

Joni Ronkainen

# Sähkölämmityksen tehonsäätö tyristoriohjaimella

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinööriytyö

24.4.2018

Tekijä Otsikko	Joni Ronkainen Sähkölämmityksen tehonsäätö tyristoriohjaimella
Sivumäärä Aika	40 sivua + 2 liitettä 24.4.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	asiantuntija, sähköjärjestelmät Tony Ikkäläinen kehityspäällikkö Risto Juusti ryhmäpäällikkö Juha Sihvonen lehtori Eero Kupila
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli tutkia ABB DCT880 tyristoriohjaimen soveltuvuutta sähkölämmitysten tehonsäätöön Porvoon jalostamolla. Tyristoriohjaimella säädetään putkistojen sulanapitolämmitysten tehoa ulkolämpötilan mukaan. Laitteen sopivuutta haluttiin tutkia olemassa olevien järjestelmien kehittämiseksi.</p> <p>Uudessa laitteessa kiinnostivat erityisesti parempi ohjelmoitavuus sekä etäohjaus ja etävalvontamahdollisuudet. Tämän hetkiset tyristorisäätöiset lähdöt eivät ole etäohjattavia.</p> <p>Ennen laitteen asentamista muuntamolle, laitteen ohjelman toimintaa tarkasteltiin. Toimintaa tarkasteltiin järjestämällä testikäyttö, jossa koekuorman tehoa ohjattiin säätövastuksella. Säätövastukseen aseteltiin Pt100 ulkoanturia vastaavat vastusarvot ja seurattiin, että teho muuttuu sen mukaan. Testikäytön tarkoituksena oli varmistaa laitteen ohjelman toiminta. Laitteen oikea toiminta oli varmistettava, ettei koekäytön vuoksi pääse tapahtumaan jäätyksiä.</p> <p>Testit onnistuivat ja laite toimi odotetulla tavalla, joten laite voidaan asentaa koekäyttöpäikalle. DCT880 asennetaan myöhemmin koekäyttöön Kilpilahden jalostamon muuntamolle M039. Testijakso kestää seuraavan talven yli, ja jos laite toimii, se saa jäädä paikoilleen testin jälkeenkin.</p>	
Avainsanat	

Author Title	Joni Ronkainen Electrical Heating with Thyristor Power Controller
Number of Pages Date	40 pages + 2 appendices 24 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Programme in Electrical and Automation Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Tony Ikkäläinen, Specialist, Electrical Systems Risto Juusti, Development Manager Juha Sihvonen, Group Leader Eero Kupila, Senior Lecturer
<p>The goal of this study was to clarify ABB DCT880 thyristor power controller's suitability in controlling of electric trace heating in Neste Porvoo refinery. Frost protection trace heating cables are controlled with thyristor power controllers. These controllers adjust power according to the outdoor temperature and the new system must also work like that. The subject was investigated to improve the existing system. Some of the existing devices are old and need to be replaced soon and DCT880 could be a good option in replacing them.</p> <p>This thesis contains theory and practice. The theory section contains information of heating tray cables and their controlling methods. Theory section also contains information about ABB DCT880 thyristor power controller and its features.</p> <p>In the practical part the functioning of DCT880s adaptive program was tested with test load and adjustable resistor to simulate changes of temperature. Adjustable resistor changes values like real outdoor sensor Pt100. Also functioning of devices' alarms were tested.</p> <p>In the test, the device proved to work like planned. Device will be installed later in Porvoo refinery substation 39 and tested for a longer period. Based on that test adaptive program will be modified if necessary.</p>	
Keywords	Thyristor power controller, Trace heating

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Saattolämmitykset	3
2.1	Yleistä saattolämmityksistä	3
2.2	Vakiovastuskaapelit	5
2.3	Vakiotehokaapelit	8
2.4	Itsesäätyvät kaapelit	10
2.5	Kaapelin valinta	12
2.6	Sähkölämmityksen tehonsäätö	13
3	Nykytilanne	16
4	ABB DCT880 tyristoriohjain	21
4.1	Vaiheohjaus	22
4.2	Täyden aallon purskeohjaus	22
4.3	Puoliaallon ohjaus	23
4.4	Drive Composer	24
4.5	Etäohjaus	25
5	Ohjelmointi ja testaussuunnitelma	26
5.1	Adaptiivinen ohjelma	27
5.2	Testaussuunnitelma	27
5.2.1	DCT880 -ohjelman toiminnan testaus	27
5.2.2	Hälytysten toiminnan testaus	29
6	Tulokset	31
7	Johtopäätökset	35
	Lähteet	37
	Liitteet	
	Liite 1. Muutetut parametrit	
	Liite 2. Adaptiivinen ohjelma	

## Lyhenteet

ATEX	Atmospheres explosives. Räjähdyksvaarallinen ympäristö.
D2D	Device-to-Device. Laitteiden toisiinsa linkittämiseen käytettävä liitäntä.
FSU	Fail Safe Ultimo. Lämmityskaapelityyppi.
MI	Mineral insulated. Mineraalieriste lämmityskaapelin ulkovaipan ja johtimen välissä.
NC	Normally Close. Avautuva kosketin. Kosketin avautuu, kun rele vetää.
NO	Normally Open. Sulkeutuva kosketin. Kosketin sulkeutuu, kun rele vetää.
TC	Temperature control. Lämpötilan säätöanturi. Asennetaan kohtaan, joka edustaa putken/laitteen kylmintä kohtaa.
TL	Temperature limit. Lämpötilan rajoitusanturi. Asennetaan kaapelin pintaan, jolloin kaapelin pintalämpötila ei voi nousta asetetun raja-arvon yli.

## 1 Johdanto

Insinööriyön tavoite on tutkia ABB:n DCT880 -tyristoriohjaimen soveltuvuutta saattolämmitysten tehonsäätöön Neste Oyj:n Porvoon jalostamolla. Tyristoritehonsäätimiä käytetään Porvoon jalostamolla sulanapitolämmityksessä. Aihetta haluttiin tutkia olemassa olevien järjestelmien parantamiseksi.

Laitte asennetaan testikäyttöön muuntamolle M039. Koekäytössä tutkitaan, saadaanko jäätyksi vähennettyä ja saavutetaanko samalla muita hyötyjä. Uudessa laitteessa on paljon enemmän ohjelmointimahdollisuuksia ja ohjaustapoja vanhaan verrattuna. Ennen koekäyttöä pyritään selvittämään, mitä laitteen ohjaustapaa ja toimintoja voidaan käyttää, niin että se täyttää Nesteen vaatimukset. Laitteella voidaan ohjata lämmityspiirejä täysin samalla tavalla kuin ennenkin, mutta työssä pyritään tutkimaan, onko ohjaus järkevämpää toteuttaa jollain muulla tavalla. Ohjaustavoista selvitetään parhaiten käyttöön sopiva. Laitteessa on myös pehmokäynnistystoiminto, jonka avulla käynnistysvirtoja on mahdollista saada pienennettyä. Käynnistysvirrat ovat ongelma varsinkin kovilla pakka- silla. Silloin lämmityskaapelit ottavat niin suuren virran, että suojalaitteet katkaisevat virran.

Insinööriyössä testataan laitteen toiminta ennen muuntamolle asennusta. Työssä tutkitaan myös laitteen etäkäyttö- ja etävalvontamahdollisuuksia. Etäkäyttö ja -valvonta ovat järjestelmän parantamisen kannalta kiinnostavia asioita. Käytössä on vanhoja ja uusia tyristorisäätimiä, joista vanhojen valvonta on hyvin rajallista ja etäkäyttö ei ole mahdollista. Uusimmissa säätimissä olisi mahdollisuus etäkäyttöön, mutta etäkäyttöä ei ole tällä hetkellä käytössä Porvoon jalostamolla saattolämmitysten säädössä.

Nesteellä on kolme jalostamaa, joista yksi sijaitsee Suomessa (Porvoo ja Naantali), yksi Rotterdamissa ja yksi Singaporessa. Lisäksi Neste omistaa esikäsittelylaitoksen Alankomaissa Sluiskilissa. Neste omistaa myös osan perusöljylaitoksesta Bahrainissa ja osan ruotsalaisesta öljy-yhtiöstä Nynas AB:sta. [1; 2.]

Neste Oyj:n tuotteita ovat erilaiset öljytuotteet, sekä uusiutuvat tuotteet. Öljytuotteiden tuotevalikoimaan kuuluu muun muassa: bensiinit, dieselpolttoaineet, lento- ja laivaliikenteen polttoaineet, kevyet ja raskaat polttoöljyt, perusöljyt, bensiinikomponentit, erikois- polttoaineet, kuten pienmoottoribensiini, liuottimet, nestekaasut ja bitumi. Uusiutuvia



## 2 Saattolämmitykset

### 2.1 Yleistä saattolämmityksistä

Saattolämmityksellä tarkoitetaan erilaisten putkistojen lämmityksiä. Saattolämmitystä tarvitaan turvaamaan aineen virtaus, kun putkistot kulkevat pitkiä matkoja. Putkiston sisällä kulkeva aine jäähtyy matkalla, jos sitä ei lämmitetä. Saattolämmitystä käytetään sulanapitoon, lämpötilan ylläpitoon tai lämmitykseen. Sähkön lisäksi voidaan käyttää esimerkiksi kuumaa höyryä tai kuumaöljysaattoja. Jalostamolla prosesseissa ja voimalaitoksessa syntyy höyryä, joten sitä hyödynnetään myös putkistojen lämmityksessä ja sulanapidossa. Saattolämmitys toteutetaan kuitenkin usein sähköllä, jolloin sitä on helppo säätää. [7.]

Sulanapitolämmitystä käytetään estämään putkistossa kulkevan aineen jäätyminen. Sulanapidettävät kohteet ovat useimmiten vesiputkia. Jäätymisestä voi aiheutua tuotannollisia tappioita tai vaaratilanteita. Jäätyvä aine laajenee ja saattaa aiheuttaa putken halkeamisen. Esimerkiksi palovesiputket on oltava aina käytettävissä, jotta mahdolliset tulipalot saadaan sammutettua.

Ylläpitolämmitystä käytetään, kun siirrettävä aine halutaan pitää lämpimänä. Esimerkiksi raakaöljyn raskaimmat osat muuttuvat hyvin paksuiksi, jos ne jäähtyvät, joten niiden lämpötila on tarpeen pitää suurena. Lämpötilaa pidetään yllä korvaamalla putken lämpöhäviöt saattolämmityskaapelista saatavalla lämmöllä. [8.]

Aineen lämpötilaa voidaan myös nostaa saattolämmityksellä. Jos prosessi vaatii aineen lämmitystä, sitä voidaan esilämmittää jo siirrettäessä putkea pitkin paikasta toiseen. Josain lämmityskohteissa erikoisvaatimuksena voi olla lämpötilan ylläpidon lisäksi, että lämmityksen tehon on riitettävä myös lämpötilan nostamiseen halutulla nopeudella. Tällaisia lämmityskohteita ovat esimerkiksi bitumilinjat. [8.]

Kilpilahdessa kaikki sähkösaatot suunnitellaan ja asennetaan siten, että ne täyttävät räjähdysvaarallisten tilojen tilaluokka 1:n vaatimukset. Tilaluokka 0 on tila, jossa räjähdyskelpoinen kaasuseos esiintyy normaalissa käytössä jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai toistuvasti. Tilaluokka 1 on tila, jossa kaasun, höyryn tai sumun ja ilman muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos todennäköisesti esiintyy normaalikäytössä ajoittain. Tilaluokassa

2 puolestaan räjähdyskelpoista seosta ei todennäköisesti esiinny normaalikäytössä tai sen kesto on lyhyt. [9, s.24.]

Räjähdysvaarallisissa tiloissa tulee lämmitystä suunniteltaessa ottaa huomioon suurin sallittu kaapelin pintalämpötila. Pintalämpötilaa voidaan rajata suunnittelemalla kaapeli siten, ettei sen pintalämpötila voi nousta yli sallitun arvon (ns turvalliseksi mitoitus), tai voidaan käyttää erillistä lämpötilan rajoitinta. TL -anturi eli rajoitusanturi asennetaan lämmityskaapelin pinnalle. Rajoitusanturi pyritään asentamaan kohtaan, joka edustaa lämmityskaapelin kuuminta kohtaa. Yleensä kaapelin kuumin kohta on kohdassa, jossa kaapeli on irti putkesta. [9, liite F.]

Taulukko 1. Lämpötilaluokat [10.]

LÄMPÖTILALUOKAT	RÄJÄHDYSALTTIIDEN KAASU/HÖYRYSEOSTEN SYTTYMISLÄMPÖTILA	KOMPONENTIN SALLITTU PINTALÄMPÖTILA
T1	≥ 450 °C	≤ 450 °C
T2	≥ 300 ... < 450 °C	≤ 300 °C
T3	≥ 200 ... < 300 °C	≤ 200 °C
T4	≥ 135 ... < 200 °C	≤ 135 °C
T5	≥ 100 ... < 135 °C	≤ 100 °C
T6	≥ 85 ... < 100 °C	≤ 85 °C

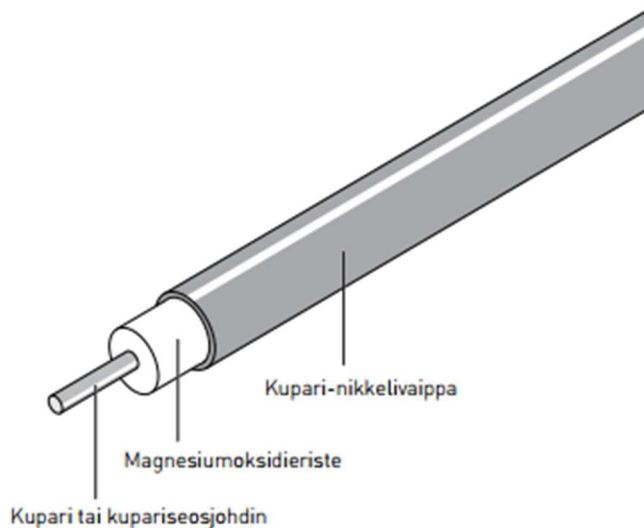
Porvoon jalostamolla prosessialueen aineiden lämpötilaluokka on yleisesti T3 (taulukko 1). Tämä tarkoittaa, että sähkölaitteiden pintalämpötila ei saa ylittää 200 °C lämpötilaa. Saatettujen linjojen korkeimmat ylläpitolämpötilat ovat kuitenkin 150 °C, joten niiden lämmittäminen alle 200 °C pintalämpötilalla ei ole teknisesti järkevää. Lämmityskaapeli ei tällöin pysty pitämään lämpötilaa halutussa 150 °C. Tällaisissa tapauksissa voidaan sallia kaapelin pintalämpötilan nousu putkiston tai laitteiston suunniteltuun lämpötilaan. Lämpötilan ylitys on kuitenkin suunniteltava mahdollisimman pieneksi. Näiden piirien dokumentointiin on lisättävä merkintä standardista poikkeamisesta. [8.]

## 2.2 Vakiovastuskaapelit

Vakiovastuskaapelin vastus metriä kohden on vakio. Vakiovastuskaapelin teho muuttuu sen pituuden mukaan. Kaapelia lyhennettäessä vastus pienenee ja pidennettäessä vastaavasti kasvaa. Kaapelia ei saa lyhentää liikaa, ettei valmistajan ilmoittama maksimi lämpötila ylity. Kaapelin lyhentäminen aiheuttaa vastuksen pienenemisen, mikä aiheuttaa virran kasvun. Kaapelin pituuteen vaikuttaa myös asennuskohde ja sen mukaan määräytyvä maksimiteho, ettei lämmitettävä kohde vahingoitu. Esimerkiksi muoviputki voi sulaa, jos kaapeli on ylimitoitettu. Vakiovastuskaapeleita käytetään, kun kyseessä on pitkä saatto. Pitkään saattoon ei voida käyttää itsesäätyvää kaapelia maksimipituuden ylittymisen vuoksi. Kaapelin maksimipituus määräytyy kaapelin johdonsuojan mukaan. Yleensä lämmityskaapelin pituus on ongelma suuren käynnistysvirran vuoksi. [11.]

### Metallivaippaiset kaapelit

Metallivaippaisia kaapeleita käytetään paljon teollisuudessa niiden hyvän lämmönkeston vuoksi. Jalostamon putkistoissa kulkeva aine voi olla hyvin kuumaa, jolloin myös saatto- lämmityskaapelilta edellytetään suurta lämmönkestoisuutta ja suurta tehoa. Yleisimmin kaapelin vaippa on ruostumatonta terästä ja eristemateriaali magnesiumoksidia. Muita käytettyjä vaippamateriaaleja ovat esimerkiksi kupari, kuparinikkeli (kuva 2) ja eristeenä alumiinioksidi. Metallivaippaisille kaapeleille käytetään myös nimitystä MI-kaapelit. Nimi tarkoittaa mineral insulated eli mineraalieristeiset kaapelit. Metallivaippaisten kaapelien lisäksi MI-kaapeleihin kuuluu myös mineraalilla eristetyt muovi- ja teflonvaippaiset kaapelit. [12.]



Kuva 2. MI-kaapelin rakenne [13].

Metallivaippaisia kaapeleita on saatavilla useita eri tyyppejä. Yleisimpiä käytettyjä materiaaleja ja niiden sallittuja käyttölämpötiloja ovat

- HDF/HDC kuparinikkelivaippa, 400 °C:n lämpötilaan asti
- HCH/HCC kuparivaippa, alle 200 °C:n lämpötilaan
- HAx 825 -seosvaippa, 700 °C:n lämpötilaan asti
- HSQ rosterivaippa, 700 °C:n lämpötilaan asti
- HIQ Inconel 600 -seosvaippa, 700 C:n lämpötilaan asti.

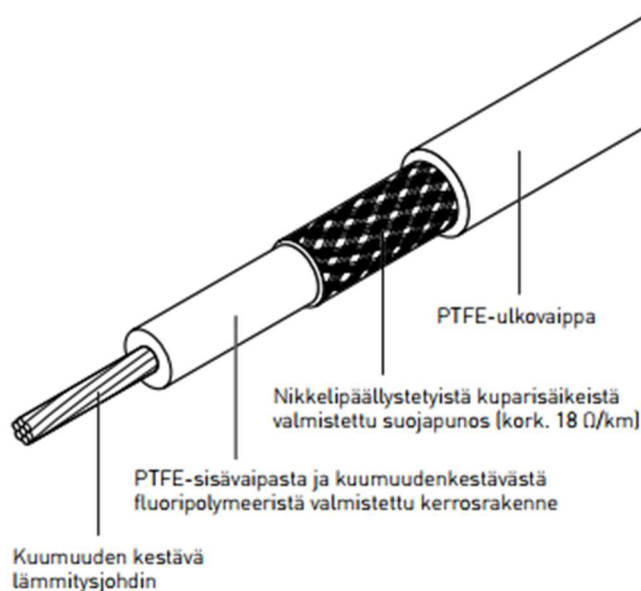
HAx, HSQ ja HIQ eroavat toisistaan kuormitettavuudessa ja kemikaalien kestoisuudessa. Rosteri kestää HAx-metalliseosta paremmin kemikaaleja, ja HIQ puolestaan on tarkoitettu paikkoihin, joissa vaaditaan kuumuudenkestävyyttä, suurta tehoa ja mekaanista kestävyyttä ja joissa mineraalieristeisille, rosterivaippaisille lämpökaapeleille asetetut rajoitukset ylittyvät. [14.]

MI-kaapeleita on saatavilla myös muovivaipalla. Metallin päälle tuleva muovikerros suojaa kemikaaleilta ja näin ollen parantaa kaapelin ominaisuuksia. Muovivaippaisen kaapelin lämmönkesto ei ole yhtä hyvä kuin metallivaippaisilla, joten sen käyttö ei tule kyseeseen kohteen ollessa hyvin korkeassa lämpötilassa (yli 260 °C). Kaapelia ei voida myöskään kuormittaa yhtä paljon kuin metallivaippaista. Vaippamateriaalina käytetään

esimerkiksi fluorattua eteeni-propyleenia. Saatavilla on useita eri värejä, joilla voi esimerkiksi helpottaa kaapeleiden tyyppin tunnistamista. Usein kuitenkin lämmityskäyttöön ei tarvita tunnusvärejä. [15.]

### Polymeerieristeiset lämmityskaapelit

Raychem XPI -sarjan lämmityskaapelit on kehitetty räjähdysvaarallisten tilojen saatto- lämmityksiin. Niiden käyttökohteita ovat pitkien putkistojen sulanapito- ja ylläpitolämmitykset. Niiden rakenne on kuten muillakin vakiotehokaapeleilla, mutta vaipan ja eristeen materiaalina käytetään polymeeriä (kuva 3).



Kuva 3. XPI -kaapelin rakenne [16].

XPI-sarjaan kuuluvat XPI-, XPI-F- ja XPI-S -kaapelit. Sarjan kaapelit eroavat toisistaan lämpötilakestoisuudessa ja iskunkestävyydessä (taulukko 2). XPI-F -kaapeli on tarkoitettu kohteisiin, jossa on alhaisempi lämpötilavaatimus. XPI-S -kaapeli on kohteisiin, joissa vaaditaan suuren lämpötilakestoisuuden lisäksi suurempaa iskunkestävyyttä. Kuvas-  
vassa 4 lämpötilasarakkeen ensimmäinen luku tarkoittaa jatkuvaa kestoisuutta ja jälkimäinen luku hetkellistä altistusta.

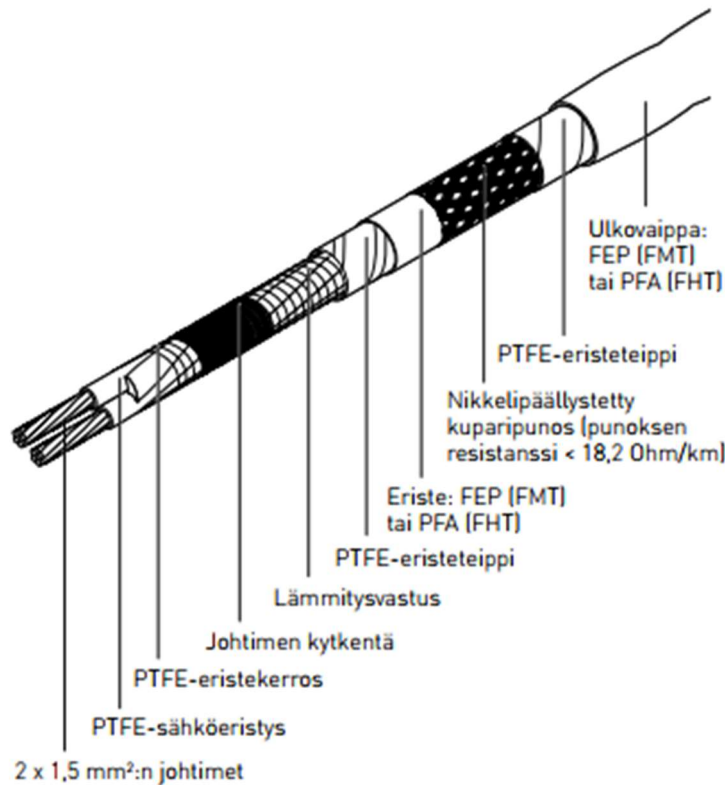
Taulukko 2. XPI-sarjan kaapelit [17].

XPI-sarja	Lämpötila	Tilat	Iskunkestävyys
XPI-F	90°C/100°C	Normaalit ja räjähdysvaaralliset tilat	4J
XPI	260°C/300°C		4J
XPI-S	260°C/300°C		7J

Polymeerieristeisten vakiovastuskaapeleiden edut metallieristeisiin kaapeleihin verrattuna ovat hyvä asennettavuus ja joustavuus. Kaapelia on huomattavasti helpompi taittaa ja lisäksi sen päättäminen ja jatkaminen on helpompaa. Kaapeli on myös metallivaipasta kaapelia halvempaa ja asennuskustannukset pienempiä. [18.]

### 2.3 Vakiotehokaapelit

Vakiotehokaapelit eli rinnakkaisresistanssikaapelit ovat vakiotehoisia pituusyksikköä kohden. Eristettyjen äärijohtimien ympärille on kiedottu vastuslanka, joka koskettaa vuorotellen äärijohtimia noin metrin välein (kuva 4). Lämmityskaapelissa voi myös olla äärijohtimien välissä johdin, joka on paljas tietyin välein vuorottaisilta puolilta. Näistä paljaista kohdista johdin koskettaa äärijohtimia. Vakiotehokaapelia voi lyhentää vain merkityistä katkaisukohtista. Kaapelia voidaan lyhentää niin paljon kuin tarvitaan, sillä kun kaapelin teho on vakio, eikä huomattavan suurikaan lyhentäminen aiheuta koko kaapelin vaihtoa, kuten vakiovastuskaapelilla. [19.]



Kuva 4. FMT/FHT kaapelin rakenne [20].

Vakiotehokaapeleita käytetään lämpötilan ylläpitoon. Vakiotehokaapeli on itserajoittuvaa edullisempaa, mutta vaatii yleensä parempia ohjaus- ja valvontajärjestelmiä. Vakiotehokaapeleilla ei voida toteuttaa hyvin pitkiä saattoja, sillä niiden lämmitysteho pienenee kaapelin loppupäässä jännitehäviön vuoksi. [19.]

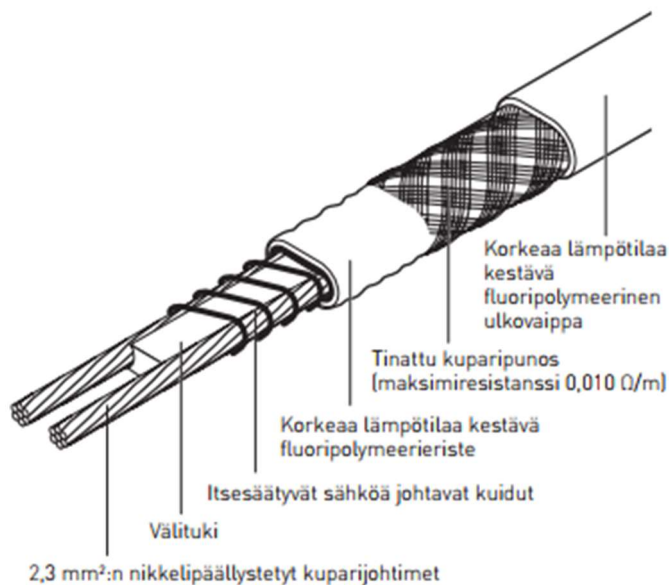
#### Raychem FMT ja FHT

FMT -kaapelit ovat putkien ja laitteiden lämmitykseen tarkoitettuja vakiotehokaapeleita. Niitä voidaan käyttää enintään 150 °C ylläpidossa ja ne kestävät 200 °C altistuksen virrattomana. Kaapeli on rakenteeltaan pyöreä, jolloin se taipuu joka suuntaan ja parantaa kaapelin asennettavuutta. [21.]

FHT -kaapelin käyttökohteita ovat putkien ja laitteistojen saattolämmitykset. Kaapeleita voidaan käyttää 230 °C ylläpidossa ja virrattomana kaapelit kestävät 260 °C altistuksen. Kaapeli on pyöreä, kuten FMT:kin ja niiden välinen ero on ainoastaan eristeenä ja vaippana käytetty materiaali ja siitä johtuvat altistuslämpöjen erot. [22.]

## 2.4 Itsesäätyvät kaapelit

Itsesäätyvä eli itserajoittuva kaapeli toimii johdinten välissä olevan puolijohtavan vastusmateriaalin ansiosta. Vastusmateriaali voi olla myös kierrettynä johtimien ympäri (kuva 5). Vastusmateriaalin resistanssi muuttuu lämpötilan mukana siten, että lämpötilan laskeessa resistanssi pienenee. Pienempi resistanssi saa aikaa suuremman sähkövirran, jolloin lämmitysteho kasvaa. Itserajoittuvan kaapelin metriteho muuttuu ympäristön lämpötilan mukaan ja sillä saattaa olla samaan aikaan useita erilaisia metritehoja, jos osa kaapelista on erilaisessa ympäristössä. Myös itsesäätyvät kaapelit ovat rinnakkaisresistanssikaapeleita. [23.]

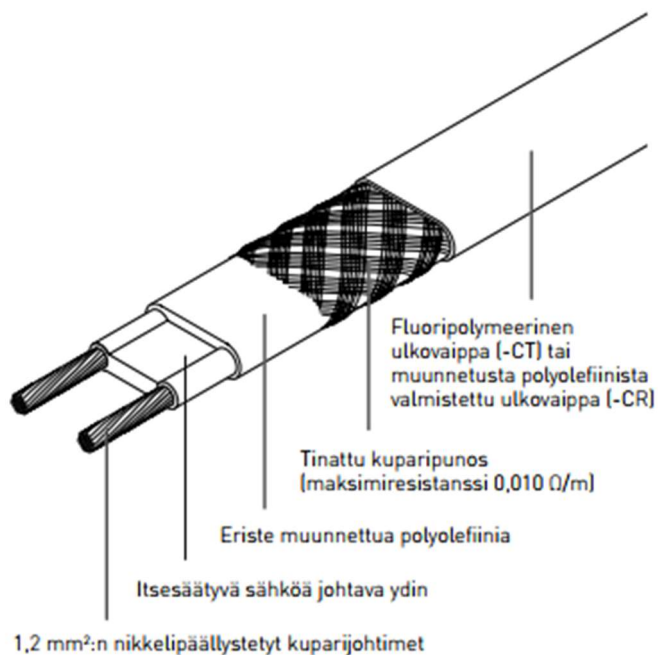


Kuva 5. XTV kaapelin rakenne [24].

Itsesäätyvän kaapelin etuja ovat pintalämpötilan rajoittuminen ilman erillisiä rajoittimia, jolloin se sopii asennettavaksi myös räjähdysvaarallisiin tiloihin. Itsesäätyvä kaapeli soveltuu myös asennettavaksi esimerkiksi putkistoon, joka kulkee osan matkaa erilaisissa olosuhteissa, jolloin tarvitaan useampaa erilaista lämmitystehoa. Itsesäätyvän kaapelin voi katkaista haluttuun mittaan ilman että se vaikuttaa kaapelin metritehoon ja siksi se sopii hyvin myös pieniin lämmityskohteisiin. Itsesäätyviä kaapeleita on saatavilla 250 °C:n lämpötilaan saakka. Hankintahinnaltaan itsesäätyvät kaapelit ovat vakiovastuskaapeleita kalliimpia. Itsesäätyviä kaapelityyppejä ovat muun muassa BTV, KTV, XTV ja FSU. [25.]

## Raychem BTV

BTV kaapelin äärijohtimet on upotettu sähköä johtavaan polymeeriin (kuva 6). Polymeeri supistuu lämpötilan laskiessa, jolloin sähkövirralle muodostuu enemmän kulkureittejä. Kasvanut sähkövirta aiheuttaa lämmitystehon kasvun. [25.]



Kuva 6. BTV kaapelin rakenne [26].

BTV lämpökaapelin käyttökohteita ovat putkien ja säiliöiden sulanapitolämmitykset. Vaippa on fluoripolymeeriä ja eriste muunnettua polyolefiinia. Kaapelin suurin sallittu jatkuva altistuslämpö on 65 °C ja hetkellinen 85 °C. Sallittu altistuslämpö on melko matala, joten se ei sovellu käytettäväksi kohteisiin, joita voidaan höyryttää. [27.]

## Raychem KTV

Myös KTV -lämpökaapelia käytetään putkien ja säiliöiden sulanpitoon. Merkittävin ero BTV -kaapeliin on parempi lämmönkestävyys, joten sitä voidaan käyttää höyrytettäviin kohteisiin. Sen suurin sallittu jatkuva altistuslämpö on 150 °C ja hetkellinen 250 °C. Vaipan ja eristeen materiaali on fluoripolymeeri. KTV -lämpökaapelilla on myös hyväksyntä laiva- ja muuhun merikäyttöön.

KTV -kaapelin rakenne on hieman erilainen BTV -kaapeliin verrattuna. Toisin kuin BTV -kaapelissa, lämmitysvastus on kiedottu äärijohtimien ympärille (kuva 5). Lämpötilan las-  
kiessa lämmitysvastuksen resistanssi pienenee ja aiheuttaa sähkövirran kasvun. [28.]

#### Raychem XTV

XTV -lämpökaapelia käytetään putkien ja säiliöiden sulanapitoon ja prosessilämpötilan ylläpitoon. Sen suurin sallittu altistuslämpötila on 120 °C ja hetkellinen 250 °C. Vaippa ja eriste ovat fluoripolymeeriä.

XTV -kaapeli on rakenteeltaan kuten KTV -kaapeli. Niiden ero on räjähdysvaarallisten tilojen hyväksynnässä. XTV -kaapeli on hyväksytty T3 -lämpötilaluokkaan. T3 -lämpötilaluokka tarkoittaa sähkölaitteiden pintalämpötilan rajoittamista alle 200 °C:een [29].

#### Heat trace FSU

FSU (FailSafe Ultimo) -kaapelin käyttökohteet ovat kuten edellisessä. Erona muihin suurempi sallittu jatkuva altistuslämpö 200 °C. Kaapelin eristeenä käytetään fluoripolymeeriä. [30]

FSU -kaapelia käytetään, kun tarvitaan suurta lämmitystehoa pienelle alueelle. Nämä piirit ovat usein suuren lämpötilan ylläpitoa. Jalostamolla kuitenkin pintalämpötila on rajoitettava T3 -luokan mukaan 200 °C:een. 200 °C:n lämpötilassa kaapelin teho on lähellä nollaa, eikä se riitä nostamaan kaapelin pintalämpötilaa. [8.]

## 2.5 Kaapelin valinta

Saattolämmityskaapelin valintaan vaikuttaa monta tekijää. Merkittäviä tekijöitä ovat esimerkiksi käyttökohteen lämpötila, tehontarve ja käyttökohteen kemikaalit. Kaapelin valinnassa pyritään kustannustehokkaaseen ratkaisuun, mutta turvallisuus ja käytettävyyden asettamat vaatimukset on täytettävä.

Käyttökohteen kemikaalit vaikuttavat kaapelin pintamateriaalin valintaan. Esimerkiksi metallivaippaisia kaapeleita on saatavilla useilla eri metalliseos vaipoilla, joista esimerkiksi alumiini ei sovellu käytettäväksi joidenkin prosessiaineiden kanssa ja sen mekaaninen kestävyys on muita metalliseoksia huonompi. [8.]

Kaapelin valintaan vaikuttaa saatettavan kohteen lämpötila ja ympäristön lämpötila. Eri kaapelimateriaalit sietävät korkeita lämpötiloja eri tavoin. Normaalin lämpötilan lisäksi suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös poikkeustilanteet. Putkistoa tai säiliötä saataan esimerkiksi höyryttää. Sähkölämmityskaapelin on kestävä niiden aiheuttama lämpö virta katkaistuna. [8.]

Lämmityspiirin pituus vaikuttaa kaapelin valintaan. Itserajoittuvan kaapelin maksimipituuden ylityksessä on käytettävä vakiovastuskaapelia. Käytännössä kuitenkin jo tätä lyhyemmät kaapeloinnit voi olla kannattavampaa toteuttaa vakiovastuskaapelilla ja sitä ohjaavalla järjestelmällä itserajoittuvan kaapelin huomattavasti kalliimman hinnan vuoksi. [8.]

Kaapelin valinnassa tärkeintä on prosessin toiminnan turvaaminen. Valinnassa pyritään aina kustannustehokkaaseen ratkaisuun ja siksi olosuhteet on otettava mahdollisimman hyvin huomioon. Mitä enemmän kuumuutta ja kemikaaleja kaapelin tulee kestää, sitä enemmän kaapeli yleensä maksaa. Kaapeleita ei kannata turhaan ylimitoitaa, koska lämpötilakestoisuuden kasvaessa niiden kustannukset nousevat ja asennettavuus huononee. Mitoituksessa on kuitenkin oltava pieni ylimitoitus eli varmuuskerroin, jotta saaton toimivuus on varmistettu.

## 2.6 Sähkölämmityksen tehonsäätö

Saattolämmityksiä käytetään useisiin erilaisiin kohteisiin. Erilaisiin käyttötarkoituksiin on myös erilaisia tehonsäätötapoja. Säättötavat ja tekniset ratkaisut riippuvat käyttökohteesta ja käytettävästä lämmityskaapelista.

Piireissä käytetään lämpötilan säätöön TC-anturia ja kaapelin suurimman pintalämpötilan rajoittamiseen TL-anturia. TC-anturi mittaa putken tai laitteen lämpötilaa ja TL-anturi kaapelin lämpötilaa. TC-anturille asetellaan ylä ja alarajat ja niiden lisäksi hystereesi.

Hystereesi tarkoittaa arvoa, jonka lämpötila saa poiketa asetelluista. Hystereesinä käytetään yleensä Kilpilahdessa  $\pm 2$  °C:ta. Alarajan ja ylärajan saavuttamisen jälkeen piiri kytkeytyy päälle tai pois päältä.

TL-anturille asetellaan lämpötilaraja, jonka saavuttaessaan lämmityspiiri kytkeytyy pois päältä. TL-anturin tarkoitus on rajoittaa lämmityskaapelin pinnan lämpötila turvalliselle tasolle. Itsesäätyvälle kaapelille ei yleensä tarvita TL-anturia, koska itsesäätyvien kaapelien pintalämpötilat rajoittuvat itsestään. Joissain sovelluksissa lämpötilanrajoitusta voidaan tarvita, vaikka kyseessä olisi itsesäätyvä kaapeli.

#### Suora sähkölähtö

Suoralla sähkölähdöllä tarkoitetaan lähtöä, jota ei ohjata millään tavalla. Yleisesti tällaista lähtöä käytetään, kun saaton on oltava jatkuvasti päällä tai ohjattua lähtöä ei ole saatavilla. Lähdössä käytetään johdonsuojakatkaisijaa ja vikavirtasuojaa. Suorissa lähdöissä käytetään itsesäätyvää kaapelia, jolloin lämmitys säätyy ja rajoittuu putken lämpötilan mukaan.

Kilpilahdessa on vielä jäljellä joitain piirejä, joissa ei ole käytetty itsesäätyvää kaapelia. Vakiovastuskaapelilla toteutetut suoran sähkön perässä olevat piirit eivät täytä enää nykyisiä ATEX -vaatimuksia.

#### Päävirtatermostaattilla ohjattu lämmitys

Päävirtatermostaattilla ohjattu lämmitys toimii on-off -periaatteella. Lämmitys on joko päällä 100 %:n teholla, tai ei ole päällä ollenkaan. Termostaattiin asetellaan haluttu lämpötila. Lämpötilan ollessa alle asetellun, lämmitys on päällä ja vastaavasti lämmitys on pois päältä, kun aseteltu lämpötila on saavutettu. Päävirtatermostaatile tulee suora sähkö, jota termostaatti katkoo sen mukaan, pyytääkö anturi lämmitystä päälle vai ei.

Päävirtatermostaattilla ohjattuja sähkölämmityspiirejä ei enää rakenneta Porvoon jalostamolle ilman erillistä tarpeellisuusselvitystä. Syynä tähän on päävirtatermostaattien huono valvottavuus. Uusilla elektronisilla termostaateilla saataisiin kyllä kaapeloitua erilaisia hälytyksiä ja valvontaa, mutta tämä ei kannata, kun jalostamolla on käytössä ELSET järjestelmä, joka esitellään seuraavassa luvussa.

## ELSET -ohjattu lämmitys

ELSET on Bilfingerin kehittämä järjestelmä saattolämmitysten valvontaan ja säätöön. ELSET:stä voidaan etälukea hälytykset, asetteluarvot ja esimerkiksi tehdyt kuitaukset ja muutokset (kuva 7). Asetteluarvoja voidaan myös muuttaa tietokoneella etänä. ELSET-järjestelmää käytetään tärkeimpien piirien ohjaamiseen. Järjestelmällä voidaan ohjata jokaista lähtöä erikseen, joten sitä voidaan käyttää, vaikka saman keskuksen lämmitys-lähdöt olisivat hyvin erilaisia. Jokaisessa lähdössä on kontaktori, jota ohjataan antureiden avulla. ELSET piirien etu muihin verrattuna on se, että niiden asetusarvoja voidaan muokata suoraan tietokoneella ja uudet arvot päivittyvät välittömästi. Kaikkia piirejä ei asenneta ELSET:iin, koska ELSET lähdöt ovat huomattavasti kalliimpia muihin verrattuna.

The screenshot shows the ELSET control system interface. At the top left is the Bilfinger logo and user information. The main area displays a list of alarms (Hälytykset) with columns for time, user, room, alarm type, and status. A legend indicates that red rows represent unacknowledged alarms and yellow rows represent acknowledged ones. A search bar and filter options are visible on the left side.

Aika	Käyttäjä	Kaappi	Piiri	Lähtö	Kohde	Hälytys	E/K	Tila	Kommentti
12.04.2018 10:19:14		23	13E758	108F.C.F1	4"P4440	Vikavirtahälytys	23/58	Hälytys	
12.04.2018 10:07:34		49	111E71012.1A	M111+7103F.C.F04	4"WFS501-3A1	Alarajahälytys	49/12	Hälytys	
12.04.2018 09:30:46		40	85R1E74083.1A	M85R1+7405F.E.F19	3"P83279	Alarajahälytys	40/19	Hälytys	
12.04.2018 03:40:56		39	85R1E73217.1A	M85R1+7309F.E.F25	4"P83266	Alarajahälytys	39/25	Hälytys	
11.04.2018 20:39:05		43	85R1E74046.1A	M85R1+7404F.E.F46		Alarajahälytys	43/46	Hälytys	
05.04.2018 23:27:17		85	79E71062.1A	M79+7105F.E.F22	4"P56109	Anturivika	85/62	Hälytys	
05.04.2018 20:56:12		86	79E71062.1A	M79+7105F.E.F22	4"P56109	Anturivika	86/62	Hälytys	
04.04.2018 06:07:31		25	100ESS9	702F.C.F13	8"P4207-1-A1B	Alarajahälytys	25/29	Hälytys	
02.04.2018 16:15:22		85	79E71061.1A	M79+7105F.E.F21	4"/6"P56108	Anturivika	85/61	Hälytys	
09.04.2018 23:33:01	haakapas	23	M13		VANHAN OSAN SÄHKÖSAATOT YHTEISHÄLYTYS	Lisähälytys	23/-	Kuitattu	
04.04.2018 12:10:10	haakapas	89	98E72023.1A	M098+7203F.C.F15	12"P21012	Vikavirtahälytys	89/23	Kuitattu	
04.10.2017 11:03:29	HAVIAERK	87			Varalla	Lisähälytys	87/-	Kuitattu	
04.10.2017 11:03:29	HAVIAERK	87			Varalla	Lisähälytys	87/-	Kuitattu	
04.10.2017 11:03:29	HAVIAERK	87			Varalla	Lisähälytys	87/-	Kuitattu	
23.01.2018 13:02:36	CAVERKL	73	130E7089.1-7096.1	M130+706F.D.F122	130E7089..130E7096 Erukoje asento	Lisähälytys	73/-	Kuitattu	
26.01.2018 14:59:41	CAVERKL	73	130E7089.1-7096.1	M130+706F.D.F122	130E7089..130E7096 Erukoje sulakevahti/ohjauksjännite automaatti	Lisähälytys	73/-	Kuitattu	
02.09.2016 12:19:00	HAVIAERK	33	79E509.1-12	79E509	Vikavirta lauennut, kentällä	Lisähälytys	33/-	Kuitattu	

Kuva 7. ELSET järjestelmä.

ELSET piireille voidaan myös asettaa lisähälytyksiä. Tällaisia ovat esimerkiksi vikavirtahälytys ja erilaiset varoitukset, jotka eivät kytke piiriä päälle tai pois. Varoituksia asetellaan yleensä lähelle ylä- ja alarajaa, jolloin ehditään tekemään korjaavat toimenpiteet ajoissa.

ELSET -järjestelmällä on ATEX-sertifiointi, joten se soveltuu kaikkien Kilpilahden sähkösaattopiirien ohjaukseen.

### Tyristorihjattu lämmitys

Tyristorihjausta käytetään lähinnä sulanapitolämmityksessä. Lämmityspiirien tehoja ei säädetä piirikohtaisesti, vaan tyristorisäädin ohjaa koko lämmityskeskusta. Lämmityskeskuksessa on jokaiselle piirille omat johdonsuojat ja vikavirtasuoja, jotta yksittäisen piirin vika ei katkaise ehjiä piirejä. Yleensä tyristori asetetaan säätämään tehoa ulkolämpötilan mukaan.

Tyristorisäätimellä voidaan ohjata sähkösaattojen lisäksi myös yksittäisiä lämmittäjiä. Esimerkiksi bitumisäiliöiden pohjalämmittäjiä ja sähkölämmönvaihtimia ohjataan tyristorilla. Tyristoria ohjataan automaatiojärjestelmällä, johon ohjaamosta asetellaan haluttu lämpötila, jonka jälkeen tyristori toimii automaattisesti.

## **3 Nykytilanne**

Tällä hetkellä Porvoon jalostamolla on käytössä useita erilaisia tyristoritehonsäätimiä. Niiden tekniikka on vanhaa ja ohjelmointimahdollisuuksia ei juuri ole. Kilpilahdessa on tällä hetkellä kymmeniä tyristorisäätimiä, joista vanhimmat käytössä olevat ovat 80-luvulta (kuva 8).



Kuva 8. Tyristorisäätimen valvonta ja ohjaus.

Käytössä olevassa järjestelmässä ei ole etäohjausmahdollisuutta. Vikatilanteista tulee hälytys valvontajärjestelmään ja valvontajärjestelmästä voidaan lukea hälytykset etänä, mutta virta- ja jännitetietoja ei järjestelmästä näe. Muuntamon hälytystauluun tulee piiri-kohtaisesti hälytykset, mutta taulusta menee vain yhteishälytys ohjaamoon. Yhteishälytyksestä ei käy ilmi, mikä piiri on viallinen. Virta ja jännitetiedot ovat luettavissa keskuk- sen oven mittareista. Tyristorilta mitataan jännite ja kaikille kolmelle vaiheelle on oma virranmittaus. Itse tyristorisäätimen ohjauspaneelissa näkyy ulkolämpötila, teho ja läm- pötila-asettelut.

Kilpilahden jalostamo on laajentunut paljon historiansa aikana. Laajennuksissa on ra- kennettu uusia järjestelmiä, jotka on toteutettu uudemmallalla tekniikalla. Jalostamolla on

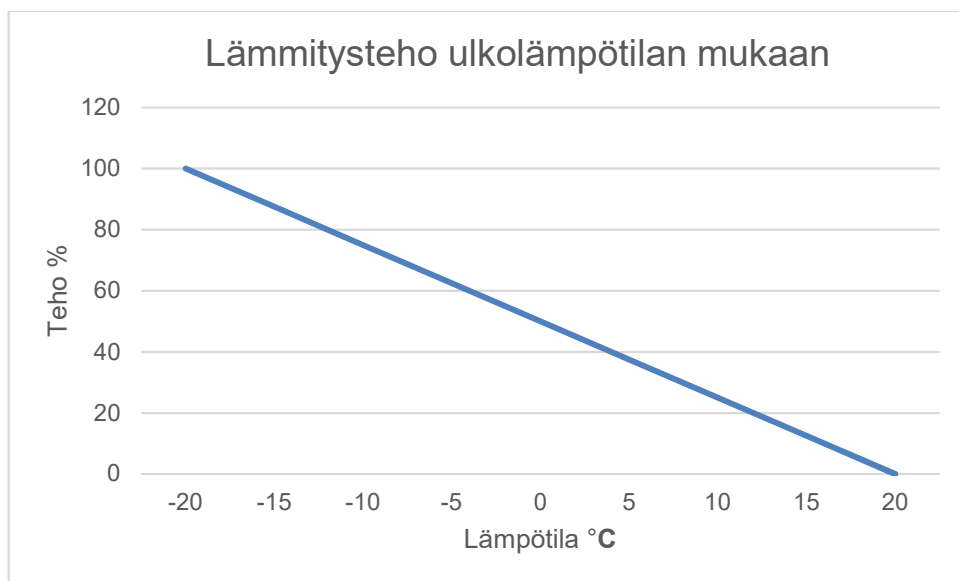
käytössä myös uusia tyristorisäätimiä, joita ei ole vielä pitkään aikaan tarvetta uusina (kuva 9). Kuvan tyristorisäädin on mahdollista liittää Ethernet -verkkoon, jolloin siihen saisi etäohjauksen.



Kuva 9. Osa tyristorikeskusta Kilpilahdessa.

Kuvassa 9 näkyy tyristorisäätimen lisäksi ohitusyöttö, jonka kautta sähkösaatot saadaan suoran sähkön perään tarvittaessa. Ohitusyöttö mahdollistaa tyristorin huollon tai vaihdon kylmienkin ilmojen aikana, ilman että lämmitykset ovat poissa käytöstä.

Tyristoritehonsäätimet säätävät tehoa ulkolämpötilan mukaan. Niihin tarvitsee vain asettaa lämpötilat, jossa teho on 100 %, ja lämpötila, jossa teho on 0 %. Näiden lämpötilojen välillä säätö tapahtuu lineaarisesti. Vanhimmissa tyristorikeskuksissa ei ole hidastustoimintoa ja sen vuoksi niitä käydään manuaalisesti kääntämässä täydelle teholle, kun sääennuste lupaa nopeasti lauhtuvaa tai hyvin kylmää säätä. Porvoon jalostamolla käytetään täyden tehon lämpötilana  $-20\text{ °C}$  ja nollatehon lämpötilana  $+20\text{ °C}$  (kuva 10). Lineaarisen säädön vuoksi saattoja joudutaan pitämään päällä, vaikka ulkona olisi lämmin, jotta lähellä nollaa astetta lämmitykset olisivat riittävällä teholla.



Kuva 10. Porvoo tyristorisäätimen lineaarinen ohjaus.

Jäätymisongelmia ilmenee etenkin talvella sään lauhtuessa. Tyristoritehonsäätimen ulkolämpötila-anturi on yleensä muuntamon seinässä ja putkistot kulkevat prosessialueella. Ulkoanturin sijainnista johtuen lämpötila voi poiketa todellisesta. Kun ulkona lämpötila muuttuu nopeasti, lämmitettävä kohde ei muuta lämpötilaa samassa tahdissa. Prosessialueella on paljon betoni- ja metallirakenteita, jotka eivät lämpene yhtä nopeasti kuin ilma. Lämpötilan lauhtuessa tyristoritehonsäädin pudottaa tehoa, jolloin rakenteista hohkaava kylmä saattaa jäädyttää putken. Uudemmissa järjestelmissä muuntamon seinällä sijaitsevan anturin lisäksi käytetään prosessialueelle sijoitettavaa anturia. Anturi porataan betonirakenteen sisään, jotta tiedetään rakenteiden lämpötila. Antureiden arvoja vertaillaan ja tehon määräytyy kylmemmän lämpötilan mukaan.

## Tyristorihjaus

Tyristoritehonsäätimen säätö perustuu nollapisteohjaukseen. Nollapisteohjauksessa tyristorit voidaan kytkeä vain jännitteen nollakohdissa. Nollapisteohjausta käytetään, koska nollakohdissa kytkeminen ei aiheuta sähköisiä häiriöitä. Tehoa säädetään siten, että tyristori johtaa vain osan valitusta ajasta. Täydellä teholla tyristori johtaa koko ajan ja vastaavasti nollateholla tyristorit eivät johda ollenkaan. Jakson ajaksi voidaan valita 1 tai 10 s. Sekunnin jaksolla 70%:n teholla tyristori johtaa 0,7 s ja vastaavasti jos valitaan ajaksi 10s, 70% teholla tyristori johtaa 7 sekuntia. Porvoon jalostamolla käytetään jakson aikana yhtä sekuntia.

Tyristorit aiheuttavat verkkoon yliaaltoja. Tyristorin kytkeytymisen lisäksi myös epälineaarinen kuorma aiheuttaa yliaaltoja. Epälineaarinen kuorma aiheuttaa virran säröytymisen, joka puolestaan aiheuttaa myös jännitteen säröytymisen. Koska sähkölämmityspiirit ovat pääasiassa yksivaiheisia, ei vaiheiden kuormat ole välttämättä yhtä suuret. Siksi lämmityspiirejä pyritään jakamaan tasaisesti kaikille vaiheille, mutta piirien pituuksien vaihtelun vuoksi se on hankalaa. [31.]

Yliaallot voivat aiheuttaa ongelmia verkon muissa laitteissa. Standardin SFS-EN 50160 mukaan kokonaissärö THD (Total Harmonic Distortion) täytyy olla  $\leq 8\%$ . Yliaallot voivat esimerkiksi aiheuttaa laitteiden ylikuumentumista, tietokoneet voivat kaatua ja katkaisijat lauetta. Teollisuudessa nämä saattavat aiheuttaa prosessihäiriön, joka voi tarkoittaa taloudellisia tappioita tai vaaratilanteita. Kilpilahden teollisuusalueella pienetkin katkot voivat aiheuttavaa suuria taloudellisia tappioita. [32.]

Kolmella jaolliset yliaallot summautuvat nollajohtimeen. Symmetrisessä kolmivaiheisessa kuormituksessa nollajohtimessa ei kulje virtaa. Jos kuormitus on epälineaarista, syntyy yliaaltoja, joista kolmella jaolliset summautuvat nollajohtimeen aiheuttaen sen kuormittumisen. Tällöin yliaaltovirta saattaa aiheuttaa nollajohtimen kuumentumisen ja tulipaloriskin. Nollajohdin saattaa sulaa poikki virran vaikutuksesta. Katkennut nollajohdin aiheuttaa yksivaiheisten kuormien jännitteen nousut pääjännitteen suuruiseksi ja tämä saattaa aiheuttaa laitteiden rikkoutumisen. EX-tilojen sähköasennuksissa käytetään 4-napaisia johdonsuojakatkaisijoita, jolloin myös nollajohdin on suojattu ylikuormittumiselta. [33.]

#### 4 ABB DCT880 tyristoriohjain

ABB DCT880 -tyristoriohjain on tarkoitettu resistiivisten, induktiivisten ja infrapunatoimisten lämmittimien tehonsäätöön. Laitteen käyttökohteita ovat esimerkiksi muovin, lasin ja metallin lämpökäsittely, kuivaus, sulatus ja kuumentaminen. Tyristoriohjain mahdollistaa erittäin tarkan lämpötilansäädön, ja siten tehokkaamman lämpöenergian käytön. Laite voidaan liittää automaatioverkkoon, mutta sitä voidaan käyttää myös erillään automaatioverkosta. DCT880:ssa on integroitu kolmivaiheinen virranmittaus ja kuormanoptimointitoiminto, jolla voidaan vähentää huippukuormaa tasapainottamalla rinnakkaisten laitteiden kuormat. Kuorman optimointitoiminto ajoittaa automaattisesti laitteiden virtapiikit eri aikaan. Kuorman optimointitoiminnossa laitteet pitää olla yhteydessä toisiinsa D2D (device-to-device) -linkin kautta. [34.]

DCT880 on saatavilla 20 A – 4200 A virralla ja 110 V – 690 V jännitteellä (kuva 11). Koekäyttöön valitussa asennuspaikassa jännite on 400 V, ja vanhan tyristoritehonsäätimen teho on 100 kW. Sen korvaamiseksi tarvitaan 160 A ja 400 V 3- vaiheinen laite. Valitun testilaitteen teho on 110 kW. [35.]

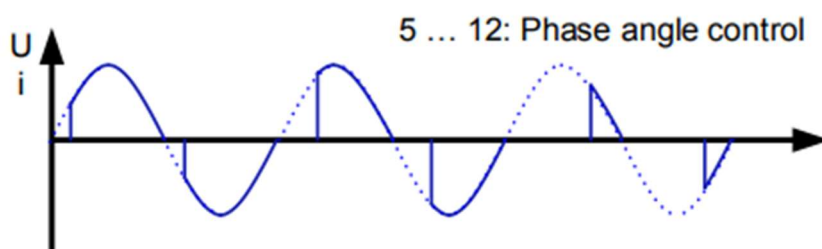


Kuva 11. DCT880 tyristoriohjain [36, s.1].

DCT880 -tyristorihjainta voidaan ohjata eri tavoilla. Ohjaustavat ovat vaiheohjaus, täyden aallon purskeohjaus ja puoliaallon ohjaus. Ohjaustapa riippuu käyttötarkoituksesta ja tarvittavasta säätötarkkuudesta. [35.]

#### 4.1 Vaiheohjaus

Vaiheohjaus tarkoittaa vaihekulman säätöä. Sillä voidaan leikata sekä nousevaa että laskevaa sinimuotoista aaltoa (kuva 12). Teho määrittyy sen mukaan, kuinka monta astetta vaihekulmasta leikataan. [36, s.241.]

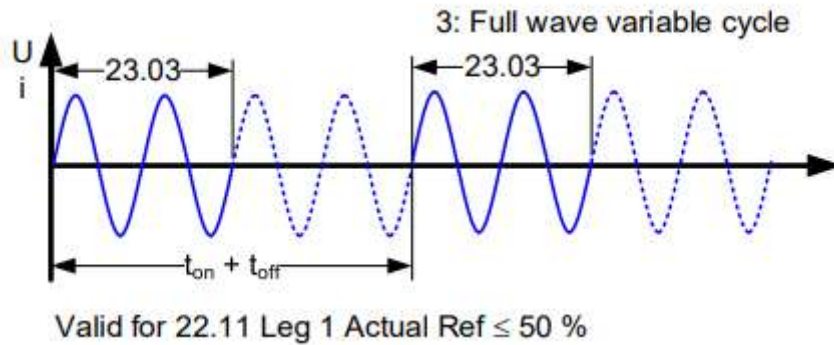


Kuva 12. Vaiheohjaus [36 s.241].

Leikkaavalla säädöllä päästään haluttuun tehoon, mutta tämä säätötapa ei tule kyseeseen sen aiheuttamien sähköisten häiriöiden vuoksi. Lisäksi leikkaava säätö on kielletty Nesteen spesifikaatio N108:ssa. [37.]

#### 4.2 Täyden aallon purskeohjaus

Täyden aallon purskeohjauksessa tehon säätö tapahtuu täysiä jaksoja leikkaamalla (kuva 13). Verkkovirrassa sekunnissa jaksoja on 50, joten esimerkiksi 80 %:n teho tarkoittaisi siis, että 10 jaksoa leikataan ja 40 jätetään leikkaamatta. Täysiä aaltoja leikatessa tyristori kytkeytyy jännitteen nollakohdissa (nollapisteohjaus).

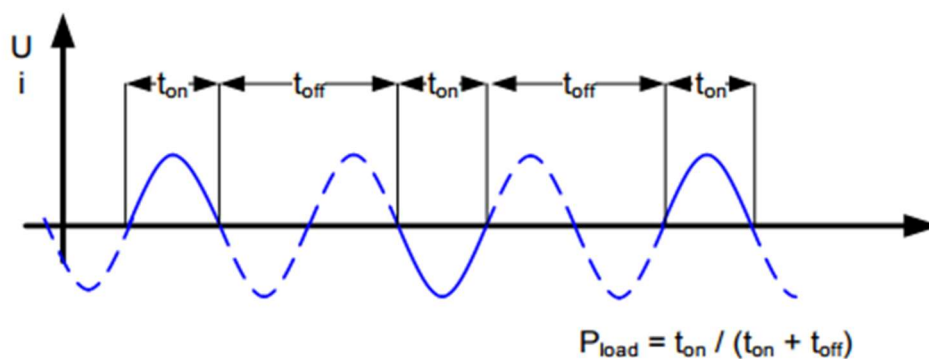


Kuva 13. Täyden aallon purskeohjaus [36 s.240].

Ohjauksen voi toteuttaa kuvassa 13 esitetyllä tavalla (teho 50 %) tai vaihtoehtoisesti toistamalla kaikki jaksot 0,5 s:n ajan ja leikkaamalla kaikki jaksot 0,5 s:n ajan. Kummal-lakin tavalla tehoksi saadaan 50 %.

#### 4.3 Puoliaallon ohjaus

Puoliaallon ohjaus toimii kuten täyden aallon purskeohjaus, mutta täyden aallon sijaan ohjataan puolikasta aaltoa (kuva 14). Käytännössä siis puolikkaita aaltoja voidaan leikata pois. Puoliaallon ohjaus on suunniteltu infrapuna- tai ultraviolettilampuille. Teho määrit-tyy päällä olevien puolijaksojen suhteesta kaikkiin puolijaksoihin. Puoliaallon ohjaus on täyden aallon purskeohjausta tarkempi säätötapa ja siinä on pienempi reaktioaika. [36 s. 240.]



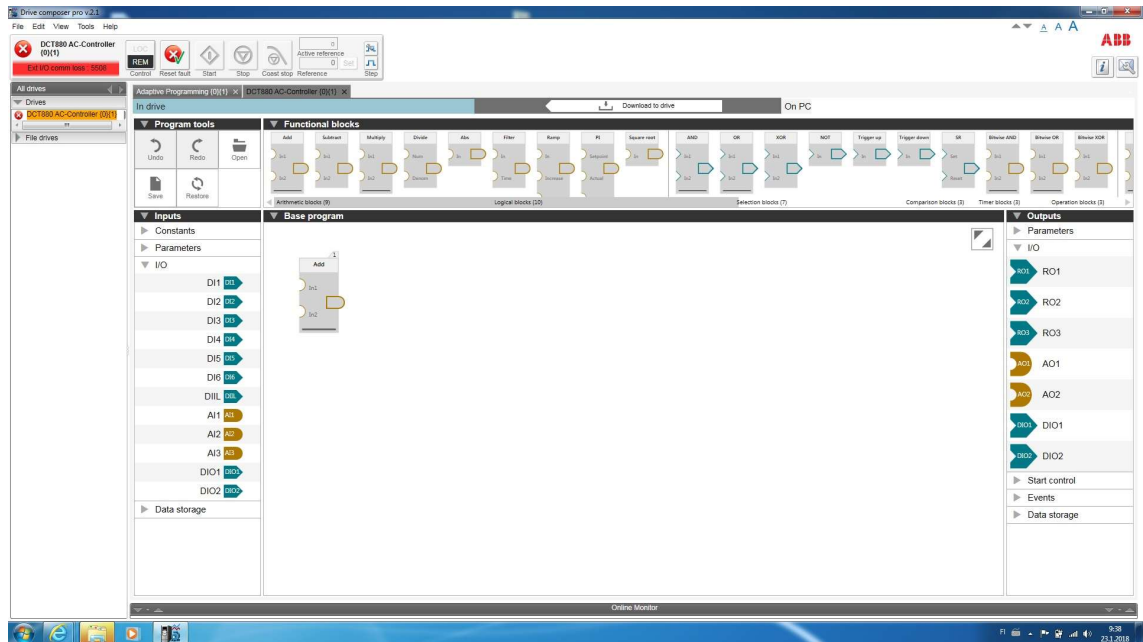
Kuva 14. Puoliaallon ohjaus [36 s.241].

Puoliaallon ohjauksessa tyristorit kytkeytyvät jännitteen nollakohdissa, joten se soveltuisi käytettäväksi tässä työssä. Sulanapitolämmityksessä ei kuitenkaan tarvita hyvin tarkkaa ja nopeaa lämpötilan säätöä, joten täyden aallon purskeohjaus on tähän työhönärkevin ohjaustapa.

#### 4.4 Drive Composer

ABB:n Drive Composer on käyttöönotto- ja monitorointityökalu, jolla ohjataan ja ohjelmoidaan ABB:n taajuusmuuttajia ja tyristorisäätimiä. Sillä voidaan muuttaa taajuusmuuttajan tai tyristoriohjaimen parametreja ja kerätä haluttuja arvoja. Ohjelmasta on ilmainen Entry -versio ja maksullinen Pro-versio. Entry-versiolla voi muuttaa parametreja ja suorittaa perustason valvontaa, sekä ohjata taajuusmuuttajaa paikallisesti PC:llä. Ohjelman avulla voi myös tallentaa parametrit laitteesta PC:lle tai ladata parametrit PC:ltä laitteelle. Pro-versiolla voi käsitellä useita taajuusmuuttajia samanaikaisesti Ethernetin välityksellä. [38.]

Drive Composerilla adaptiivinen ohjelma tehdään Function Block -tyyppisesti (kuva 15). Adaptiivinen ohjelma mahdollistaa vapaamman ohjelmoinnin, kuin pelkkien parametrien avulla toteutettu. Function Block -ohjelmoinnissa toimilohkot raahataan valikosta ja sitten niitä yhdistetään halutussa järjestyksessä peräkkäin. Toimilohkoissa on valmiina toimintoja, joiden avulla parametreja voidaan esimerkiksi verrata, summata tai vähentää. Tämentyyppistä ohjelmaa on helppo muokata jälkikäteen tarpeen mukaan.



Kuva 15. Drive composer adaptiivinen ohjelma

Ohjelman avulla taajuusmuuttajasta ja tyristorisäätimestä saadaan ladattua parametrit ja adaptiivinen ohjelma talteen helposti. Laitteilta on hyvä ottaa varmuuskopio, jonka avulla laitteen rikkoutuessa ohjelman saa helposti uuteen laitteeseen ilman uutta ohjelmointia.

#### 4.5 Etäohjaus

DCT880 laitetta on mahdollista ohjata Ethernetin tai kenttäväylän välityksellä. Etäohjaus vaatii erillisen sovellusohjelman, Drive Composer Pron tai laitteen liittämisen automaatioverkkoon. Drive Composerilla laitteen parametreja voidaan tarvittaessa muuttaa ilman paikalla käyntiä. Parametrien muutos voidaan tehdä yksittäiselle laitteelle tai useammalle laitteelle kerralla. Useamman laitteen parametrien muutos voidaan tehdä makron avulla. Parametrien muuttamisen lisäksi laitteita voidaan valvoa etänä. Esimerkiksi viikailmoitukset ja virtatiedot saadaan suoraan päätteelle. [34]

DCT880 voidaan kytkeä moniin eri automaatiojärjestelmiin joka sisäänrakennettujen kenttäväyläliittymien, tai lisävarusteena saatavien kenttäväyläsovitinmoduulien avulla. Tällaisia kenttäväyläprotokollia ovat esimerkiksi CANOpen, EtherNetIP, Modbus TCP, PROFIBUS ja PROFINET. Nämä kenttäväyläyhteydet mahdollistavat tyristorien ja ohjelmistojen sekä muiden laitteiden välisen tiedonsiirron. [34.]

Etäohjausmahdollisuuksilla saavutettaisiin suuria etuja nykyiseen järjestelmään verrattuna. Esimerkiksi jos laitteen voi säätää päätteeltä täydelle teholle pakkasjakson alkaessa, säästetään paljon työaikaa. Tämänhetkinen järjestelmä vaatii paikallisen ohjauksen muuntamolta, ja kun muuntamoita on paljon isolla alueella, kaikkien tyristorisäätimien kääntäminen täydelle teholle vie paljon aikaa.

## 5 Ohjelmointi ja testaussuunnitelma

Työssä käytetään täyden aallon purskeohjausta, joka toimii kuten jalostamalla käytössä olevat tyristoritehonsäätimet. Vaiheohjausta ei voida käyttää leikaavan säädön takia, ja koska säädön ei tarvitse olla todella tarkka ja nopea, täyden aallon purskeohjaus on järkevin säätötapa. Jaksona käytetään yhtä sekuntia ja tyristorit johtavat osan ajasta ulkolämpötilalla ohjatun tehopyynnin mukaan. Ulkolämpötilaa mittaava anturi on muuntamon seinällä.

Testilaitteen ohjelmoinnin toteutti ABB. Ohjelman on tarkoitus toimia siten, että teho määräytyy ulkolämpötilan mukaan. Ohjelmaan on saatava ominaisuus, joka pitää tehopyynnin ennallaan sään lauhtuessa. Nesteen omassa spesifikaatiossa vaaditaan, että viiveen on oltava säädettävissä 0 – 24 h ajanjaksolle. Tällä pyritään siihen, että jäätyksiä ei tapahtuisi sään lauhtuessa, kun ohjain pudottaa lämmitystehoa. Spesifikaatiossa on myös vaatimus, että tyristoritehonsäätimen on toimittava nollapisteohjauksella. Leikkaavaa säätöä ei saa käyttää, ettei yliaaltoja syntyisi. Ohjelmoinnissa pyritään myös saavuttamaan energiansäästöjä. Energiansäästöjä saavutetaan asettelemalla epälineaarinen tehokäyrä. Lineaariseen käyrään verrattuna energiansäästöjä voidaan saavuttaa varsinkin välillä +5 – +20 °C. Ohjelmasta on tarkoitus saada toimiva, eikä sitä pyritä optimoimaan tässä työssä. Optimointi tehdään myöhemmin, kun nähdään, toimiiko laite halutulla tavalla. [37.]

Laite asennetaan myöhemmin koekäyttöön muuntamolle M039. Koekäyttöpaikaksi haluttiin kohde, jossa ei ole suurta lämmityskuormaa ja jossa on vanha tyristorisäädin. Samalla saadaan korvattua yksi vanhoista laitteista uudemmalla. Testikäyttö jatkuu seuraavan talven yli ja siksi tässä insinööriyössä ei käsitellä varsinaista koekäyttöä, vaan pelkästään laitteen toiminnan testausta koekuormalla. Ennen kuin laite voidaan asentaa muuntamolle, sen toiminta on testattava. Testaukset suoritettiin ulkoanturia simuloimalla ja tarkastamalla tehon säädön toiminta.

## 5.1 Adaptiivinen ohjelma

Adaptiivinen ohjelma on toteutettu siten, että se säätää tehoa ulkolämpötilan mukaan. Ulkolämpötilaa mittaa kaksi ulkoanturia, joiden lämpötilaa ohjelma vertaa. Sääto tapahtuu kylmemmän lämpötilan mukaan. Laitteessa on vakiona vain yksi mA -lähtö ja siksi kahden lämpötilan mittaus vaatii FAIO-01 -lisäkortin. Ohjelmaan on lisäksi tehty ramppitoiminto, joka käynnistäessä ja lämpötilan muuttuessa muuttaa tehon 20 s rampilla haluttuun arvoon. Ramppitoiminnolla pienennetään käynnistyksestä ja tehon nopeasta muutoksesta aiheutuvia virtapiikkejä. Ramppi toimii toistamalla yhden jakson, sitten kaksi jaksoa ja niin edelleen, kunnes ollaan halutussa arvossa.

Hidastustoiminto on toteutettu muistipaikkojen avulla. Koska viiveeksi saa asetettua vain yhden ajan, on myös lämpötilan kylmetessä viivettä. Toiminto on kuitenkin toteutettu ohjelmallisesti siten, että jos asetellaan viiveeksi 1 h, lämpötilan lauhtuessa viivettä on 8 h. Ohjelmassa on kahdeksan muistipaikkaa, ja sääto tapahtuu niistä kylmimmän mukaan. Viiveaika määrittää, minkä ajan välein muistipaikka täytetään. Muistipaikat ovat liukuvia, eli uusin menee aina paikalle 1, jolloin paikalla 2 ollut siirtyy paikalle 3 ja niin edelleen. Sähköjen katketessa muistipaikat nollaantuvat ja tehonsääto alkaa seuraamaan ulkolämpötilaa ilman viivettä.

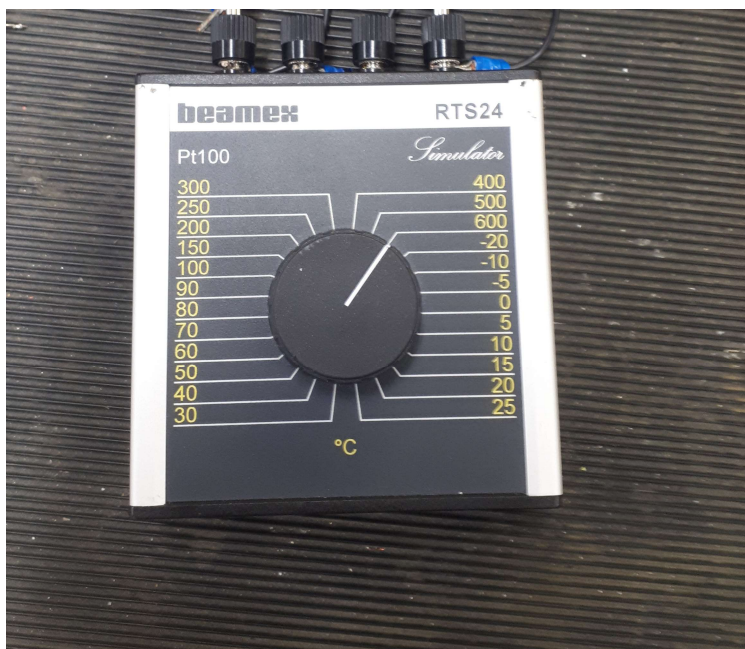
## 5.2 Testaussuunnitelma

Adaptiivisen ohjelman toiminnan varmistamiseksi järjestettiin koekäyttö. Koekäytössä ulkoanturit korvattiin säädettävillä vastuksilla. Sääto vastuksen arvot aseteltiin siten, että ne vastaavat todellisen ulkoanturin arvoja. Testissä pyrittiin varmistamaan, että tyristoriohjaimen antama teho vastaa anturin pyytämää tehoa. Testissä varmistettiin myös laitteen hälytysten toiminta.

### 5.2.1 DCT880 -ohjelman toiminnan testaus

Ohjelman toiminnan testaamisessa halutaan varmistaa ohjelman toimivuus. Ohjelmaa eikä laitetta ole ollut käytössä Nesteellä, joten on varmistuttava laitteen antaman tehon riittävydestä lämpötilaan nähden.

Koekäyttö järjestettiin Kilpilahdessa keskuskorjaamolla. Ulkoanturin toimintaa simuloitiin säädettävällä vastuksella, jolla voidaan muuttaa vastuksen arvo vastaamaan Pt100 -ulkoanturin arvoa tietyssä lämpötilassa (kuva 16). Koekuormana käytettiin kolmea 1-vaiheista lämmitintä.



Kuva 16. Beamex RTS24 Pt100 simulaattori

#### Tehon vastaavuus ulkolämpötilaan

Lämmitystehon riittävyyden varmistamiseksi tehonsäädön toiminta varmistetaan. Tehon vastaavuutta ulkolämpötilaan tarkastellaan säätämällä säätövastusta. Vastus säädetään vastaamaan  $-20\text{ °C}$ :n lämpötilaa ja tarkastetaan, että teho on 100%. Nostetaan lämpötilaa porraskerrallaan ja kirjataan tehot ja virrat ylös kaikissa portaissa  $-20\text{ °C}$ :n ja  $+20\text{ °C}$ :n välillä. Tuloksista piirretään käyrä ja tarkastellaan tehon ja virran muuttumista simuloitun lämpötilan muuttumisen mukaan.

#### Hidastustoiminnon testaus

Ohjelmaan haluttiin hidastustoiminto, jotta teho pysyisi korkeampana hetken ilman alkaessa lämmitä. Varsinkin keväällä lämpötilassa saattaa olla hyvinkin suuri ero päivän ja

yön välillä. Muistipaikat on ohjelmoitu siten, että hidastusajan ollessa säädetty 3 h, lämpötilan laskiessa tehon tulisi nousta 3 tunnin päästä. Toiminta testataan laskemalla lämpötilaa 0:sta asteesta -20 :een ja tarkastamalla, että 3 tunnin kuluttua teho nousee 100%:iin.

Hidastuksen ollessa 3 h, lämpötilan noustessa, hidastustoiminnon tulisi pitää teho vakiona 24 h. Hidastuksen toimivuus tarkastetaan asettamalla lämpötilaksi -20 °C. Lämpötila pudotetaan 0 asteeseen ja tarkastetaan, että tehopyyntö pysyy 24 tuntia 100 prosentissa. Hidastusajan päätyttyä ohjelman pitäisi ajaa 20 sekunnin rampilla teho vastamaan sen hetkistä lämpötilaa, eli 50 prosenttia

#### Käynnistysvirran keston mittaus

Lämmityskaapeli ottaa talvella suuren virran, kun lämmitys laitetaan päälle. Käynnistysvirran kesto aika mitataan, jotta voidaan varmistua rampin olevan riittävän pitkä. Rampin avulla johdonsuojakatkaisija eivät laukea suuren käynnistysvirran aikana. Käynnistysvirran kesto tarkistetaan kytkemällä lämmityskaapeli DCT880:n syöttöön ja mittaamalla käynnistysvirran kesto. Käynnistysvirran keston mukaan ramppia säädetään tarvittaessa pidemmäksi.

#### 5.2.2 Hälytysten toiminnan testaus

Hälytysten toiminta testataan ennen varsinaista asennusta. Koska kyseessä on sulanapitolämmityksiä, on tärkeää saada tieto laitteen vioista. Hälytysten avulla viat päästään korjaamaan ennen putkien jäätymistä.

Hälytysten toimintaa tarkastellaan mahdollisimman laajasti. Hälytyksistä tärkeimmät ovat ainakin syötön alijännitehälytys ja laitteen toiminnan estävät viat. Sisäisistä vioista saadaan yksi hälytys järjestelmään, mutta tarkempi vikakoodi on luettavissa laitteen näytöltä tai PC:ltä. Hälytyksiä on kahdenlaisia: varoitus ja vika. Näistä hälytys ei estä laitteen toimintaa, mutta vika estää. Molemmista hälytyksistä halutaan kuitenkin tieto hälytysjärjestelmään. Vikojen hälytysjärkenä käytetään laitteen relelähtö 3:n avautuvaa koskettinta. Laitteen ollessa toiminnassa kärki sulkeutuu ja on sulkeutuneena, kunnes jokin hälytys aiheuttaa koskettimen avautumisen. Mikä tahansa vika avaa koskettimen ja aiheuttaa hälytyksen. Varoitusten hälytys tulee puolestaan relelähtö 1 sulkeutuvan koskettimen kautta. Mikä tahansa varoitus sulkee koskettimen ja aiheuttaa hälytyksen.

### Syötön alijännitehälytyksen testaaminen

Syötön alijännite voi aiheutua esimerkiksi sulakkeen palamisesta tai syöttävän keskuksen jännitteettömyydestä. Tästä halutaan hälytys, koska lämmityspiirit eivät silloin toimi. Syötön alijännitehälytyksen toiminta testataan katkaisemalla syötöstä jännite. Hälytys tarkastetaan sekä kaikki kolme vaihetta kerralla katkaisemalla, että yksittäinen vaihe katkaisemalla. Jännitteen katkaiseminen simuloi syötön sulakkeen palamista tai syöttävän keskuksen jännitteen katkeamista. Alijännitehälytystä testataan myös pienentämällä säädettävän jännitelähteen jännitettä, kunnes hälytys tulee aktiiviseksi.

### Ylivirta

Ylivirran hälytysraja on säädettävissä. Laitetta ei välttämättä käytetä sen täydellä kapasiteetilla, vaan sen hankinnassa on voitu huomioida mahdolliset tulevat lämmitystarpeet. Ylivirrasta aiheutuva varoitus testataan pienentämällä parametreista kuorman virta-arvoa. Puhaltimia ei voi ylikuormittaa, joten parametria muuttamalla saadaan aiheutettua ”ylivirta” parametrin arvoon verrattuna. Ylivirtahälytyksen raja-arvon ylittyessä NO-koskettimen pitäisi sulkeutua ja aiheuttaa hälytys.

### Apujännitteen alijännite ja katkeaminen

DCT880 tarvitsee 24 V apujännitteen toimiakseen. Apujännitesyöttö on varmennettu akustolla, mutta esimerkiksi pitkässä jännitekatkossa akuston varaus purkaantua. Apujännitteen alijännitehälytyksen toiminta tarkastetaan katkaisemalla apujännitesyöttö ja tutkimalla aiheutuuko viasta hälytys. Apujännitettä myös lasketaan ja tarkastellaan alijännitevaroituksen toiminta.

### Ulkoanturin vikaantuminen

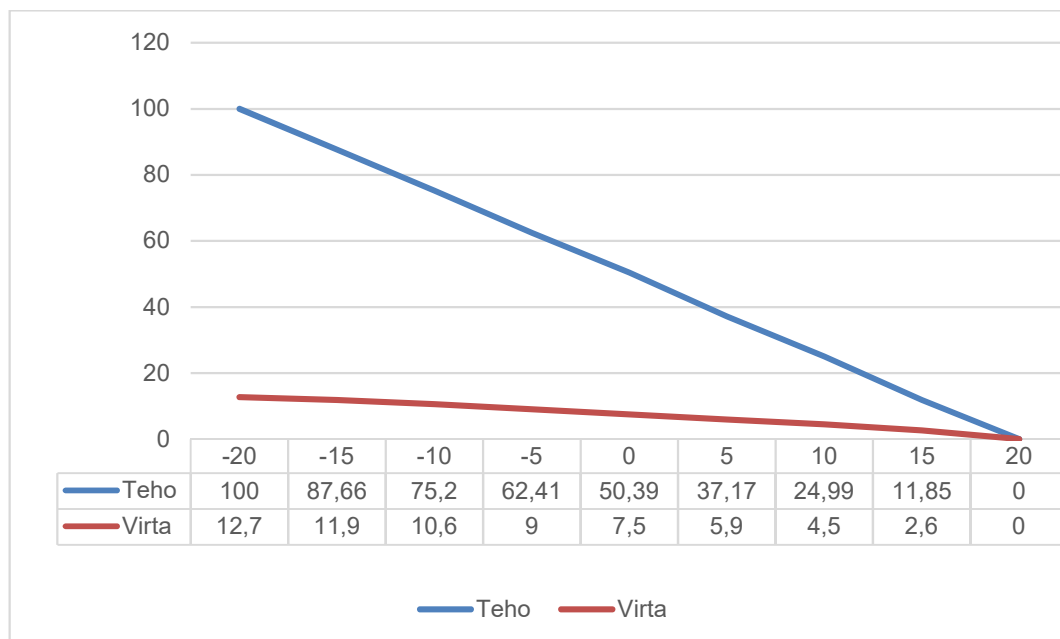
Tyristorihjain säätää tehoa ulkolämpötilan mukaan. Ulkoanturi tai ulkoanturin kaapeli voi vikaantua, ja siksi halutaan tarkastella vikaantumisen vaikutuksia laitteen toiminnalle. Ulkoanturi vikaantumista simuloidaan irrottamalla ulkoanturi laitteen ollessa käytössä. Sulanapitosaattojen kannalta turvallisempi suunta on, että ulkoanturin vikaantuessa teho

on 100 %, eikä 0 %. Ulkoanturi irrotetaan ja tutkitaan, minkälaisen tehon laite antaa koe-kuormalle ilman anturia. Sama testi tehdään uudelleen, mutta molemmat Pt100 anturit irrotetaan samaan aikaan.

## 6 Tulokset

Ensimmäisessä testissä tutkittiin laitteen ohjelman toimintaa ja laitteen teho-ohjeen muuttumista lämpötilamittauksen mukaan. Teho-ohje toimi halutulla tavalla, eli lämpötilan ollessa -20 °C teho-ohje oli 100 % ja lämpötilan ollessa 20 °C teho-ohje oli 0 %.

Teho-ohjeen lisäksi mitattiin koeuorman virran muutosta lämpötilan muuttuessa. Tällä varmistettiin, ettei vain ohjearvo muutu, vaan myös oikeasti kuormalle syötetty teho muuttuu. Mittaustulokset näyttivät laitteen toimivan oikein (kuva 17).



Kuva 17. Tehon ja virran muutos lämpötilan muuttuessa

Hidastustoiminto toimi myös odotetusti. Toimintoa testattiin ensin syöttämällä hidastusajaksi parametriin 47.1 1800 s eli 30 min, jonka jälkeen Pt100 -simulaattorista lämpötila pudotettiin 0:sta -20 °C:een. 30 minuutin kuluttua ohjearvo muuttui ja tyristoriohjain ajoi tehon rampin kautta 100 %:iin. Tämän jälkeen samalla hidastusajalla säätö tehtiin

toisinpäin. Lämpötila nostettiin -20 °C:sta 0:aan. Tällöin hidastustoiminnon johdosta tehon pitäisi pudota 4 h:n päästä 50 %:iin. Hidastus toimi kuten pitikin ja teho putosi neljän tunnin kuluttua. Testi tehtiin uudelleen eri pituisella hidastusajalla. N-108 -spesifikaatio vaatii hidastustoiminnon olevan säädettävissä 0 – 24 h, joten haluttiin varmistaa hidastuksen toiminta myös 24 tunnin ajalla. Tämäkin toimi suunnitellusti.

Hälytysten testaus aloitettiin kokeilemalla, aiheuttaako syöttöjännitteen katkaisu hälytyksen. Syötöstä katkaistiin kaikki kolme vaihetta ja laite antoi alijännitehälytyksen. Hälytys ei poistu itsestään, vaan laite on kuitattava ennen toiminnan jatkumista. Testi toistettiin katkaisemalla syötöstä yksi vaihe kerrallaan. Yhden vaiheen katkeaminen aiheuttaa myös muilla vaiheilla olevien kuormien sammumisen. Hälytys toimi ja avasi hälytyskoskettimen.

Syötön katkeamisen jälkeen tutkittiin alijännitehälytyksen ja -laukaisun rajaa. Syöttökoekuormalle oli otettu säädettävästä jännitelähteestä. Jännitettä pudotettiin hitaasti, kunnes laitteeseen saatiin varoitus. Varoituksen raja-arvo kirjattiin ylös ja jännitteen pudottamista laskettiin, kunnes jännite putosi niin alas, että laitteeseen tuli vikatila. Taulukossa 3 on esitetty nämä jänniterajat. Vikatilat aiheuttavat kuorman syötön katkeamisen laitteelta.

Taulukko 3. Alijännite varoituksen ja laukaisun testaus.

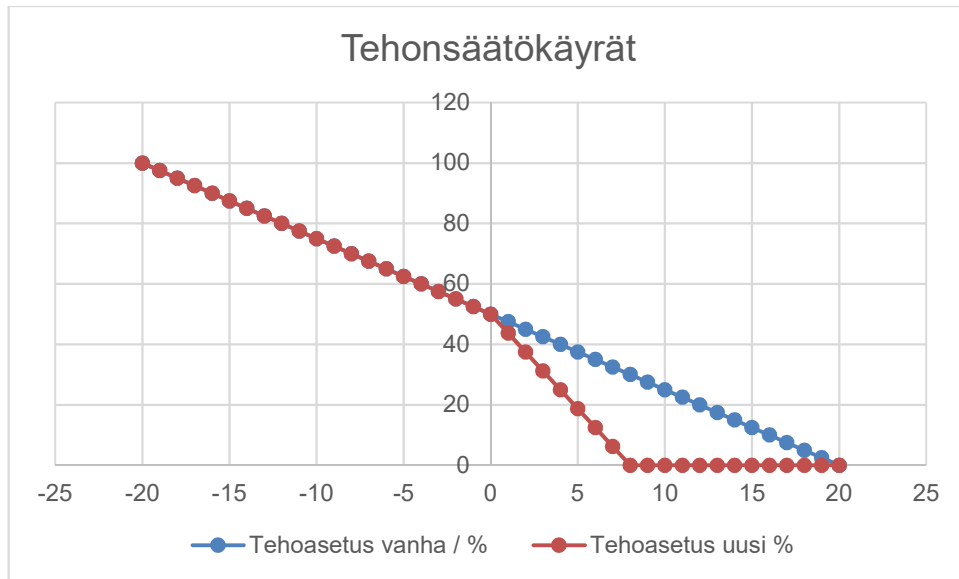
	Varoitus, Raja	Laukaisu, Raja
Syötön alijännite	OK, 363V	OK, 300V

Alijännitevaroituksen ja laukaisun rajat voidaan asettaa. Halutessaan näitä arvoja voi muuttaa mihin tahansa haluamaansa arvoon, mutta valmistaja ei suosittele laukaisun rajan laskemista alle 80 V:n arvoon.

Seuraavaksi tutkittiin apujännitteeseen liittyviä hälytyksiä. Apujännite oli syötetty 0 – 60 VDC säädettävästä jännitelähteestä. Laite tarvitsee toimiakseen 24 VDC apujännitesyötön. Jännitettä alettiin hitaasti laskea, kunnes saadaan varoitus. Varoitusta ei tullut ollenkaan, vaan liian alhainen apujännite aiheutti vikatilan ja kuormien sammumisen. Apujännitteen alijännitelaukaisu tapahtui 21,6 voltin kohdalla.

DCT880 on ohjelmoitu kaksi lämpötilamittausta. Ohjelma vertailee niitä ja teho-ohje tulee kylmemmän lämpötilan mukaan. Laite antaa varoituksen, jos antureiden välinen lämpötilaero on yli 5 °C. Varoitusta tutkittiin säätämällä Pt100 arvot yli 5 asteen eroon. Hälytys toimi kuten pitää, eikä aiheuttanut laukaisua. Lämpötilamittauksesta tutkittiin myös anturin rikkoutumisen vaikutusta. Koska DCT880 tekee lämpötilamittauksen mittaamalla jännitettä vastuksen yli, vastuksen puuttuminen aiheuttaa jännitteeksi 0 V. Jännite menee lähemmäs nollaa, kun vastus pienenee ja Pt100 -vastus pienenee lämpötilan kylmetessä. Tällöin anturin arvoksi laite tulkitsee kylmimmän mahdollisen, eli -20 °C. Yhden tai useamman vastuksen irtoaminen aiheuttaa siis tehon nousemisen 100 %. Jos anturi rikkoutuu niin, että vastus kasvaa yli Pt100 20 °C:tta vastaavan arvon, toinen anturi hoi-  
taa tehonsäädön, koska tehonsäätö tapahtuu kylmemmän mukaan. Yli 5 °C:een erosta saadaan hälytys ja kahden anturin rikkoutuminen samaan aikaan on epätodennäköistä, joten tehonsäätöä voidaan pitää luotettavana.

Tehonsäätökäyrää muokkaamalla voidaan saavuttaa energiansäästöjä. DCT880 säätökäyrä ei tarvitse olla lineaarinen, kuten vanhoissa tyristorisäätimissä, vaan sitä voidaan muokata vapaammin. Tämän hetkissä tyristorisäätimissä lämmitysteho on nolla vasta +20 °C ja sulanapitoa varten teho voitaisiin pudottaa nolnaan jo matalammassa lämpötilassa. Pienikin säästö yksittäisellä säätimellä säästää paljon energiaa, jos vanhoja säätimiä aletaan korvaamaan DCT880:illä. Asetteluja ei voida muuttaa kuitenkaan selvittämättä lämmitettävien kohteiden todellista lämmitystarvetta. Putkissa kulkeva aine saattaa olla niin kylmää, että se tarvitsee lämmitystä, vaikka sää olisi lämmin. Tästä syystä laitetta testataan samoilla asetteluilla kuin nykyisillä säätimillä on. Tehonsäätökäyrää voidaan myöhemmin muokata, jos tarvetta siihen esiintyy (kuva 18).



Kuva 18. Esimerkki mahdollisesta uudesta tehosäätökäyrästä.

Kuvassa 18 tehosäätökäyrä on aseteltu siten, että -20 asteen ja nollan välillä teho on sama kuin nykyissä säätimissä, mutta nollan ja kahdeksan asteen välillä teho laskee lineaarisesti nolnaan. Tehonsäätökäyrän muokkaaminen vaatii myös laitteen adaptiivisen ohjelman muokkaamista. Ohjelman muokkaamisen lisäksi on selvítettävä perusteellisesti, voiko tehosäätökäyrää muokata, vai aiheuttaako muokkaaminen riskin putkiston tai laitteiston toiminnalle.

Taulukossa 4 on esitetty esimerkki mahdollisista energiansäästöistä, joita voitaisiin saavuttaa tehosäätökäyrää muokkaamalla. Lasku on suuntaa antava, sillä tarkkoja lämmitystehoja ei ole saatavilla ja laskennassa on käytetty vuoden keskilämpötilaa.

Taulukko 4. Energiansäästö uudella tehonsäätökäyrällä.

	vanha	uusi
Lämpö / °C	6	6
Tehoasetus / %	35	12,5
Yhteisteho kW	2000	2000
Antoteho	700	250
Energia/vuosi	6 132 000	2 190 000

Jos energian hintana käytetään 50 € / MWh, lämmitysten kokonaistehoksi oletetaan 2 MW, saadaan vuoden keskilämpötilan avulla laskettua energian- ja rahan säästö. Ilmatieteenlaitoksen tilastojen mukaan vuosikeskiarvo 1980 – 2010 Helsingissä oli 5,8 °C. Energiaa säästyisi vuosittain 3 942 000 kWh ja rahaa säästyisi 197 100€.

## 7 Johtopäätökset

Laitteen testaukset onnistuivat ja laite toimii kuten pitää. DCT880 on valmis asennettavaksi oikeaan käyttökohteeseensa. Pidempikestoinen testaus osoittaa, tarvitaanko laitteen ohjelmaan vielä jotain muutoksia, mutta testaukset osoittivat, että laite sopii tähän käyttötarkoitukseen.

Suurimmat DCT880 saavutettavat edut ovat etäkäyttömahdollisuudet. Laite on helppo liittää jalostamon olemassa olevaan Ethernet verkkoon. Tyristorihajaimen tarvitsee vain lisätä Ethernet kenttäväyläsovitin. Ethernetin välityksellä laitteen tilaa voi tarkastella ja muuttaa tarvittaessa parametreja. Laitetta voidaan hallita myös automaatiojärjestelmien kautta. Porvoon jalostamolla prosessiautomaatiojärjestelmissä on esimerkiksi VALMET käytössä. Tyristorihajain voidaan liittää VALMET -järjestelmään ja ohjata sitä kautta. Saattolämmityksillä tähän ei välttämättä ole tarvetta, mutta samalla tyristorihajaimella voidaan myös ohjata sähkökäyttöisiä lämmönvaihtimia. DCT880 löytyy myös VAL-

MET:iin sopiva kenttäväyläadapteri, joten samaa laitetta voi käyttää useisiin erilaisiin sovelluksiin. Jos DCT880 -tyristoriohjainta olisi useammassa kohteessa käytössä, varaosien ja varalaitteiden saanti helpottuisi.

Etäkäyttö säästää myös kunnossapitoasentajien työaikaa muihin kunnossapitotöihin. Tämän hetkisillä laitteilla ei ole etäkäyttöä käytössä. Koviin pakkasiin varaudutaan jalostamolla kiertämällä kaikki tyristoriohjaimet läpi ja laittamalla ne käsiohjauksella 100 %. Kun Drive Composeriin tekee sovellusmakron, kaikkien laitteiden säätö täysille onnistuu muutamalla klikkauksella toimistosta. Käsiohjaukseen ei välttämättä ole silti edes tarvetta, vaikka se onnistuisikin helposti. Hidastustoiminnon voi säätää esimerkiksi 16 h, jolloin kovien yöpakkasten jälkeen teho jää suuremmalle, kuin mitä päivälämpötila vaatisi. Kun Tyristoriohjain seuraavaksi 16 h päästä lukee lämpötilan, on se jo laskenut päivän lämpimimmistä huomattavasti. Tällöin teho putoaa, mutta sään muuttuessa kylmemmäksi tyristoriohjain reagoi 2 h päästä ja säätää tehon taas suuremmalle.

Kehitettävääkin ohjelmaan vielä jäi. Syötön yli ja -alijännite aiheuttaa laitteen laukeamisen ja vika on kuitattava kuitauspainikkeella tai Drive Composerin kautta PC:ltä. Vian voisi ohjelmoida itsestään kuitautuvaksi, jotta lämmitykset menisivät takaisin päälle sähköverkon jännitepiikin tai -kuopan jälkeen. Tämä ominaisuus ei kuitenkaan ole välttämätön saada ennen muuntamolle asennusta, sillä laite antaa hälytyksen, kun ei ole toiminnassa. Hälytyksen perusteella laite osataan käydä kuittaamassa heti, eikä jäätymistä ehdi tapahtua.

DCT880:n asentaminen vanhojen tyristorisäätimien tilalle ei välttämättä onnistu ilman kojeiston muutoksia. DCT880 on kooltaan suurempi, mutta ainakin koekäyttöpaikalla laite mahtuu kojeiston sisään. Lisäksi laitteessa on puhallin, joka jäähdyttää komponentteja. Laitteen sulkeminen kojeiston sisään ei jäähdytystä ajatellen ole hyvä ratkaisu, tai ainakin ilmanvaihdon toimivuus on varmistettava. DCT880 voidaan asentaa joko seinälle tai erilliseen kaappiin, josta kaapeloidaan syöttö lämmityslähdöille. Vanhoja tyristoreita korvatessa DCT880:llä tilantarve voi kasvaa. Täysin uusissa asennuksissa laitteen tarvitsema tila voidaan huomioida etukäteen, jolloin laite ei vie muita tyristorisäätimiä enempää tilaa.

Hinnaltaan ABB DCT880 -tyristoriohjain on erittäin kilpailukykyinen. Kilpailukykyisen hinnan lisäksi mahdolliset energiansäästöt ovat DCT880:n etuna hankintoja suunniteltaessa.

## Lähteet

- 1 Neste tietoa meistä, juuremme. 2017. Verkkoaineisto. Neste.  
<https://www.neste.com/fi/fi/konserni/tietoa-meist%C3%A4/juuremme>. Luettu 23.10.2017.
- 2 Neste tietoa meistä, tuotanto. 2017. Verkkoaineisto. Neste.  
<https://www.neste.com/fi/fi/konserni/tietoa-meist%C3%A4/tuotanto>. Luettu 23.10.2017.
- 3 Neste öljytuotteet. 2017. Verkkoaineisto. Neste.  
<https://www.neste.com/fi/fi/node/1697>. Luettu 23.10.2017.
- 4 Neste tietoa meistä, uusiutuvat tuotteet. 2017. Verkkoaineisto. Neste.  
<https://www.neste.com/fi/fi/konserni/tietoa-meist%C3%A4/liiketoiminta-alueet/uusiutuvat-tuotteet>. Luettu 23.10.2017.
- 5 Neste tietoa meistä, tuotanto. Verkkodokumentti. Neste. Luettu 23.10.2017.  
<https://www.neste.com/fi/fi/konserni/tietoa-meist%C3%A4/tuotanto/jalostamot-suomessa/porvoo>
- 6 Kilpilahden teollisuusalueen kuva. 2017. Verkkoaineisto. Kilpilahden yritykset.  
[https://www.kilpilahti.fi/wp-content/uploads/2014/10/Kilpilahti-kartta\\_map\\_07\\_10.jpg](https://www.kilpilahti.fi/wp-content/uploads/2014/10/Kilpilahti-kartta_map_07_10.jpg). Luettu 23.10.2017.
- 7 Tuotteet saattolämmityksen anturointiin ja kaapelointiin. 2017. Verkkoaineisto. SKS Group. [http://www.sks.fi/www/\\_uutinen-saatto](http://www.sks.fi/www/_uutinen-saatto). Luettu 25.10.2017.
- 8 WI367 Rev 3. Sähkösaattojen suunnitteluohje. Neste Engineering Solutions. Julkaistu 9.12.2016
- 9 SFS-EN 60079-14:2015 + AC:2016. Räjähdyksivaaralliset tilat. Osa 14: Sähköasennusten suunnittelu, laitevalinta ja asentaminen. Julkaistu 6.9.2016.
- 10 Komponentit ATEX -tiloihin. 2018. Verkkoaineisto. SKS Automaatio.  
[http://www.sks.fi/www/sivut/8C9C30983829D96FC2257B6A002D7A03/\\$FILE/Komponentit\\_ATEX-tiloihin\\_1122490\\_07.pdf](http://www.sks.fi/www/sivut/8C9C30983829D96FC2257B6A002D7A03/$FILE/Komponentit_ATEX-tiloihin_1122490_07.pdf). Luettu 22.3.2018.
- 11 Lämmityskaapelit. 2017. Verkkoaineisto. Ensto.  
<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojakset/0705016/1195454056021/5tsDFtExQ/5tsDFvbuW/5tsDFz94K.html>. Luettu 7.12.2017.
- 12 Kaapelit: lämmönkestävät. Verkkoaineisto. SKS Group.  
[http://www.sks.fi/www/\\_kaapelit-lammonkestavat&id=kaapelit-tulenkestava](http://www.sks.fi/www/_kaapelit-lammonkestavat&id=kaapelit-tulenkestava). Luettu 12.12.2017.

- 13 Tuotteet: lämpökaapelit. 2017. Verkkoaineisto. Pentair. [https://www.pentairthermal.fi/Images/FI-PyrotenaxHDFHDC-DS-DOC2210\\_tcm488-27330.pdf](https://www.pentairthermal.fi/Images/FI-PyrotenaxHDFHDC-DS-DOC2210_tcm488-27330.pdf). Luettu 27.12.2017.
- 14 Tuotteet: lämpökaapelit. 2017. Verkkoaineisto. Pentair. <https://www.pentairthermal.fi/products/heating-cables/series-mineral-insulated/index.aspx?seg=industrial>. Luettu 27.12.2017.
- 15 Tuotteet: lämpökaapelit. 2017. Verkkoaineisto. Pentair. [https://www.pentairthermal.fi/Images/FI-PyrotenaxHCHHCC-DS-DOC2210\\_tcm488-27329.pdf](https://www.pentairthermal.fi/Images/FI-PyrotenaxHCHHCC-DS-DOC2210_tcm488-27329.pdf). Luettu 27.12.2017.
- 16 Tuotteet: lämpökaapelit. 2017. Verkkoaineisto. Pentair. [https://www.pentairthermal.fi/Images/FI-HEWOTHERMXPI-DS-DOC2210\\_tcm488-27324.pdf](https://www.pentairthermal.fi/Images/FI-HEWOTHERMXPI-DS-DOC2210_tcm488-27324.pdf). Luettu 27.12.2017.
- 17 Tuotteet: lämpökaapelit. 2017. Verkkoaineisto. Pentair. <https://www.pentairthermal.fi/products/heating-cables/series-polymer-insulated/index.aspx?seg=industrial>. Luettu 27.12.2017.
- 18 Tuotteet: lämpökaapelit. 2017. Verkkoaineisto. Pentair. <https://www.pentairthermal.fi/products/heating-cables/series-polymer-insulated/index.aspx?id=tcm:488-23891&catid=tcm:488-17787-1024>. Luettu 14.12.2017.
- 19 Liikenne- ja yleisten alueiden sulanapitojärjestelmät. Verkkoaineisto. VTT. <http://docplayer.fi/5899735-V-t-t-i-e-d-o-t-t-e-i-t-a.html>. Luettu 14.12.2017.
- 20 Tuotteet: lämpökaapelit. 2017. Verkkoaineisto. Pentair. [https://www.pentairthermal.fi/Images/FI-RaychemFMTFHT-DS-DOC2210\\_tcm488-35939.pdf](https://www.pentairthermal.fi/Images/FI-RaychemFMTFHT-DS-DOC2210_tcm488-35939.pdf). Luettu 27.12.2017.
- 21 Tuotteet: lämpökaapelit. 2017. Verkkoaineisto. Pentair. [https://www.pentairthermal.fi/Images/FI-RaychemFMTFHT-DS-DOC2210\\_tcm488-35939.pdf](https://www.pentairthermal.fi/Images/FI-RaychemFMTFHT-DS-DOC2210_tcm488-35939.pdf). Luettu 14.12.2017.
- 22 Tuotteet: lämpökaapelit. 2017. Verkkoaineisto. Pentair. [https://www.pentairthermal.fi/Images/FI-RaychemFMTFHT-DS-DOC2210\\_tcm488-35939.pdf](https://www.pentairthermal.fi/Images/FI-RaychemFMTFHT-DS-DOC2210_tcm488-35939.pdf). Luettu 14.12.2017.
- 23 Artikkelit, saattolämmitys. 2017. Verkkoaineisto. Pistesarjat. <https://www.pistesarjat.fi/fi/artikkelit/saattolammitys>. Luettu 14.12.2017.
- 24 Tuotteet: lämpökaapelit. 2017. Verkkoaineisto. Pentair. [https://www.pentairthermal.fi/Images/FI-RaychemXTV-DS-DOC2210\\_tcm488-27461.pdf](https://www.pentairthermal.fi/Images/FI-RaychemXTV-DS-DOC2210_tcm488-27461.pdf). Luettu 27.12.2017.

- 25 Tuotteet: lämpökaapelit. 2017. Verkkoaineisto. Pentair.  
<https://www.pentairthermal.fi/products/heating-cables/self-regulating/index.aspx?seg=industrial>. Luettu 27.12.2017.
- 26 Tuotteet: lämpökaapelit. 2017. Verkkoaineisto. Pentair.  
[https://www.pentairthermal.fi/Images/FI-RaychemBTV-DS-DOC2210\\_tcm488-27344.pdf](https://www.pentairthermal.fi/Images/FI-RaychemBTV-DS-DOC2210_tcm488-27344.pdf). Luettu 27.12.2017.
- 27 Tuotteet: lämpökaapelit. 2017. Verkkoaineisto. Pentair.  
[https://www.pentairthermal.fi/Images/FI-RaychemBTV-DS-DOC2210\\_tcm488-27344.pdf](https://www.pentairthermal.fi/Images/FI-RaychemBTV-DS-DOC2210_tcm488-27344.pdf). Luettu 15.12.2017.
- 28 Tuotteet: lämpökaapelit. 2017. Verkkoaineisto. Pentair.  
<https://www.pentairthermal.fi/products/heating-cables/self-regulating/index.aspx?id=tcm:488-23534&catid=tcm:488-17783-1024>. Luettu 15.12.2017.
- 29 ATEX-olosuhdedirektiivi 99/92/EY.
- 30 Products, FSU. 2017. Verkkoaineisto. Heat-trace Ltd.  
<http://www.heat-trace.com/admin/files/141.pdf>. Luettu 15.12.2017.
- 31 VTT selvitys. Verkkoaineisto. VTT.  
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/w52.pdf>. Luettu 7.1.2018.
- 32 Tekninen opas. 2018. Verkkoaineisto. ABB.  
[https://library.e.abb.com/public/9aaf3178627952c7c1256d2800411f8d/Tekninen\\_opas\\_nro\\_6.pdf](https://library.e.abb.com/public/9aaf3178627952c7c1256d2800411f8d/Tekninen_opas_nro_6.pdf). Luettu 7.1.2018
- 33 Verkkodokumentti. 2018. Leena Korpinen.  
<http://leenakorpinen.com/archive/opukset/yliialto-opus.pdf>. Luettu 7.1.2018.
- 34 Tasavirtakäytöt, DCT880. 2017. Verkkoaineisto. ABB.  
<http://new.abb.com/drives/fi/tasavirtakaytot/dct880>. Luettu 25.10.2017.
- 35 DCT880 flyer. 2017. Verkkoaineisto. ABB. <http://new.abb.com/drives/fi/tasavirtakaytot/dct880>. Luettu 25.10.2017.
- 36 DCT880 manuaali. 2017. Verkkoaineisto. ABB.  
<http://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3ADW000431R&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>. Luettu 21.1.2018.
- 37 N-108 rev.9. 2017. Sähköistyksen yleisspesifikaatio sähkölämmitykset. Neste Engineering Solutions. . Julkaistu 14.12.2018.

- 38 Ohjelmistotyökalut, Drive Composer. Verkkoaineisto. ABB.  
<http://new.abb.com/drives/fi/ohjelmistotyokalut/drive-composer>. Luettu 25.10.201

## Muutetut parametrit

DCT880 muutetut parametrit. Muut parametrit ABB:n oletusarvoissa.

Index	Name	Value	Unit	Min	Max	Default
1. Actual Values						
85	Leg 1 Power Full Wave Fix Cycle actual	0,3	kW	0,0	5000,0	0,0
86	Leg 2 Power Full Wave Fix Cycle actual	0,3	kW	0,0	5000,0	0,0
87	Leg 3 Power Full Wave Fix Cycle actual	0,1	kW	0,0	5000,0	0,0
88	3ph Power Full Wave Fix Cycle actual	0,8	kW	0,0	5000,0	0,0
89	Leg 1 Power Full Wave Fix Cycle actual relative	8,51	%	0,00	325,00	0,00
90	Leg 2 Power Full Wave Fix Cycle actual relative	8,81	%	0,00	325,00	0,00
91	Leg 3 Power Full Wave Fix Cycle actual relative	3,28	%	0,00	325,00	0,00
92	3ph Power Full Wave Fix Cycle actual relative	6,86	%	0,00	325,00	0,00
7. System info						
13	Application environment status 1	0b1110	NoUnit	0b0000	0b1111 1111 1111 1111	0b0000
10. Standard DI, RO						
24	RO1 source	P.6.13.0	NoUnit			Not energiz
27	RO2 source	P.6.13.3	NoUnit			Not energiz
30	RO3 source	P.6.13.1 -	NoUnit			Not energiz
14. I/O extension module 1						
1	Option module 1 type	FAIO-01	NoUnit			None
2	Option module 1 location	Slot 2	NoUnit			Slot 1
19	AI supervision function	Warning	NoUnit			No action
20	AI supervision selection	0b1111	NoUnit	0b0000	0b1111 1111 1111 1111	0b0000
30	AI1 unit selection	V	NoUnit			mA
33	AI1 min	0,921	V	-22,000	22,000	0,000
34	AI1 max	1,079	V	-22,000	22,000	10,000
35	AI1 scaled at AI1 min	101,000	NoUnit	-32768,000	32767,000	0,000

36 AI1 scaled at AI1 max 0,000 NoUnit -32768,000 32767,000 100,000

Device Info

DCT880 AC-Controller

Type W03-0160-04

Model DCT880

Serial DCTF107x

Parametrit

Index	Name	Value	Unit	Min	Max	Default
45	AI2 unit selection	V	NoUnit			mA
48	AI2 min	0,921	V	-22,000	22,000	0,000
49	AI2 max	1,079	V	-22,000	22,000	10,000
50	AI2 scaled at AI2 min	101,000	NoUnit	-32768,000	32767,000	0,000
51	AI2 scaled at AI2 max	0,000	NoUnit	-32768,000	32767,000	100,000
82	AO1 out at AO1 src min	10,000	mA	0,000	20,000	0,000
92	AO2 out at AO2 src min	10,000	mA	0,000	20,000	0,000

22. Leg 1 Reference Chain

15	Leg 1 Cha A Main Ref Selector	P.47.4	NoUnit			AI1 scaled (12.12)
21	Leg 1 Cha A Max	101,00	%	0,00	325,00	100,00

24. Leg 2 Reference Chain

15	Leg 2 Cha A Main Ref Selector	P.47.4	NoUnit			AI1 scaled (12.12)
----	-------------------------------	--------	--------	--	--	--------------------

26. Leg 3 Reference Chain

15	Leg 3 Cha A Main Ref Selector	P.47.4	NoUnit			AI1 scaled (12.12)
----	-------------------------------	--------	--------	--	--	--------------------

35. Temperature Measurement

4	Temp 1 Source	P.14.27	NoUnit			Zero
5	Temp 1 Conversion mode	Temp signal converter	NoUnit			Disabled
6	Temp 1 Min	20,0	°C	-50,0	2000,0	0,0
7	Temp 1 Max	-20,0	°C	-50,0	2000,0	250,0

24	Temp 2 Source	P.14.42	NoUnit			Zero
25	Temp 2 Conversion mode	Temp signal converter	NoUnit			Disabled
26	Temp 2 Min	20,0	°C	-50,0	2000,0	0,0
27	Temp 2 Max	-20,0	°C	-50,0	2000,0	250,0
44	Temp 3 Source	P.47.5	NoUnit			Zero
45	Temp 3 Conversion mode	Temp signal converter	NoUnit			Disabled
47	Temp 3 Max	40,0	°C	-50,0	2000,0	250,0
50	Temp 3 warning function	Warning (greater than)	NoUnit			No reaction
51	Temp 3 warning level	5,0	°C	-50,0	2000,0	250,0
52	Temp 3 warning hysteresis	0,0	°C	0,0	50,0	10,0

Index	Name	Value	Unit	Min	Max	Default
-------	------	-------	------	-----	-----	---------

#### 47. Data storage

1	Data storage 1 real32	1,000	NoUnit	-2147483,000	2147483,000	0,000
2	Data storage 2 real32	5,000	NoUnit	-2147483,000	2147483,000	0,000
3	Data storage 3 real32	5,000	NoUnit	-2147483,000	2147483,000	0,000
4	Data storage 4 real32	49,270	NoUnit	-2147483,000	2147483,000	0,000
5	Data storage 5 real32	1,490	NoUnit	-2147483,000	2147483,000	0,000

#### 95. HW configuration

16	Set: Unit type code	W03-0160-04	NoUnit			W00-0000-00
----	---------------------	-------------	--------	--	--	-------------

#### 96. System

1	Language	English	NoUnit			Not selected
---	----------	---------	--------	--	--	--------------

#### 99. Basic Settings

1	Supply Voltage	400,0	V	0,0	400,0	380,0
2	Load Current	16,0	A	0,0	30000,0	0,0
3	Load Voltage	230,0	V	0,0	400,0	0,0
5	Load Configuration	3 x 1ph loads	NoUnit			3ph star (3S)
11	Leg 1 Cycle Time	50	Periods	0	6000	100
12	Leg 1 Start Mode	Normal	NoUnit			Soft start / soft down

## Adaptiivinen ohjelma

DCT880 adaptiivinen ohjelma sulanapitolämmitysten tehonsäätöön ulkolämpötilan mukaan.

