5.2021
10. IEC. IEC 60909-0. 2016. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems. Part 0: Calculation of currents.
11. Ensto. Oikosulkuvirran laskenta. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1204792797383/1210598828380/1211200962452/1211200997922.html>. Hakupäivä 20.1.2021

12. Ensto. Keskuksen dokumentointi. Saatavissa:
<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1204792797383/1210598828380/1211286541433/1211286565345.html>. Hakupäivä 20.1.2021
13. ABB Oy. ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. 2000. Luku 19 Sähköjohtojen mitoittaminen. Saatavissa: <https://docplayer.fi/374120-19-sahkojohtojen-mitoittaminen.html>. Hakupäivä 14.5.2021
14. Electronics Coach. Control system. Saatavissa: <https://electronicscoach.com/control-system.html>. Hakupäivä 14.5.2021
15. ABB Oy. CP600 2nd generation control panels provide visualization options for a vast variety of applications. Saatavilla: <https://new.abb.com/plc/plc-technology/ac500-plc-product-news/cp600-2nd-generation>. Hakupäivä 14.5.2021
16. Omron. CX-One ja Logiikkaohjelmointi. 2009. Saatavissa:
https://www.myomron.com/downloads/9.Local%20Material/Finnish/CX-One%20ja%20logiikkaohjelmointi%202009_2.pdf. Hakupäivä 14.5.2021
17. Inductive Automation. What is HMI? Saatavissa: <https://www.inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi>. Hakupäivä 14.5.2021
18. ABB Oy. DOC User Manual. Saatavissa: https://library.e.abb.com/public/a7a540898e0685bdc1257e1a0048b3ef/DOC_UserManual_EN_SLD.pdf. Hakupäivä 14.5.2021
19. Heinonen, Pekka. ABB Oy. Pienjännitesähköjako- ja jakeluverkon selektiivisyys. Älykäs sähköverkko kiinteistöissä -webinaarisarja. Saatavissa:
https://new.abb.com/docs/librariesprovider113/fi_buildingspace_webinars/pienj%C3%A4nnites%C3%A4hk%C3%B6jakeluverkon-selektiivisyys.pdf?sfvrsn=c8064d14_2. Hakupäivä 14.5.2021
20. ABB Oy. Detailed information for: AX522. Saatavissa:
<https://new.abb.com/products/1SAP250000R0001/ax522s500-analog-i-o-mod-8ai-8ao-u-i-rt>. Hakupäivä 14.5.2021

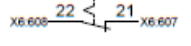
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Kannessa

Seis-painike -S1



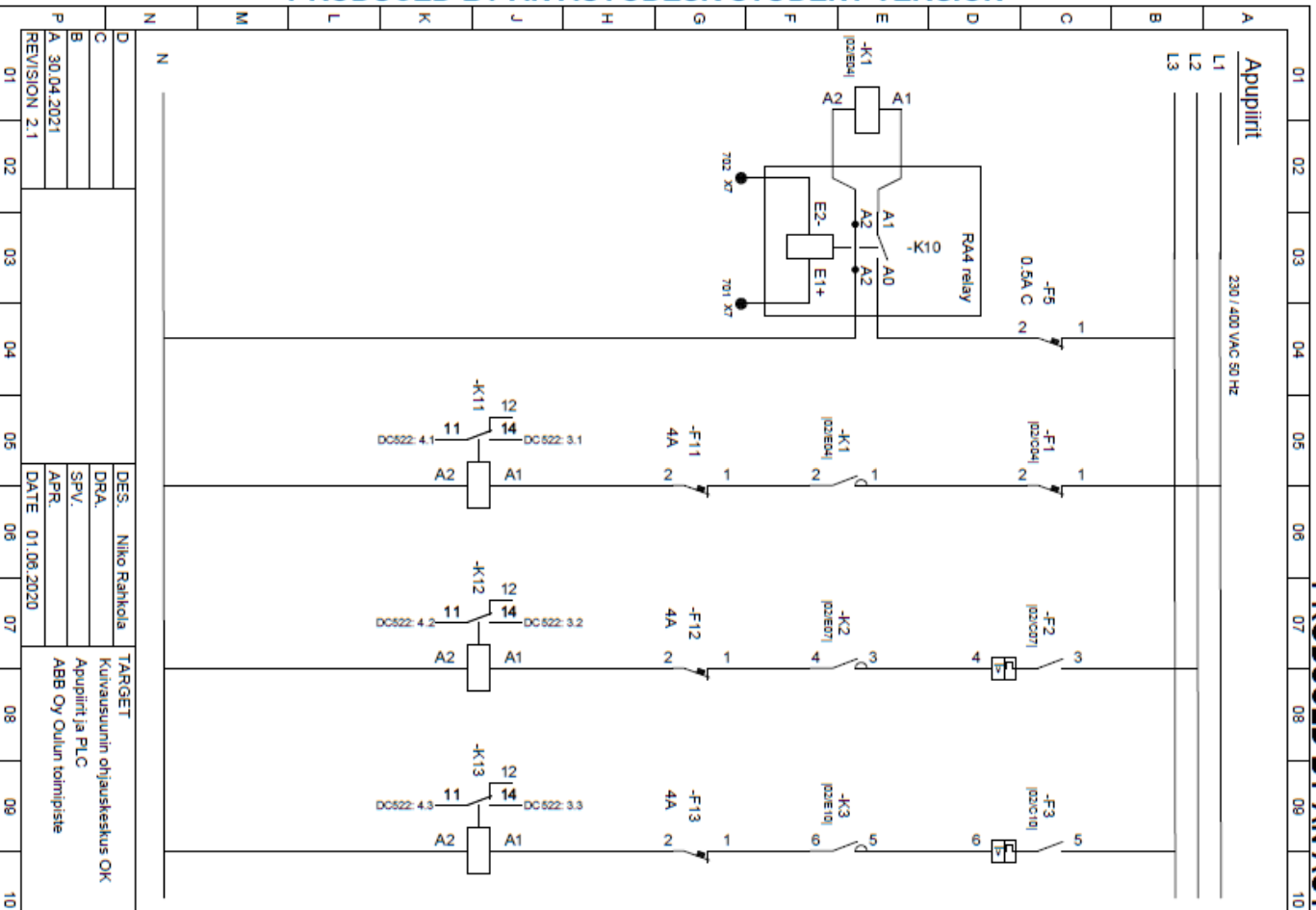
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

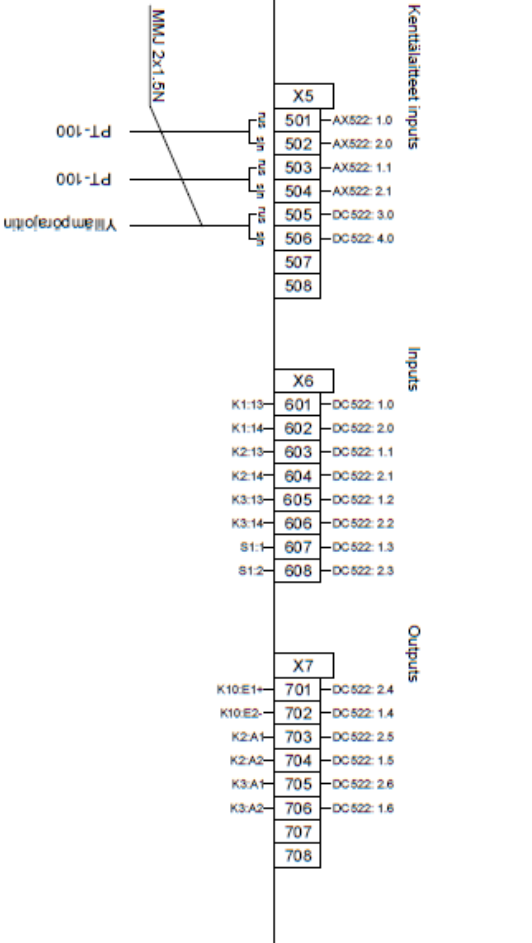
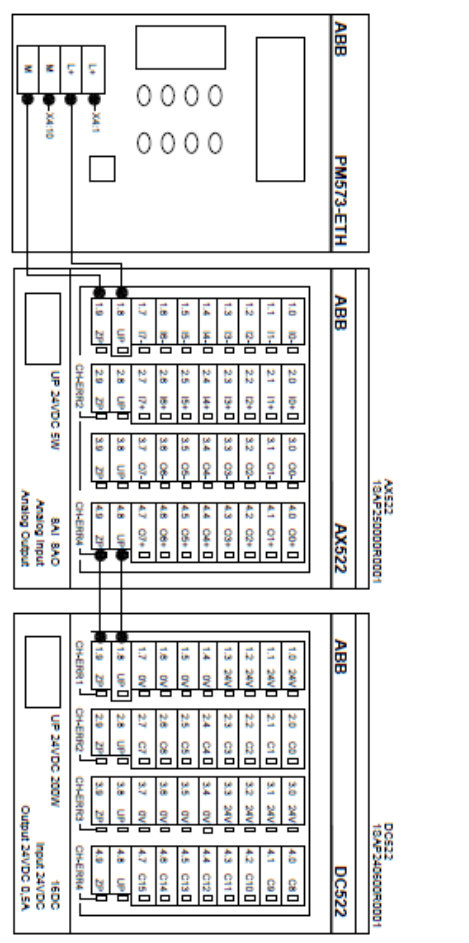
DES. Niko Rauhola	TARGET Kuivausuunit ohjauskeskus OK	CONTENTS	PROJECT NUMBER	LANG.
DRA. SPV.	Pääpiirit		DRAWING NUMBER	
APR. ABB Oy Oulun toimipiste			PAGE 02 / 02	
DATE 01.08.2020				
REVISION 2.1				
A 30.04.2021				
P				

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Ohjelmotitava logiikka



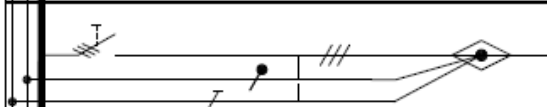

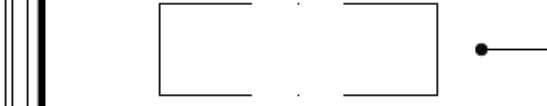

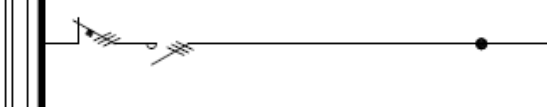
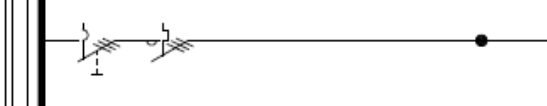
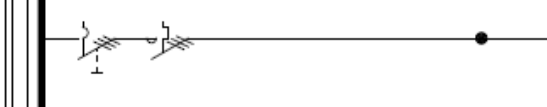
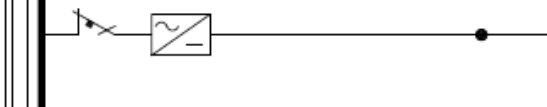









CONTENTS

DES. Niko Rauhola	TARGET Kuivatusuunit ohjauskeskus OK
DRA. SPV. APR. ABB Oy Oulun toimipiste	Apuiliirit ja PLC
DATE 01.08.2020	ABB Oy Oulun toimipiste

PROJECT NUMBER	LANG.
DRAWING NUMBER	
PAGE 01 / 02	

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

	Nro	Kuvausteksti	Teho kW	Sulake	Kaapeli
		NOUSUJOHTO PK1:LTÄ PÄÄKYTKIN 100A			MMJ5X25S
		Tilavaraus riviliittimille+DIN-kisko			
	F1	LÄMMITYSRYHMÄ	40	C63	MMJ5X16S
	F2	LÄMMITTIMEN PUHALLIN	2.2	10	MMJ5X2.5S
	F3	POISTOPUHALLIN	0.37	1.6	MMJ5X1.5S
	F4	TEHOLÄHDE 24 VDC (PLC:lle / apupiireille)		B6	
	F5	PISTOR. KESKUKSESSA		B6	
	F6	K10 RA4 releen ohjaus A0		C0.5	
					
					
					
					
					
					
					
					
					

REV 2.1 03.05.2021 MUUTOS		sisältö	SÄHKÖ	KESKUS OK	LEHTI 1 / 1
SUUNN. NRa	PIIRT.	Kuivausuunin ohjauskeskus OK ABB Oy Oulun toimipiste	TYÖ NO	PIIR NO	MUUTOS
			PÄIVÄYS 01.06.2020		

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

Rivi	Laitteen nimi	Laitteen tunnus	Tuotemalli	Product ID	Virta I		
1	Pääkatkaisija	Q1	OT100FT3	15CA105023R1001	100 A / 80 A		
2	Pääkatkaisijan väänin	-	OH852RJ	15CA105233R1001			
3	Johdonsuojakatkaisija	F1	S203M-C63	ZCD0273001R0607	63 A		
4	Moottorisuojakatkaisija	F2	M5132-10	15AM360000R1010	10 A		
5	Moottorisuojakatkaisija	F3	M5132-1.6	15AM360000R1006	1.6 A		
6	Johdonsuojakatkaisija	F4	S201-86	ZCD0251001R0065	6 A		
7	Johdonsuojakatkaisija	F5	S201-86	ZCD0251001R0065	6 A		
8	Kontaktori	K1	AF65-30-11-13	15BL387003R311	65 A		Kela: 230 VAC
9	Kontaktori	K2	AF262-30-00-21	15BL236001R2100	26 A		Kela: PLC 24VDC
10	Apukokkehtn NO / NC	-	CAL4-11	15BN010120R1011			Asetetaan K2 kontaktorille
11	Kontaktori	K3	AF092-30-10-21	15BL136001R2110	9 A		Kela: PLC 24VDC
12	Lämpörele	FR2	EF19-6-3	15AV121001R1104	1.9...6.3 A		Asetetaan K2 kontaktorille
13	Lämpörele	FR3	EF19-2-7	15AV121001R1103	0.80...2.7 A		Asetetaan K3 kontaktorille
14	Tehoalue AC/DC	T1	CP-0 24/4 2	15VR427045R0400			
15	Seis-painike	S1	CEAT-10R-11				
16	Välirele	K10	R4d Interface Relay	15BN060100R1000			Asetetaan K1 kontaktorin kelaile A1 ja A2
17	Ohjelmoitava logiikka	-	PMS73-ETH	15AP130500R0271			
18	Analoginen logiikkamoduuli	-	AYS22	15AP250000R0001			
19	Digitaalinen logiikkamoduuli	-	DCS22	15AP240600R0001			
20	Käyttöpaneeli	-	CP610	15AP510100R0001			
21	Välirele	K11, K12, K13	ELKO EP VS116U-SR 1vk	8686189136433	18 A		Kela: 12-240 V (DC tai AC)
22	Johdonsuojakatkaisija	F11, F12, F13	S201-44		4 A		
23							
24							

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

REVISION 2.1	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
DES. Niko Raitkio		TARGET		CONTENTS		PROJECT NUMBER		LANG.		DRAWING NUMBER		PAGE 01 / 01									
DRA.		Kuvausuurin ohjauskeskus OK																			
SPV.		Osaluettelo päätöskomponenteista																			
APR.		ABB Oy Oulun toimipiste																			
DATE 30.05.2020																					

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

Protection of LV Cables

-WC1		LLLN / TN-S	
Phases - Distribution System			
Voltage	[V]	400	
IB (A)	[A]	57.2	
Cosphi		1.00	
Cable cross-sections			
Conductor - Insulator		Cu / PVC	
Length (m)	[m]	40	
Iz (A)	[A]	78.8	
dIU (%)		0.83	
Work Temp (°C)	[°C]	51.1	
Power loss	[W]	327.37	
KCS*	[ACS]	8242085	
Protection checks			
Overload: protected by FU1 IEC 000G 63A			
IB (57.249A) <= In (63.000A) and If (100.800A) <= 1.45Inz (114.239A); Uref=400V			
Short circuit at terminal 1 (current flowing downstream): protected by FU1 IEC 000G 63A			
Protection guaranteed up to Ik LLL (20.160A), Ik LN (12.100A), Ik L-PE (12.100A); Uref=400V			
Indirect touch at terminal 2 (current flowing downstream): protected by FU1 IEC 000G 63A			
I@kax tripping time (0.320A)<=Ikmin L-PE (2.031A); Trip time=5.000s; Uref=400V			
Short circuit at terminal 2 (current flowing upstream): protected by			
Indirect touch at terminal 1 (current flowing upstream): protected by			

-WC2 LÄMMITYSPYHMÄ		LLLN / TN-S	
Phases - Distribution System			
Voltage	[V]	400	
IB (A)	[A]	52.5	
Cosphi		1.00	
Cable cross-sections			
Conductor - Insulator		Cu / PVC	
Length (m)	[m]	6	
Iz (A)	[A]	64.6	
dIU (%)		0.18	
Work Temp (°C)	[°C]	56.4	
Power loss	[W]	65.73	
KCS*	[ACS]	3375958	
Protection checks			
Overload: protected by -QF1 S203M-C63			
IB (52.459A) <= In (63.000A) and If (91.350A) <= 1.45Inz (93.670A); Uref=400V			
Short circuit at terminal 1 (current flowing downstream): protected by -QF1 S203M-C63			
Protection guaranteed up to Ik LLL (6.520A), Ik LN (3.590A), Ik L-PE (3.590A); Uref=400V			
Indirect touch at terminal 2 (current flowing downstream): protected by -QF1 S203M-C63			
I@kax tripping time (0.280A)<=Ikmin L-PE (1.881A); Trip time=5.000s; Uref=400V			
Short circuit at terminal 2 (current flowing upstream): protected by			
Indirect touch at terminal 1 (current flowing upstream): protected by			

-WC3 LÄMMITYKSEN PUHALLIN		LLLN / TN-S	
Phases - Distribution System			
Voltage	[V]	400	
IB (A)	[A]	4.9	
Cosphi		0.80	
Cable cross-sections			
Conductor - Insulator		Cu / PVC	
Length (m)	[m]	6	
Iz (A)	[A]	20.4	
dIU (%)		0.08	
Work Temp (°C)	[°C]	32.3	
Power loss	[W]	3.30	
KCS*	[ACS]	82421	
Protection checks			
Overload: protected by -QF2 MS132-10			
IB (4.869A) <= In (6.300A) and If (8.190A) <= 1.45Inz (29.580A); Uref=400V			
Short circuit at terminal 1 (current flowing downstream): protected by -QF2 MS132-10			
Protection guaranteed up to Ik LLL (6.520A), Ik L-PE (3.590A); Uref=400V			
Indirect touch at terminal 2 (current flowing downstream): protected by -QF2 MS132-10			
I@kax tripping time (0.180A)<=Ikmin L-PE (0.870A); Trip time=0.400s; Uref=400V			
Short circuit at terminal 2 (current flowing upstream): protected by			
Indirect touch at terminal 1 (current flowing upstream): protected by			

Rev. P1		DATE		Description	Customer	ABB Oy	Drawing number
Rev. P2		DATE		Käsitöiden tarkastus	Project	Kuusiokan ohjauksuut	
Rev. P3		DATE		Version 2.0 01/2021	File		Sheet: 1
REVISIONS	DATE	Signature	Approved		Sheet:		1 of 2

Protection of LV Cables

-WC4 POISTOPUHALLIN

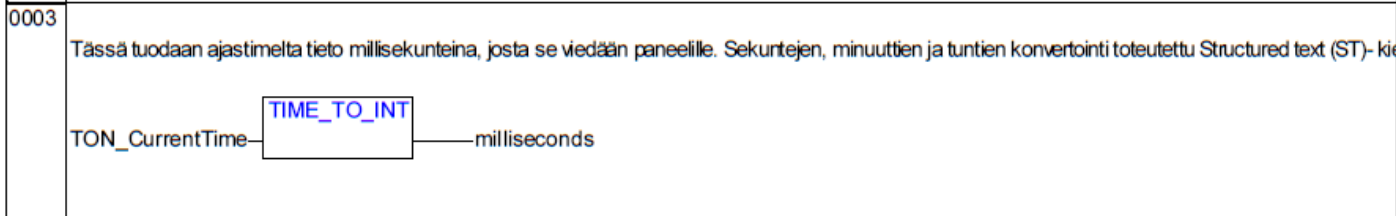
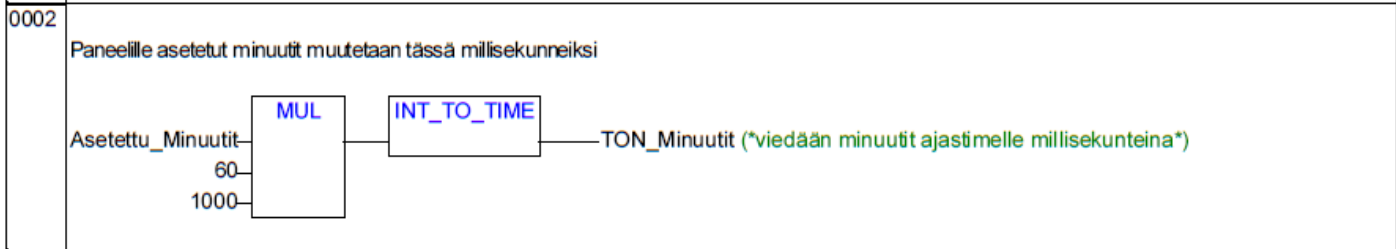
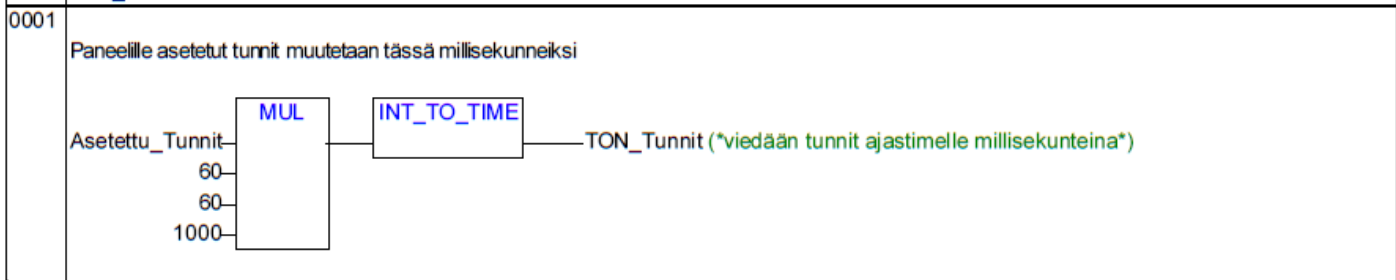
Phases - Distribution System		LLL /TN-S	
Voltage	[V]	400	
IB (A)	[A]	0.9	
Cosphi		0.90	
Cable cross-sections		4G1.5/1.5	
Conductor - Insulator		CU / PVC	
Length (m)	[m]	6	
Iz (A)	[A]	14.9	
dU (%)		0.03	
Work Temp (°C)	[°C]	30.2	
Power loss	[W]	0.21	
KCS*	[ACS]	28672	
Protection checks			
Overload: protected by		-QF3 MS132-1.6	
$IB (0.95IA) \leq I_{th} (1.00IA) \leq Iz (14.88IA) \text{ and } I (1.30IA) \leq 1.45Iz (21.57IA), U_{ref}=400V$			
Short circuit at terminal 1 (current flowing downstream): protected by		-QF3 MS132-1.6	
Protection guaranteed up to IK _{LLL} (6.92kVA), IK _{L-PE} (3.59kVA), U _{ref} =400V			
Indirect touch at terminal 2 (current flowing downstream): protected by		-QF3 MS132-1.6	
I _{th} max tripping time (0.02kVA)≤I _{th} min L-PE (0.63kVA), Trip time=0.40[S], U _{ref} =400V			
Short circuit at terminal 2 (current flowing upstream): protected by			
Indirect touch at terminal 1 (current flowing upstream): protected by			

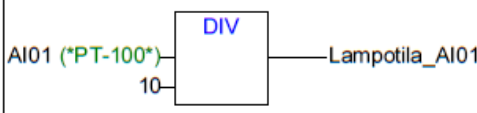
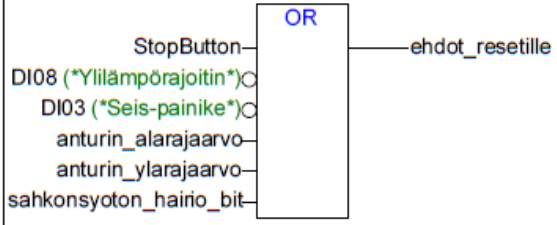
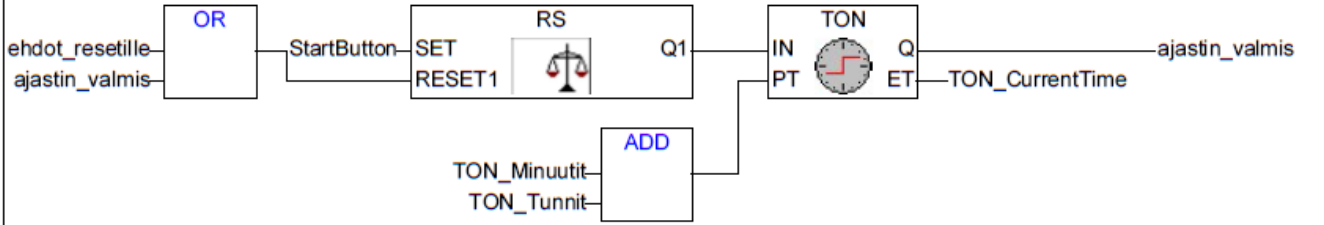
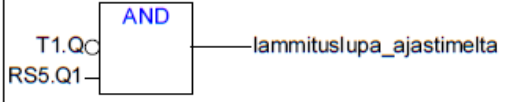
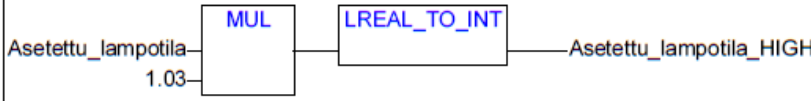
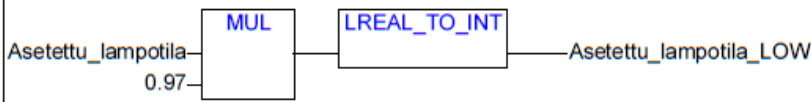

Phases - Distribution System			
Voltage	[V]		
IB (A)	[A]		
Cosphi			
Cable cross-sections			
Conductor - Insulator			
Length (m)	[m]		
Iz (A)	[A]		
dU (%)			
Work Temp (°C)	[°C]		
Power loss	[W]		
KCS*	[ACS]		
Protection checks			
Overload: protected by			
Short circuit at terminal 1 (current flowing downstream): protected by			
Indirect touch at terminal 2 (current flowing downstream): protected by			
Short circuit at terminal 2 (current flowing upstream): protected by			
Indirect touch at terminal 1 (current flowing upstream): protected by			

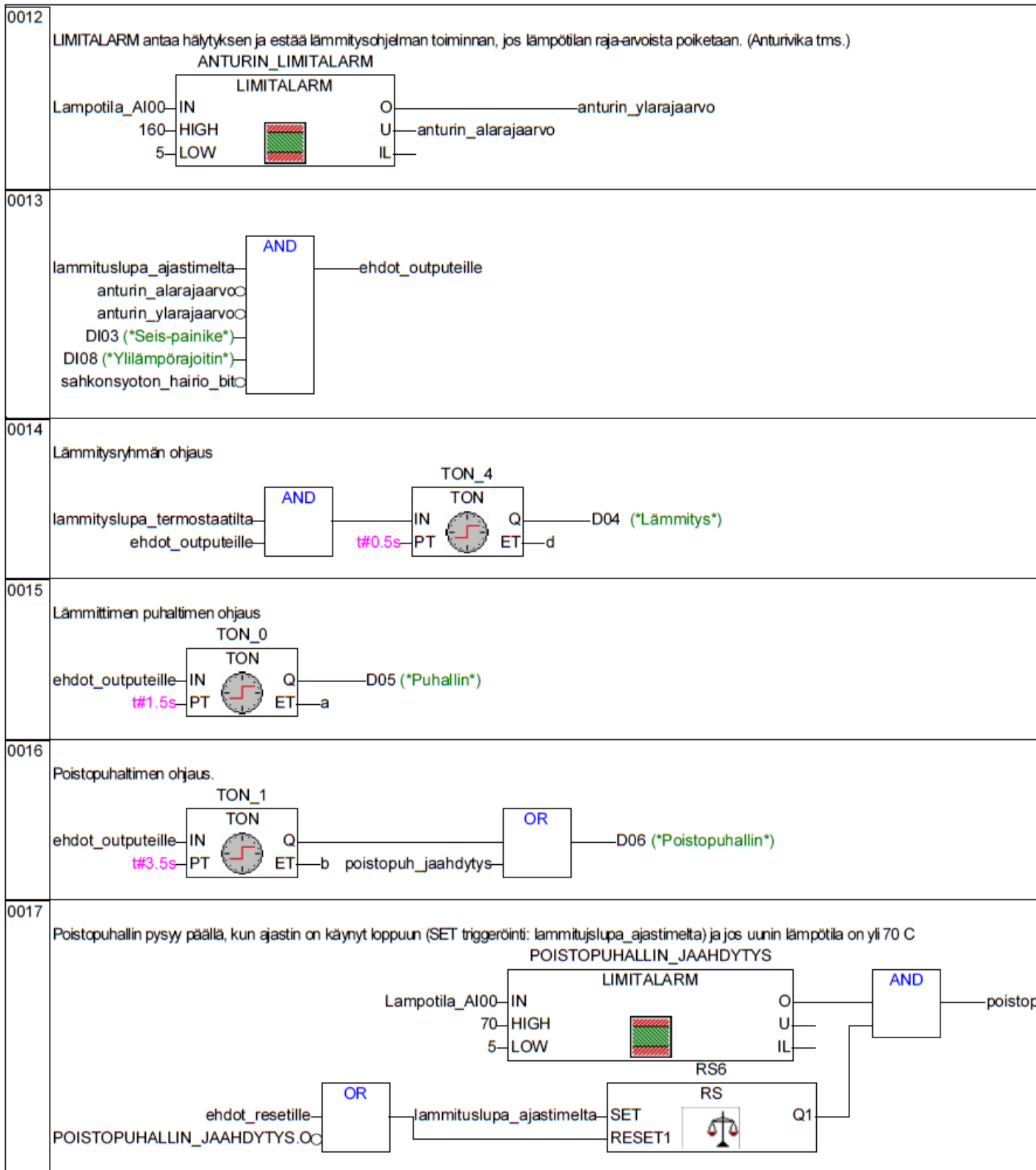
Phases - Distribution System			
Voltage	[V]		
IB (A)	[A]		
Cosphi			
Cable cross-sections			
Conductor - Insulator			
Length (m)	[m]		
Iz (A)	[A]		
dU (%)			
Work Temp (°C)	[°C]		
Power loss	[W]		
KCS*	[ACS]		
Protection checks			
Overload: protected by			
Short circuit at terminal 1 (current flowing downstream): protected by			
Indirect touch at terminal 2 (current flowing downstream): protected by			
Short circuit at terminal 2 (current flowing upstream): protected by			
Indirect touch at terminal 1 (current flowing upstream): protected by			

Rev. P1		Date:		Description:		Customer:	488 Oy	Drawing number:	
Rev. P2		Order:		Käsitelmä vuokraus		Project:	Kuuzourun ohjeistus	Sheet:	
Rev. P3		Design:		Version 2.0	01/2023	File:		1st sheet:	
REVISIONS	Date:	Signature:		Who Approved:		Sheet:	2	2nd sheet:	
						Sheet:		Sheet:	2

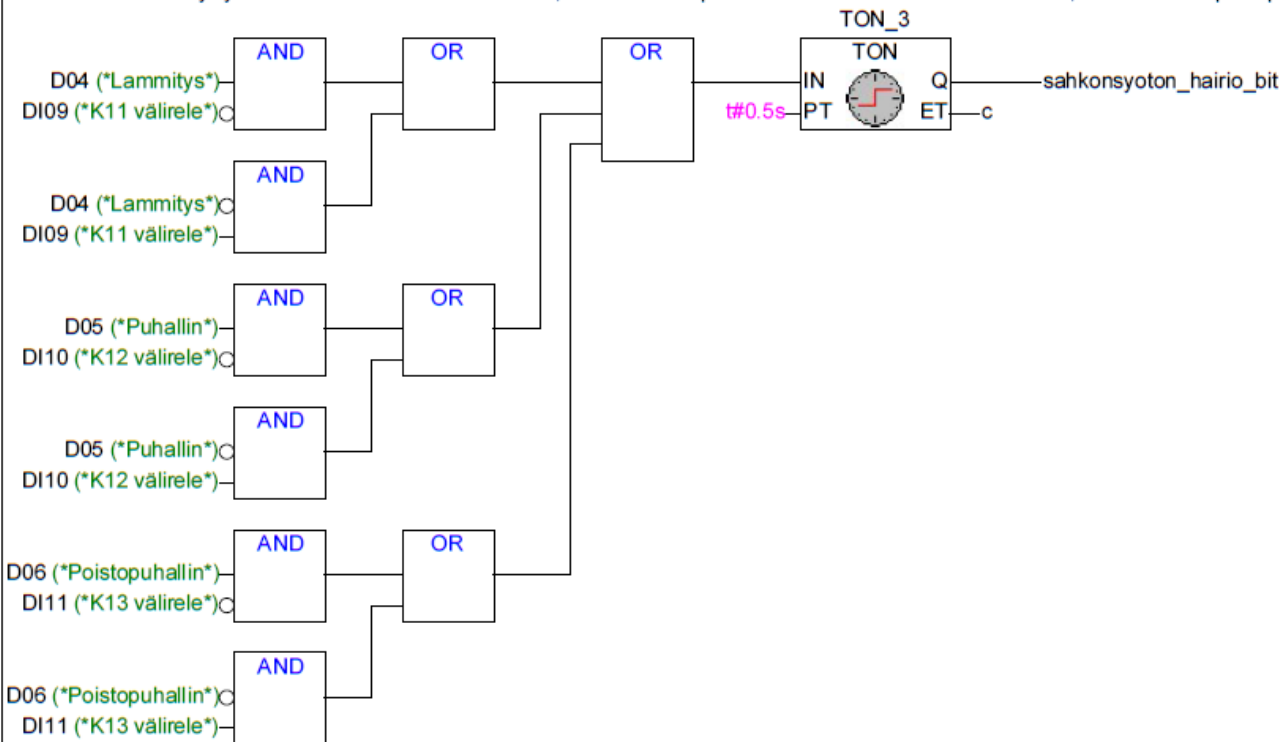
0001	PROGRAM kuivausuuni_FBD_NR_V2
0002	VAR
0003	T1: TON;
0004	RS5: RS;
0005	HYSTEREESI: HYSTERESIS;
0006	Asetettu_lampotila_HIGH: INT;
0007	Asetettu_lampotila_LOW: INT;
0008	ANTURIN_LIMITALARM: LIMITALARM;
0009	a: TIME;
0010	b: TIME;
0011	TON_1: TON;
0012	TON_0: TON;
0013	POISTOPUHALLIN_JAAHDYTYS: LIMITALARM;
0014	RS6: RS;
0015	poistopuh_jaahdytys: BOOL;
0016	TON_Minuutit: TIME:= t#1000ms;
0017	TON_Tunnit: TIME:= t#1000ms;
0018	TON_3: TON;
0019	c: TIME;
0020	TON_4: TON;
0021	d: TIME;
0022	sahkonnyoton_hairio_bit: BOOL;
0023	counter: CTU;
0024	counter1: CTU;
0025	min_count: BOOL;
0026	tunnit_count: BOOL;
0027	TON_CurentTime: TIME;
0028	TP_1: TP;
0029	END_VAR



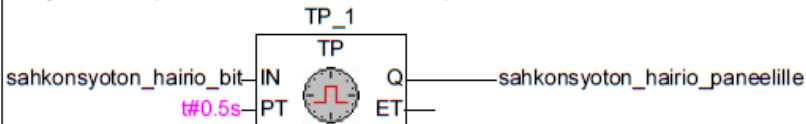
<p>0005</p>	<p>PT-100 anturi 2:sen tieto konvertoitu asteiksi °C</p> 
<p>0006</p>	<p>Ehdot RS5 ja RS6-toimilohkojen yhteisille resetointi ehdoille.</p> 
<p>0007</p>	<p>Ajastin-piiri. Lähtee päälle kun paneelille on asetettu aika ja StartButtonia painettu. Ajastin-piiri pysähtyy, kun jokin Resetin ehdoista täyttyy.</p> 
<p>0008</p>	<p>lammituslupa_ajastimelta = TRUE kun: -T1-timerin output täytyy olla 0 (ajastin siis kaynnissa, eikä ole saavutanut haluttua aikaa) -RS5-toimilohkon output täytyy olla 1 (Starttia painettu, ja reset-piiri = 0)</p> 
<p>0009</p>	<p>Hystereesin yläraja 103 % asetetusta arvosta</p> 
<p>0010</p>	<p>Hystereesin alaraja 97 % asetetusta arvosta</p> 
<p>0011</p>	<p>Termostaatti-piiri, jossa seurataan lämpötilaa (input AI00) ja HYSTEREESI-toimilohko säätelee OUTia annettujen raja-arvojen puitteissa</p> 

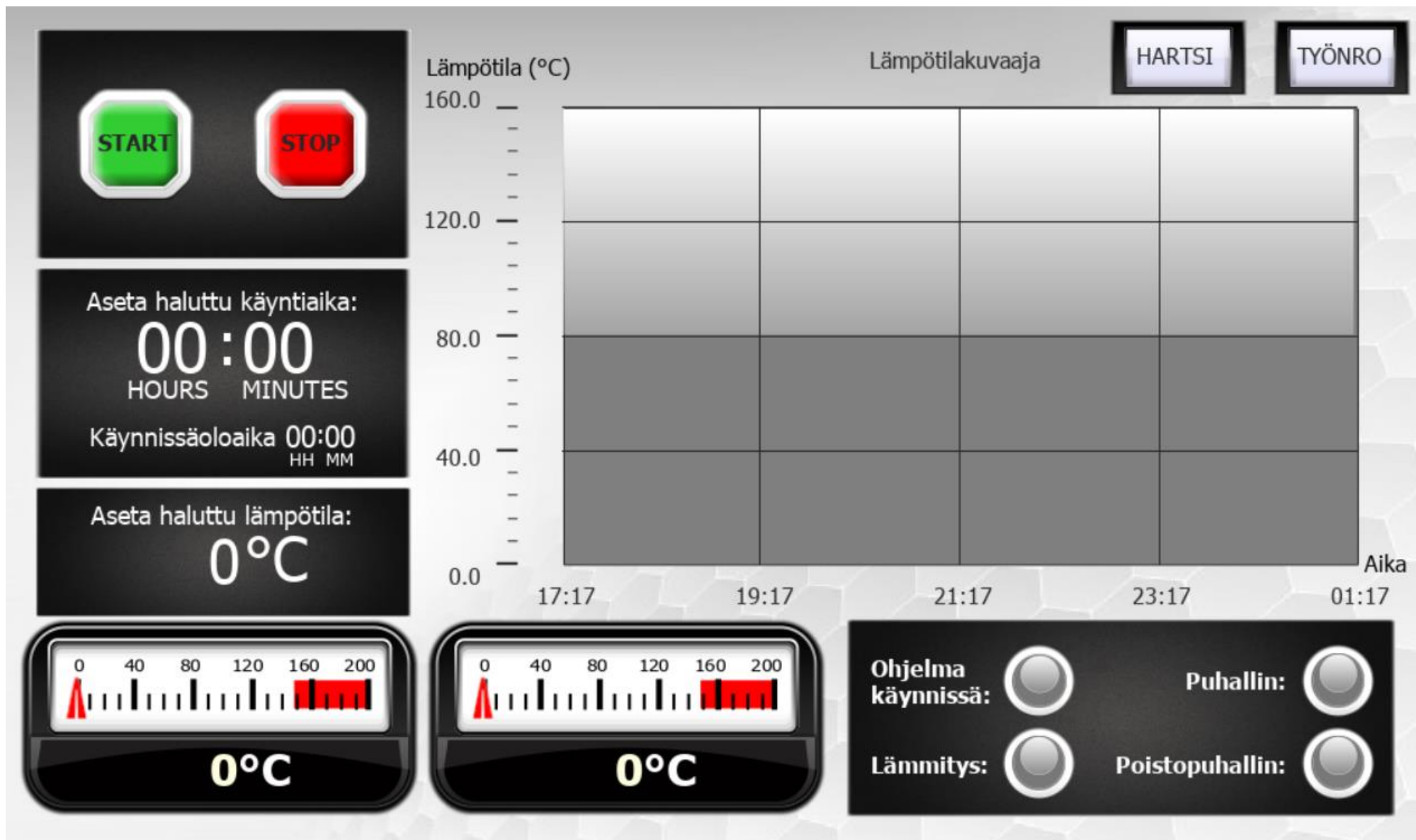


0018 Piirillä varmistetaan sähkönsyötön kannalta:
 -Välvo, että pääkontakteissa kulkee sähkö (ts. sulakkeet tai JSK lauennut)
 -Välvo kontaktorin pääkontakteja hitsautumisen varalta
 Väli rele K11 on lämmitysryhmän kontaktorin takana vaiheella L1, Väli rele K12 on puhaltimen kontaktorin takana vaiheella L2, Väli rele K13 on poistopuhaltin



0019 Tällä vedään sähkönsyötön häiriöstä johtuva tieto käyttöpaneelille, jotta paneeli "ehdii" havaita signaalin.
 TP ajastimen output on 0,5 sekuntia TRUE, kun inputilta tulee nouseva reuna.





1-KOMPONENTTINEN POLYESTERIHARTSI CC-1105**Käyttö:**

Uppo- ja valutuslakkausjärjestelmissä aloitusprosessiksi suositellaan seuraavaa.

Tapauskohtaisesti voidaan annettuja aikoja muuttaa halutun lopputuloksen saavuttamiseksi.

1. Kappale esilämmitetään 105°C:seen.
2. Annetaan jäähtyä 40...50°C asteiseksi.
3. Kappale upotetaan hitaasti hartsiin ja odotetaan, kunnes kupliminen loppuu tai hartsia valutetaan kappaleeseen niin, että se tulee kyllästettyä huolellisesti.
4. Valumisaika n. 30 min.
5. Uunitus esilämmitetyssä uunissa

Kuivumisaikoja:

- Uunitusajat riippuvat kyllästetyn kappaleen koosta, painosta sekä käytetystä lämpötilasta.
- Kuivumisaikat lasketaan siitä, kun kappale on saavuttanut taulukon mukaisen lämpötilan.
- Uunitus suositellaan aloitettavaksi valmiiksi kuumassa uunissa, jotta hartsin valuminen olisi mahdollisimman vähäistä.

Lämpötila (°C)	Kuivumisaika
110 °C	10 - 14 h
120 °C	4 - 6 h
135 °C	2 - 3 h
150 °C	1 - 1½ h
165 °C	35 - 45 min
175 °C	15 - 30 min

OK

Close

URO

Aika
2:42



