

Markus Alardt

## **SÄHKÖSAATTOJEN SUUNNITTELU TEOLLISUUDESSA**

# **SÄHKÖSAATTOJEN SUUNNITTELU TEOLLISUUDESSA**

Markus Alardt  
Opinnäytetyö  
Syksy 2015  
Automaatiotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Automaatiotekniikka, projektionnin suuntautumisvaihtoehto

---

Tekijä(t): Markus Alardt  
Opinnäytetyön nimi: Sähkösaattojen suunnittelu teollisuudessa  
Työn ohjaaja(t): Tero Hietanen  
Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: Syksy 2015  
Sivumäärä: 61 + 8 liitettä

---

Opinnäytetyön aiheena oli tehdä käytännönläheinen tarkastelu teollisuudessa käytössä olevien saattolämmitysten suunnitteluun ja toteuttaa sähkösaatot annettuun kohteeseen annettujen vaatimusten mukaisesti. Työn tilaajana oli OAT Oy ja työ toteutettiin suomalaisella kemiantehtaalla. Työn tavoitteena oli helpottaa sähkösaattojen onnistunutta toteutusta alueella sähkösaattojen toimittajasta huolimatta ja tehdä hyväksyty käyttöönotto toteutettaville sähkösaatoille.

Saattolämmitysten suunnitteluun tutustuttiin alan kirjallisuutta lukemalla, koulutuksiin osallistumalla ja tutustumalla alueella aikaisemmin toteutettuihin saattolämmitysratkaisuihin. Sähkösaattoja varten tehtiin käyttöön otetuille sähkösaattokeskuksille sähkösuunnitelmat ja sähkösaattojen ohjauksen toteutus käytössä oleviin järjestelmiin.

Lopputuloksena saatiin toteutettua ja käyttöön otettua lämmityskaapelipiirit kohteessa. Näistä sähkösaatoista tehtiin myös asianmukaiset dokumentit. Näiden lisäksi saatiin selvennettyä kaikille osapuolille tarvittavat lähtötiedot saattolämmitysten onnistuneeseen toteuttamiseen myös tulevaisuudessa.

---

Asiasanat: saattolämmitys, sähkösaatto, lämmityskaapeli, sulanapito, sähkösuunnittelu, automaatio

## **ALKULAUSE**

Opinnäytetyön tilaajana toimi OAT Oy. Haluan kiittää mielenkiintoisen ja haastavan opinnäytetyön mahdollistanutta Jaakko Tähtistä ja OAT Oy:n työntekijöitä. Kiitokset kuuluvat myös kaikille sähkösaattojen toteuttamisessa mukana olleille henkilöille. Ilman heidän ammattitaitoaan projekti ei olisi toteutunut.

Haluan kiittää myös työn sisällönohjaajaa Tero Hietasta rakentavasta palautteesta työn viimeistelyvaiheessa.

Oulussa 6.11.2015

Markus Alardt

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 SAATTOLÄMMITYKSET TEOLLISUUDESSA	9
3 LÄMMITYSKAAPELIN VALINTAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	11
3.1 Lämpöhäviöt	11
3.2 Kiinnityskohteen ominaisuudet	13
3.3 Altistuslämpötilat	14
3.4 Ulkoiset lämpötilat	14
3.5 Prosessiaine ja prosessin lämpötila	15
3.6 Mitoituslämpötila	15
3.7 Kemikaalien kesto	15
3.8 Eristys	15
3.9 Räjähdyksvaaralliset tilat	18
3.10 Syöttökaapeli	19
3.11 Suojaus sähköiskuilta	19
3.12 Kaapeleiden asentaminen	19
4 SÄHKÖSAATON OHJAUKSET	22
4.1 Prosessilämpötilan tarkkuus	22
4.1.1 Tyypin I prosessi	22
4.1.2 Tyypin II prosessi	22
4.1.3 Tyypin III prosessi	23
4.2 Lämpötila-anturi	23
4.3 Ohjaustavat	25
4.3.1 Suora lähtö	25
4.3.2 Releohjaus	26
4.3.3 Triac-säätö	26
4.4 Lämpökaapelipiirien ohjauksen toteutus	27
4.4.1 Ympäristön lämpötilan mukaan ohjattu lämpökaapelipiiri	28

4.4.2 Putken lämpötilan mukaan ohjattu lämpökaapelipiiri	28
4.4.3 Prosessin mukaan ohjattu lämpökaapelipiiri	29
4.5 Hälytykset	29
5 TEOLLISUUDEN LÄMPÖKAAPELITYYPIT	31
5.1 Rinnakkaisresistanssikaapelit	31
5.2 Sarjaresistanssikaapelit	35
6 SÄHKÖSAATTOJEN TOTEUTTAMINEN SUODATTIMILLE	39
6.1 Ohjausyksikkö	39
6.2 Tehoyksikkö	41
6.3 Projektin läpivienti	44
6.3.1 Lähtötiedot	44
6.3.2 Lämmityskaapelin valinta	46
6.3.3 Syöttö- ja instrumentointikaapeleiden valinta	49
6.3.4 Asennukset	50
6.4 Tehoyksikön käyttöönotto	51
7 DOKUMENTOINTI	53
7.1 Sijoituspiirustus	53
7.2 Virtapiiri- ja johdotuskaavio	53
7.3 Asennuspiirustus	53
7.4 Sähkölämmitystaulukko	54
7.5 Kaapeliluettelo	54
7.6 Koestuspöytäkirja	54
8 YHTEENVETO	55
LÄHTEET	57
LIITTEET	61

## SANASTO

Lämpökaapelipiiri	Syöttöpisteeseen tai syöttöpisterasialle kytketyt kaapelit. Lämpökaapelipiiriin kuuluvat kaapelit sekä niiden jatkot ja päätteet.
Saattolämmitys	Putkistojen, säiliöiden ja näiden instrumenttien lämmittämisestä käytetty termi. Lämmityksen toteutustapa voi olla höyry, öljy tai sähkö. Saattolämmityksen tarkoituksena on ylläpitää tai nostaa prosessin lämpötilaa. Saattolämmityksen tarkoitus voi olla myös pelkkä putkiston sulanapito.
Syöttökaapeli	Sähkösaattokeskuksen ja syöttöpisterasian välinen kaapeli.
Syöttöpiste	Kohta, jossa syöttö- ja lämmityskaapeli kytketään.
Syöttöpisterasia	Rasia, jossa syöttökaapeli ja lämpökaapeli kytketään
Sähkösaatto	Sähköllä toteutettu saattolämmitys.
Sähkösaattokeskus	Sähkösaattolähdöistä koostuva keskus.

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaajana toimi OAT Oy. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää tarvittavat lähtötiedot sähkösaattojen toteuttamiseen ja tarkastella lähtötietojen tärkeyttä teorian kautta. Alueella, johon sähkösaattoja lähdettiin toteuttamaan, on ollut ongelmana sähkösaattojen onnistuneeseen toteuttamiseen tarvittavien lähtötietojen puutteellisuus tai virheellisyys.

Käytännönläheisen aiheeseen tutustumisen jälkeen toteutettiin sähkösaatot annettuun kohteeseen. Kohde sijaitsee suomalaisella kemiantehtaalla. Sähkösaattojen toteutuskohteessa on ollut useita eri sähkösaattojen toimittajia ja käytännöt sähkösaattojen toteuttamisessa ovat olleet toisistaan varsin eroavaisia.

Käytännön toteutuksessa tehtiin annettujen vaatimusten mukaisesti kaapelivannat, sähkösuunnitelmat ja ohjaustratkaisut lämpökaapelipiireille. Lisäksi toteutettiin asianmukaiset dokumentit. Lopuksi tehtiin myös sähkösaattojen tilaajalle toimitettava lomake, johon tarvittavat lähtötiedot voidaan täyttää.

Sähkösaattoja on käytössä teollisuudessa laajalti. Sähkösaattojen tärkeys korostuu Suomessa erityisesti Suomen pohjoisen sijainnin ja ilmaston johdosta.

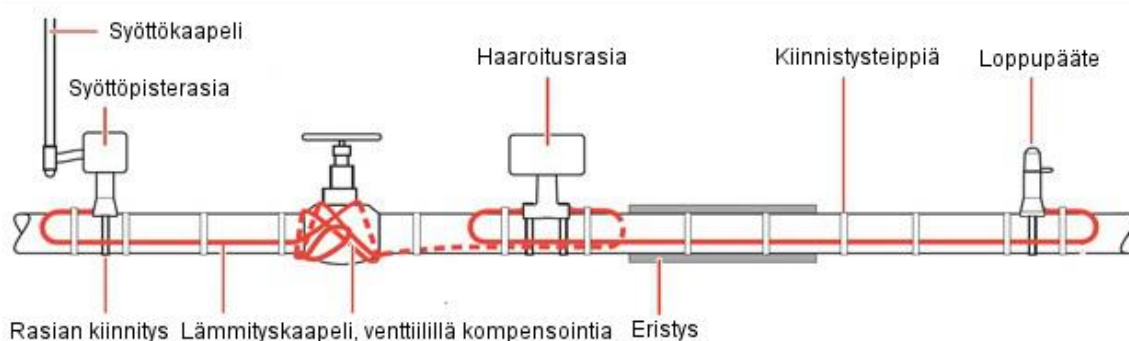


## 2 SAATTOLÄMMITYKSET TEOLLISUUDESSA

Teollisuudessa saattolämmitys voidaan toteuttaa höyryllä, öljyllä tai sähköllä. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan ainoastaan sähköllä toteutettavia saattolämmityksiä eli niin kutsuttuja sähkösaattoja. (1, s. 1.)

Yksinkertaisimmillaan sähkösaatto on putken, säiliön tai muun kohteen ympärille kiinnitettävä vastuskaapeli, joka saa sähköenergian verkkovirrasta. Vastuskaapeli lämmittää putkea sähköverkosta ottamallaan energialla. Usein putken tai ympäristöön tuodaan lämpötila-anturi, joka yhdistetään termostaattiin. Tällöin lämmitys voidaan käynnistää tai katkaista halutussa lämpötilassa. Sijoitettaessa lämpötila-anturi suoraan putken lämmityskaapelille voidaan toteuttaa säätimillä tarkka portaaton tehonsäätö. Esimerkki kentällä näkyvästä sähkösaattokokonaisuudesta on kuvassa 1. (2, s. 7–9.)

Teollisuudessa putkien saattolämmityksellä halutaan pääasiassa korvata putkessa olevasta prosessiaineesta ympäristöön siirtyvä energia eli niin sanotut lämpöhäviöt. Saattolämmityksen yleisimmät tehtävät on pitää putkilinjat sulana, nostaa prosessin lämpötilaa tai ylläpitää prosessille tärkeää lämpötilaa. Prosessiaineen lämpötila pysyy muuttumattomana, mikäli lämmityskaapelin lämmitysenergia on yhtä suuri, kuin putkesta ympäristöön häviävä lämpötila. (3, s. 239.)



*KUVA 1. Yksinkertaisen sähkösaaton rakenne, muokattu lähteestä (4)*

Putkilinjan jäätyminen saattaa aiheuttaa prosessin keskeytymisen ja siitä syystä suuria kustannuksia. Jotkin kemianteollisuudessa valmistuksessa tai käytössä olevat aineet ovat kriittisiä lämpötilan suhteen. Suuri heitto putken lämpötilassa

saattaa aiheuttaa aineen olomuodon muutoksia, putken vaurioitumisen, vaaratilanteita sekä vaihteluita valmistettavan tuotteen laadussa.

Saattolämmityksiä tarvitaan teollisuudessa prosessien lisäksi myös työturvallisuuden liittyvien hätäsuihkujen, -ammeiden ja niihin liittyvien putkistojen lämpötilan ylläpitämiseen. Hätäsuihkuja käytetään huuhteluun tilanteissa, joissa ihmiselle vaarallista ainetta on päässyt kosketuksiin ihon tai silmien kanssa. Hätäsuihkujen lämpötila on pidettävä noin 27–29 °C:ssa, joten lämmitysten tarkka säätö on ensiarvoisen tärkeää. (2, s. 11.)

Esimerkiksi Oulussa on viisi kuukautta, jolloin ulkoilman keskilämpötila on nol-lan alapuolella. Sulanapidon kannalta tarkasteltuna saattolämmityksen tärkeys korostuu tällöin erityisesti ulkotiloissa olevissa vesilinjoissa, jotka eivät pysty pitämään itseään sulana talvikuukausina. (5.)

### 3 LÄMMITYSKAAPELIN VALINTAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Yleisenä periaatteena lämmityskaapelia valittaessa on, että tehon tulee olla varmasti kohteeseen riittävä ja energian käytön kannalta lämpötilaa tulee ohjata käyttötilanteeseen soveltuvalla ohjauksella. Useat kaapelinvalmistajat tarjoavat laskentaohjelmia tai taulukoita oikean kaapelin valitsemiseen oikean kokoiselle putkelle tai muulle kohteelle. Esimerkki putken lämpöhäviötaulukosta on esitetty liitteessä 1. (6, s. 3; 7.)

#### 3.1 Lämpöhäviöt

Putken teoreettisen lämpöhäviön arvioiminen on esitetty kaavassa 1. Kaavalla saadaan laskettua putken häviöteho metriä kohden. (2, s. 9.)

$$\frac{P_h}{l} = \frac{2\pi\lambda(t_i - t_0)}{\ln\left(\frac{d_e}{d_i}\right)} \left[\frac{W}{m}\right]$$

KAAVA 1

$P_h/l$  = putken häviöteho metriä kohden, W/m

$\lambda$  = eristeen lämmönjohtokyky, W/m K

$t_i$  = mitoituslämpötila, °C

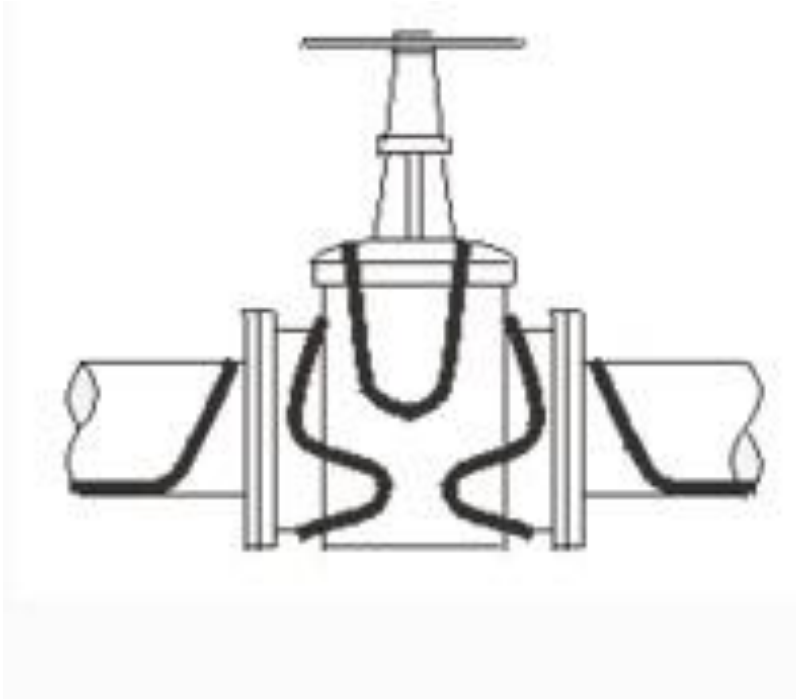
$t_0$  = alhaisin ulkolämpötila, °C

$d_e$  = eristyksen ulkohalkaisija, m

$d_i$  = putken halkaisija, m

Putkessa kiinni olevat vakioputkikokoa suuremmat toimilaitteet, venttiilit, kannakkeet ja laipat aiheuttavat mitoitettua putkea suurempia lämpöhäviöitä. Nämä tulee kompensoida asentamalla kaapelia kiepile niiden ympärille. Tällöin putkikokoa suurempiin kohteisiin saadaan kohdistettua enemmän lämmitystehoa. Ylimääräisen kaapelin asentamisesta venttiilin ympärille on esimerkki kuvassa 2. (8.)

Venttiileiden aiheuttamat lämpöhäviöt voidaan arvioida venttiilin tyypin perusteella. Kaapeleiden valmistajilla on usein taulukot toimilaitteiden, venttiilien, kannakkeiden ja laippojen aiheuttamiin lämpöhäviöihin. (8.)



*KUVA 2. Venttiilin ympärille tulee tehdä lämmityskaapelilla lenkki, jotta venttiilistä aiheutuvat lämpöhäviöt saadaan kompensoitua. (9.)*

Säiliön teoreettinen häviöteho voidaan laskea kaavalla 2. Kaavassa esiintyvien tekijöiden lisäksi tulee huomioida säiliön kannakkeiden ja instrumenttien vaikutukset lämpöhäviöihin. (2, s. 10.)

$$P_h = \frac{\lambda A(t_i - t_0)}{s}$$

KAAVA 2.

$P_h$  = säiliön häviöteho, W

$\lambda$  = eristeen lämmönjohtokyky, W/m °K

$A$  = säiliön pinta-ala eristeen päältä laskettuna, m<sup>2</sup>

$t_i$  = mitoituslämpötila, °C

$t_o$  = alhaisin ulkolämpötila, °C

$s$  = eristeen paksuus, m

Teoreettinen lämpöhäviö tulisi aina kertoa varmuuskertoimella. Varmuuskertoimen käyttäminen on tarpeen, sillä suunnitteluvaiheessa tehtävät laskelmat lämpöhäviöistä perustuvat teoreettisiin arvioihin, eikä niissä oteta huomioon poikkeuksia, joita asennusvaiheessa voi syntyä. Todellisten ja teoreettisten lukemien välille muutoksia aiheuttavat eristyksien huonot asennukset, eristysten ominaisuuksien muutos esimerkiksi kosteuden seurauksena, virheet lämpökaapelin asennuksessa ja jännitteenalenemat. Kaapelin antama lämmitysteho voi myös muuttua ajan kuluessa. (3, s. 242.)

### **3.2 Kiinnityskohteen ominaisuudet**

Sähkösaattoa suunniteltaessa on tarpeen tietää asennuskohteen materiaali. Materiaalin ominaisuuksien tunteminen on tärkeää, jotta ei vahingoiteta putkistoa liian tehokkaalla lämmityskaapelilla. (2, s. 23.)

Putkiston sähkösaattoa suunnitellessa tulee tietää myös putken halkaisija. Säiliöiden sähkösaattoa suunniteltaessa on tarpeen tietää säiliön mitat, materiaali ja eristystapa. Säiliöistä on tarpeen saada kokoonpanokuvat sähkösaattoja suunniteltaessa, jotta voidaan ottaa huomioon säiliön kannakkeet ja muut lämpöhäviöitä aiheuttavat tekijät. Nämä otetaan huomioon varmuuskerrointa määrittäessä.

Muovisiin putkiin tulee valita pienitehoisia metritehoja omaavia kaapeleita putken vaurioitumisen ehkäisemiseksi. Matalan lämpötilan itserajoittuva lämmityskaapeli tai muovivaippainen lämpökaapeli on suositeltava vaihtoehto muoviputken sähkösaattoratkaisuksi. (2, s. 12.)

### 3.3 Altistuslämpötilat

On erittäin tärkeää tietää, millaiseen fyysiseen rasitukseen kaapeli joutuu. Toinen tärkeä tieto suunnittelussa on huomioida, millaisille lämpötiloille kaapeli altistetaan.

Kaapeleiden lämmönkestolle annetaan usein kaksi arvoa, maksimilämpötila jännitteellisenä ja jännitteettömänä. Näiden lisäksi kaapeleille annetaan usein rajat, kuinka kauaksi aikaa kaapeli voidaan altistaa normaalia käyttölämpötilaa korkeammalle lämpötilalle. Esimerkki valmistajan antamista arvoista on liitteessä 2. (10.)

Teollisuudessa monet putkilinjat puhdistetaan aika ajoin höyrypuhdistuksella. Höyrypuhdistuksessa käytettävän höyryn lämpötila voi nousta jopa 200 °C:seen. Lämpökaapeleiden erilaiset lämpötilan kestot muodostetaan erilaisilla lämmityskaapelityypeillä ja -rakenteilla. (10.)

Höyrypuhdistuksen lisäksi täytyy ottaa huomioon myös muita korkeita lämpötiloja aiheuttavia tekijöitä. Alueella esiintyvät puhaltimet saattavat aiheuttaa vaurioita kaapeleihin, jos putkilinjan eriste sekä säänsuoja ovat vahingoittuneita.

### 3.4 Ulkoiset lämpötilat

Altistuslämpötilan lisäksi täytyy tietää millaisiin olosuhteisiin kaapeli asennetaan. Ulkoilman lämpötila vaikuttaa kohteessa esiintyvään lämpöhäviöön. (Kaava 1.)

Ulkoisista lämpötiloista on tarpeen tietää alueella esiintyvä kylmin ja lämpimin mahdollinen lämpötila. Oulun korkeudella on järkevää käyttää alhaisimpana lämpötilana  $-40\text{ °C}$  ja korkeimpana  $+40\text{ °C}$ .

Lämpötilojen lisäksi on tarpeen tietää asennetaanko sähkösaatot ulko- vai sisätiloihin. Tuulen vaikutus tulee ottaa huomioon lämpöhäviöiden varmuuskertomessa. Tuulettomiin sisätiloihin asennettaessa lämpöhäviöiden kertoimena tulisi käyttää 0,9:ää. (8.)

### **3.5 Prosessiaine ja prosessin lämpötila**

Prosessin lämpötila on tarpeen tietää lämpöhäviöitä arvioitaessa. Erittäin kuumien prosessien prosessilämpötilat tulee ottaa huomioon kaapelin lämmönkestävyyttä tarkastellessa. (2, s. 23.)

### **3.6 Mitoituslämpötila**

Mitoituslämpötila eli prosessin ylläpitolämpötila on keskeinen kriteeri sähkösaattoa suunniteltaessa. Mitoituslämpötila on se lämpötila, johon putken lämpötila halutaan saada, kun lämmitys on päällä.

Mitoituslämpötilan ja alhaisimman ulkolämpötilan välinen lämpötilaero on keskeinen tekijä putken häviötehoa arvioitaessa, kuten kaavassa 1 on nähtävillä.

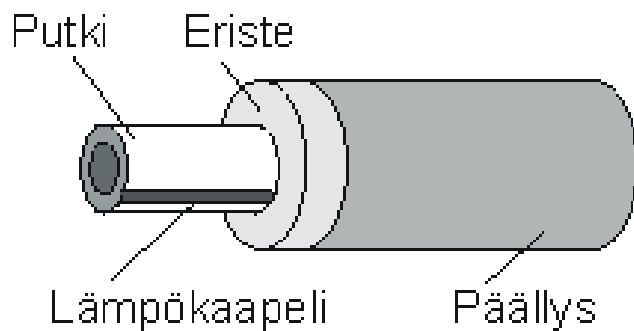
### **3.7 Kemikaalien kesto**

Käytössä olevan lämmityskaapelin tulee kestää kohteessa esiintyvät kemikaalit. Monet lämmityskaapelit kestävät altistamisen ainoastaan vedelle. Kaapeleiden ulkorakenne määrittää usein niiden kestävyden eri kemikaaleille.

Lämpökaapeleiden valmistajilla on usein erilaisiin olosuhteisiin sopivia kaapeleita. Samasta kaapelityypistä voi olla miedot epäorgaaniset aineet kestävä versio sekä orgaaniset syövyttävät aineet kestävä versio. Näissä tapauksissa kaapelin lämmitysominaisuudet pysyvät usein samana, ainoastaan kaapelin ulkorakenne muuttuu. (11.)

### **3.8 Eristys**

Sähkösaattavat putket tai säiliöt tulee eristää. Eriste sijoitetaan lämpökaapelin päälle, jolloin lämmityskaapeli jää eristeen ja lämmityskohteen väliin. Eristyksen parantaminen pienentää putkistosta tai säiliöstä ympäristöön siirtyvää energiaa. Sähkösaatetun putken rakenne on esitettyä kuvassa 3. (3, s. 234.)



*KUVA 3. Sähkösaatetun putken rakenne (14)*

Sulanapidettävät putket eristetään useimmiten vuorivillalla tai lasivillalla. Muita yleisiä eristemateriaaleja ovat esipaisutettu silikaatti, solulasi, polyuretaani, kalsiumsilikaatti, polyisosyanuraatti ja perliittisilikaatti. (3, s. 234.)

Lämpöeristyksellä on päärooli putken lämpötilan ylläpitämisessä. Sähkösaatto on ainoastaan täydentävä tehtävä ja se mitoitetaan korvaamaan täysin kunnossa olevan lämpöeristyksen läpi johtuva lämpövirta. (3, s. 234; 11, s. 22.)

Eristeen tarkoituksena on estää prosessiaineen ja lämmityskaapelin tuottaman lämpöenergian siirtyminen ympäristöön. Eriste mahdollistaa lämpökaapelin alhaisemman energiankulutuksen. Tyypillinen eristepaksuus sulana pidettävässä putkessa tai säiliössä on putken tai säiliön koosta riippuen 10–50 millimetriä. (3, s. 259.)

Eristeen tulee olla myös tiivis, sillä vuodot tuulisella säällä aiheuttavat jäähtymistä. Hyvät eristeet pienentävät lämmityksen käyttökustannuksia, parantavat järjestelmän suorituskykyä ja lisäävät järjestelmän tuottokykyä. (3, s. 270.)

Kaksoiseristämisellä tarkoitetaan tilannetta, jossa saattokaapeli sijoitetaan kahden eristyskerroksen väliin. Kaksoiseristäminen tulee kyseeseen, kun putkiston lämpötila ylittää saattokaapelin korkeimman sallitun käyttölämpötilan. Kaksoiseristetyissä lämmityskohteissa tulee käyttää ainoastaan itsesäätyvää lämpökaapelia. (3, s. 237.)



Eristettä valittaessa eristeen lämmönjohtavuus-arvo on tärkeä kriteeri. Lämmönjohtavuus yleisimmin käytössä olevilla eristeillä on 0,04–0,05 W/m K normaaliolosuhteissa. Vuorivillan lämmönjohtavuus kasvaa lämpötilan noustessa. Vuorivillan lämmönjohtavuuden muutos suhteessa lämpötilaan on nähtävissä taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Vuorivillan lämmönjohtavuus (2, s. 9)

Lämpötila °C	Lämmönjohtavuus W/m °K
10	≤ 0,04
100	≤ 0,05
270	≤ 0,08
370	≤ 0,10

Saattolämmitetty putki voidaan päällystää alumiinifoliolla lämmönjakautumisen parantamiseksi. Alumiinifolion päälle asetellaan eriste, jonka materiaali vaihtelee tilanteen mukaan. Eristeen päälle tuodaan alumiinipelti eristeen ja lämpökaapelin suojaksi. Alumiinifolio estää myös eristemateriaalin pääsyn lämmitettävän kohteen ja lämpökaapelin väliin. (3, s. 259, 270.)

Eristyksen suojaellisuuden tarkoituksena on estää kosteuden pääsy eristeseen ja kaapeliin. Suojaellisuus suojaa myös kaapelia fyysisiltä vaurioilta, joita voi tulla lämpökaapelin lähistöllä työskennellessä tai liikkuesssa. Suojaellisuudesta käytetään myös nimeä säänsuoja.

Eristeen materiaali ja paksuus vaikuttavat kohteen lämpöhäviöön. Eristysmateriaali ja -paksuus tulee tietää, ennen kuin päätöksiä lämpökaapelin valinnasta tehdään.

Eristeen asennuksen jälkeen säänsuojaan on merkattava tiedot alla olevasta lämmityskaapelista. Tarpeen on myös merkata lämmityskaapelin loppupäätteen ja jatkosten paikat. (3, s. 270.)

### 3.9 Räjähdysvaaralliset tilat

Räjähdysvaaralliseen tilaan toteutettavassa sähkösaatossa täytyy tuntea valittavan kaapelin korkein mahdollinen pintalämpötila. Lämpötilan rajoitus voidaan toteuttaa valitsemalla oikeantyyppinen lämpötilaluokan saanut kaapeli tai toteuttamalla lämpötilan rajoitustermostaatti, joka katkaisee lämmityksen, kun kaapelin pintalämpötila kasvaa liian suureksi. Esimerkki lämpötilaluokista on kuvassa 4. (3, s. 212.)

Kaasun tai höyryn itsesyttymislämpötila °C	Laitteen lämpötilaluokka	Laitteen suurin sallittu pintalämpötila °C
> 450	T1	450
300 - 450	T2	300
200 - 300	T3	200
135 - 200	T4	135
100 - 135	T5	100
85 - 100	T6	85

*KUVA 4. Kaupallisille kaapeleille annetaan usein lämpötilaluokka, joka määrittää laitteen suurimman sallitun pintalämpötilan mukaan (12)*

Tilaluokassa 1 on oltava suojalaite, kuten lämpötilarajoin, joka kytkee laitteet jännitteettömäksi, jotta ei ylitetä suurinta sallittua pintalämpötilaa. Suojalaitteen toiminnan tulee olla riippumaton lämpötilan säätö- ja valvontajärjestelmästä. (3, s. 212.)

Suojalaite tulee olla palautettavissa vain käsin ja palautuksen tulee olla mahdollista vain silloin kun käyttöolosuhteet ovat palautuneet tai kytkentäasentoa valvotaan jatkuvasti. Palauttamisen tulee olla mahdollista vain avaimella tai työkalulla. Lämpötilan asettelu tulee olla varmistettu ja lukittu käsittelyn estämiseksi. Ohjauspiirin tulee kytkeä lämpökaapelipiiri jännitteettömäksi anturin rikkoutuessa. (3, s. 212.)

Tilaluokassa 2 lämpötilan valvontaan riittää yksi vianilmaisulla varustettu säätölaite. Vianilmaisun valvonnan tulee olla riittävä. (3, s. 212.)

### **3.10 Syöttökaapeli**

Syöttökaapelilla tarkoitetaan sähkösaattojen yhteydessä sähkökeskuksesta tai sähkösaattokeskuksesta lähtevää kaapelia, joka päättyy syöttöpisterasialle. Syöttökaapeli ja lämpökaapelipiiri yhdistetään syöttöpisterasian sisällä. Yleisesti käytössä oleva syöttökaapelityyppi saattolämmitysten yhteydessä on MCMK. (2, s. 16.)

Syöttökaapelin poikkipinta-alaa päätettäessä täytyy ottaa huomioon, että saattolämmitysten syöttökaapelissa sallitaan korkeintaan 5 %:n jännitehäviö syöttöpisteen ja sähkösaattokeskuksen välillä. Sähkösaatto, jossa ilmenee liian suuri jännitehäviö keskuksen ja syöttörasian välillä, ei välttämättä toimi halutulla tavalla. (2, s. 16.)

Lämpökaapelin syöttöpisterasia tulee sijoittaa siten, että kunnossapitotoimet ovat helposti toteutettavissa. Paikan tulisi olla esteetön ja helposti saavutettavissa. Syöttöpisterasia tulee asentaa sellaiseen paikkaan, missä lämmityskaapeli ei voi vahingoittua sen poistuessa eristeen alta syöttöpisterasialle. (2, s. 16.)

Syöttökaapelin tulee olla teräsarmeerattu, jos syöttökaapeli kulkee samalla hyllyllä instrumentointikaapeleiden kanssa (2, s. 16).

### **3.11 Suojaus sähköiskuilta**

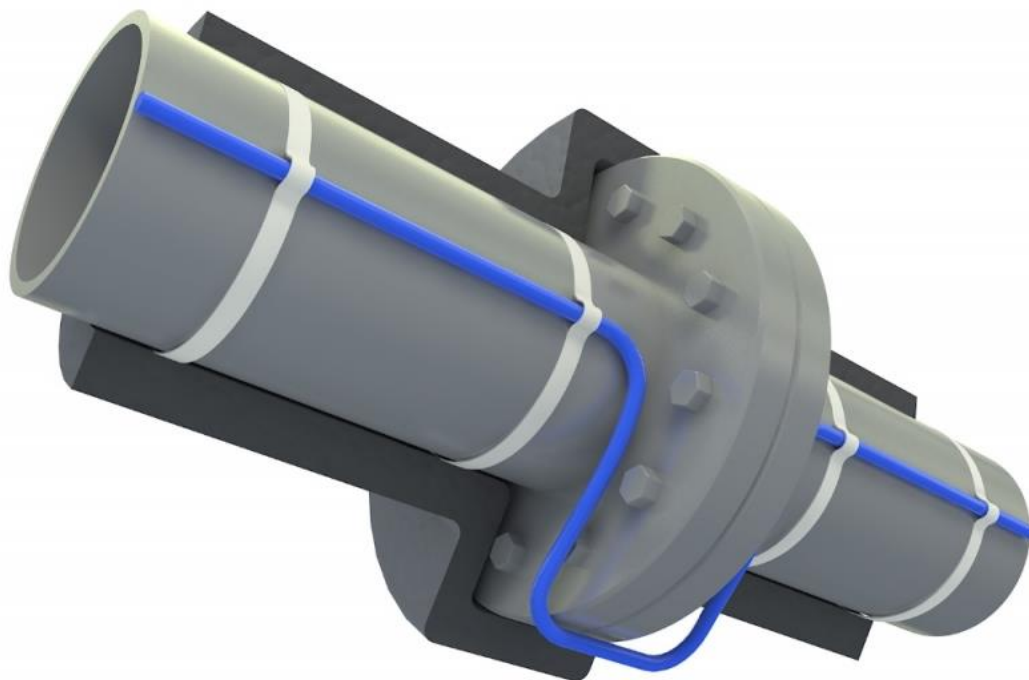
Sähkösaatto on varustettava vikavirtasuojakytkimellä. Vikavirtasuojan nimellistoimintavirran on oltava 30mA:a. 300mA:n nimellistoimintavirran omaavia vikavirtasuojakytkimiä voidaan käyttää, jos lämmityskaapeli on peitetty huonosti johdettavalla materiaalilla ja on sijoitettu kosketuksen ulottumattomiin esimerkiksi betonin sisään. (13, s. 556.)

### **3.12 Kaapeleiden asentaminen**

Lämpökaapeli kiinnitetään kohteeseen lämpökaapelin valmistajan ohjeita ja määräyksiä noudattaen. Kaapeli tulee kiinnittää lämmitettävään kohteeseen mahdollisimman hyvin, jotta lämmitysteho siirtyy parhaalla mahdollisella tavalla lämmitettävään kohteeseen. (3, s. 260.)

Lämpökaapeli tulee kiinnittää kohteeseen niin, että prosessilaitteiden kunnossapito onnistuu lämmityksestä huolimatta. Lämpökaapeleiden valmistajat tarjoavat kaapeleille asennusohjeita. Kaapelin pienimmän taivutussäteen tietäminen on tärkeää, että kaapeli ei lämpölaajenemisen vaikutuksesta riko itseään. (3, s. 260.)

Venttiilien, laippojen ja toimilaitteiden kohdalla lämpökaapeli tulee kiinnittää niin, että näiden huoltotoimenpiteet tai vaihtaminen onnistuvat vaurioittamatta lämmityskaapelia. Lämmityskaapeli pidetään laitteiden kohdalla samalla puolella ja laitteen kohdalle jätetään lenkki, joka voidaan irrottaa putkesta helposti tarpeen tullen. Kuvasta 5 näkee esimerkin, miten kaapeli voidaan asentaa laipan ympärille. (3, s. 261.)



*KUVA 5. Yksi tapa kiinnittää lämmityskaapeli lämmitettävään putkeen on teipata se kiinni lasikuituteipillä (14)*

Saattokaapeli tulee asentaa ainoastaan puhtaalle ja sileälle pinnalle. Putkistojen laitteiden kohdalla tulee olla huolellinen, ettei kaapeli vaurioidu näiden terävien pintojen johdosta. (3, s. 260.)

## 4 SÄHKÖSAATON OHJAUKSET

Lämpökaapeliin tulee yleensä varustaa lämpötilansäädöllä. Lämpötilansäädöllä on mahdollista säästää energiaa, sillä lämmitys on päällä ainoastaan silloin kun sitä tarvitaan. Lämmitystä säädetään portaattomasti tai katkaisevalla säädöllä. (2, s. 11.)

Räjähdyksivaarallisissa tiloissa lämpötilan rajoituspiiriä ei ole tarpeen rakentaa, jos tilaan asennettava itserajoittuva kaapeli on lämpötilaluokaltaan tilaan soveltuva (3, s. 212).

### 4.1 Prosessilämpötilan tarkkuus

Sähkösaattojen näkökulmasta tarkasteltuna prosessit jaetaan kolmeen ryhmään. Jaottelu perustuu siihen, kuinka tarkkaa lämpötilan ylläpitoa prosessi vaatii.

#### 4.1.1 Tyypin I prosessi

Tyypin I prosesseissa kohteen lämpötila tulisi pitää annetun minimiarvon yläpuolella. Ulkoilman lämpötilaa mittaava säätö voi olla riittävä. Lämmitysryhmiä voidaan ohjata yhteisellä säätimellä. Lämmitysenergiaa käytetään hetkittäin turhaan ja suuret lämpötilan vaihtelut ovat hyväksyttäviä. (3, s. 233.)

Esimerkkinä tästä on hätälaimennukseen tarkoitettujen vesilinjojen sulanapito. Linjojen lämpötila tulee pitää vähintään yli veden jäätymispisteen. Vesilinjan saattolämmityksen käynnistäminen ulkoilman lämpötilan laskiessa alle 5 °C:n on esimerkki yhdestä ratkaisumallista. Yleisesti ottaen kaikki sähkösaatot, joiden tehtävänä on ainoastaan sulanapito, kuuluvat tähän. (3, s. 233.)

#### 4.1.2 Tyypin II prosessi

Tyypin II prosessissa kohteen lämpötila tulee pitää kohtuullisen väljällä vaihtelualueella. Putken lämpötilaan kiinnitetty lämpötila-anturi ja sen avulla toteutettu lämpötilan säätö voi olla riittävä.

Esimerkkinä kohtuullisen väljästä lämpötilansäätöalueesta on prosessi, jossa putkiston lämpötila on pidettävä muutaman kymmenen asteen tarkkuudella annetusta mitoituslämpötilasta. (3, s. 233.)

#### **4.1.3 Tyypin III prosessi**

Tyypin III prosessissa lämpötila tulisi pitää kapealla vaihtelualueella. Putken lämpötilan tuntevilla termopari- tai vastusantureilla (PT100) varustetut säätimet tulevat kyseeseen. (3, s. 233.)

Tyypin III prosesseissa on syytä myös huolehtia nopeista hälytyksiin reagoineista. Prosessin lämmitystä suunniteltaessa täytyy tuntea prosessin virtaukset ja kiinnittää huomiota eristevalintoihin. (3, s. 233.)

#### **4.2 Lämpötila-anturi**

Sähkösaattototeutuksissa käytetään hyvin usein putkeen tai ympäristöön kiinnitettävää vastuslämpötila-anturia lämpötilan seuraamiseen ja lämmityksen ohjaukseen. Lämmitys voidaan esimerkiksi kytkeä päälle, kun ympäristön tai putken lämpötila laskee nollan alapuolelle. Lämmitys voidaan puolestaan sammuttaa, kun putken lämpötila nousee yli 20 °C:n. (2, s. 11.)

Vastuslämpötila-anturin resistanssi muuttuu lämpötilan mukaan. Yleisesti teollisuudessa käytössä olevan platinasta valmistetun PT100-anturin resistanssi on 0 °C:ssa 100 ohmia ja anturin resistanssi muuttuu lämpötilan funktiona  $0,385 \Omega/1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Anturi tuodaan kentältä kolmijohdinkytkenällä (32), joko suoraan tai lämpötilalähetimen kautta säätimelle. Lämpötilalähetin muuttaa resistanssiarvon lämpötilatiedoksi. Esimerkki PT100-anturin resistanssiarvoista lämpötilan muuttuessa on taulukossa 2. (15; 16; 17.)

TAULUKKO 2. PT100-anturin resistanssi eri lämpötiloissa (18)

TEMPERATURE - RESISTANCE RELATIONSHIP EXTRACT BS EN 60751 : 1996	
Temp.°C	Resistance Ω
-200	18.52
-100	60.26
0	100.00
100	138.51
200	175.86
300	212.05
400	247.09
500	280.98

Myös termopari soveltuu lämpötilan mittaamiseen saattolämmitysten yhteydessä (3, s. 233).

Putkeen kiinnitetty lämpötila-anturi mahdollistaa tarkemman lämpötilan säädön, kuin ympäristössä oleva anturi, sillä ympäristön lämpötila ei välttämättä vastaa ollenkaan putken lämpötilaa tai lämmitystarvetta. Putkeen asennettaessa lämpötila-anturi täytyy asentaa selvästi irti lämmityskaapelista, jotta saadaan realistinen putken lämpötila termostaatille ja lämmitystä ohjataan oikein. (3, s. 255.)

Yleisesti ottaen säätöön liittyvä lämpötila-anturi tulisi sijoittaa lämmityskaapelin suoran lämpövaikutuksen ulkopuolelle. Lämpötila-anturi pitää asentaa sellaiseen paikkaan, jossa mitattu lämpötila on koko lämpökaapelipiiriä edustava. Lämmityskaapeli asennetaan usein putken alareunaan noin 45°:n kulmaan pystyhalkaisijan suhteen, joten lämpötila-anturi kiinnitetään putken yläosaan kaapelin vastakkaiselle puolelle, sillä lämpö nousee ylöspäin. (9.)

Lämpötila-anturin kotelo tulee mahdollisuuksien mukaan sijoittaa siten, että se on helposti saavutettavassa paikassa kunnossapitoa ja huoltoa varten. Kotelon sijainti ei saa häiritä laitteiston käyttöä tai huoltotoimenpiteitä. (2, s. 17.)



Räjähdysvaarallisissa tiloissa voi olla tarpeen tarkkailla kaapelin lämpötilaa ja katkaista lämmitys mikäli kaapelin lämpötila kasvaa liian suureksi. Tällöin lämpötila-anturi täytyy kiinnittää suoraan lämmityskaapeliin. Tällä tavalla lämpötila-anturin lämpötila vastaa lämmityskaapelin lämpötilaa ja ohjauspiiri kytkee syötön pois päältä, jos kaapelin lämpötila kasvaa liian suureksi. (3, s. 267)

Räjähdysvaarallisissa tiloissa voidaan mahdollisuuksien mukaan mitoittaa lämpökaapeliin suoraan turvalliseksi. Turvalliseksi mitoittamisella tarkoitetaan tilannetta, jossa lämmityskaapelin pintalämpötila rajoittuu itsekseen epäedullisimmassakin tilanteessa rajoituslämpötilan alapuolelle ilman erillistä rajoitinta. (3, s. 247.)

Epäedullisimmalla käyttöolosuhteella tarkoitetaan tilannetta, jossa ulkoilman lämpötila on korkeimmassa mahdollisessa lukemassa, lämmitykseen ei kohdistu tuulta, lämpöeriste johtaa lämpöä minimiarvolla, lämpötilan säätölaite on viallinen, käyttöjännitteessä tapahtuu 10 %:n ylitys ja kaapelin teho on ilmoitetulla ylärajalla (3, s. 247).

### **4.3 Ohjaustavat**

Teollisuudessa lämpökaapeliin ohjataan energian säästämiseksi. Lämmitystä on tarpeen ohjata myös prosessin lämpötilan säätämiseksi ja putkistojen vaurioitumisen ehkäisemiseksi. Lämmityksen päällä oloa voidaan ohjata releillä tai triacilla. Itsesäätävän lämmityskaapelin yhteyteen ei ole pakko rakentaa ohjausvirtapiiriä.

#### **4.3.1 Suora lähtö**

Suorassa lähdössä lämmityskaapeli kytketään suoraan sähköverkkoon, eikä kaapelin toimintaa ohjata mitenkään. Erillistä ohjausvirtapiiriä ei ole siis tarpeen rakentaa.

Suoria lähtöjä käytetään lähinnä itsesäätävien ja itserajoittuvien kaapeleiden kanssa. Tämä on mahdollista itsesäätävien ja itserajoittuvien kaapeleiden ra-

kenteen ansiosta. Suoralla lähdöllä toteutettavaan kohteeseen tulee valita lämpökaapeli, joka ei aiheuta lämmityskohteelle tai muulle prosessin tekijälle huonimmassakaan mahdollisessa tilanteessa vaaratilannetta.

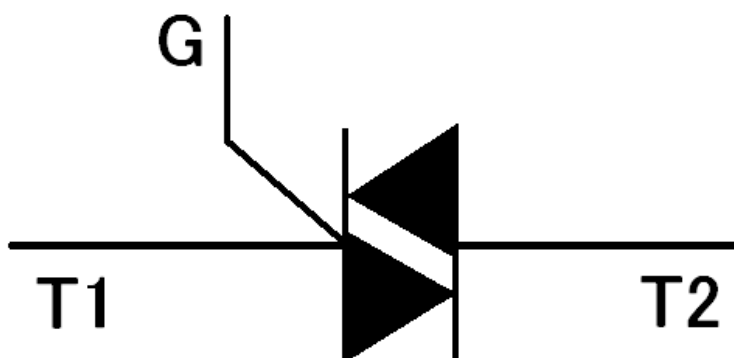
#### 4.3.2 Releohjaus

Relelähdössä ohjausvirtapiiri ohjaa kaapelin päällä oloa. Termostaatin tai jonkin muun laitteen ohjaama relelähde on yleinen tapa ohjata lämpökaapeleita teollisuudessa. Lämpökaapelin päällä olo on sidottu lämpötilaan tai johonkin muuhun prosessille kriittiseen tekijään.

Releohjauksen etuna suoraan lähtöön verrattuna on energiansäästö. Lämmitys on päällä ainoastaan, kun sitä oikeasti tarvitaan. Huonona puolena ovat hieman suuremmat rakennuskustannukset, sillä relelähde vaatii toimiakseen erillisen ohjausvirtapiirin.

#### 4.3.3 Triac-säätö

Triac on puolijohdekomponentti, jota ohjataan tuomalla sen hilalle virtapulssi. Triacin avulla voidaan säätää kuorman menevää tehoa portaattomasti. Triacin huonoja puolia releohjaukseen verrattuna on triacin lämpeneminen. Triacin rakenne on esillä kuvassa 6. (19.)

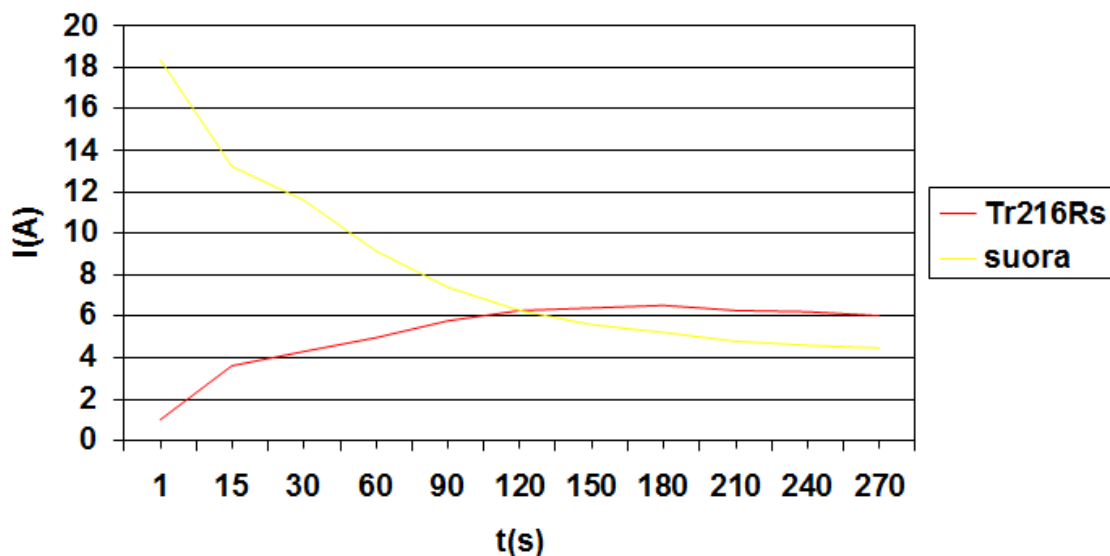


*KUVA 6. Triacin rakenne. Triac alkaa johtamaan, kun hilalle G tuodaan virtapulssi. Virtapulssin polariteetti täytyy olla sama, kuin navoille T1 ja T2 kytketty jännite. (19; 20; 21.)*

Tehonsäätö triacin avulla perustuu ohjaamalla triac johtamaan annetussa vaiheessa kuormajännitteen puoliaaltoa. Tätä hyväksi käyttämällä triac johtaa vain osan energiasta kuormalle. (19.)

Itsesäätävän lämmityskaapelin käynnistysvirtapiikki voidaan eliminoida triac-ohjauksella. Käynnistysvirtapiikki eliminoidaan johtamalla aluksi vain lyhyitä pulsseja energiaa kaapelille. Näin kaapelin lämpötila saadaan nousemaan kuormittamatta syöttökaapelia liiaksi. Pulseja pidennetään ajan kuluessa ja lopulta syöttö jätetään kokonaan päälle. Esimerkki käynnistysvirtapiikin eliminoinnista esitetään kuvassa 7. (22; 23.)

## Käynnistysvirtapiikin eliminointi Tr216Rs:llä (kuormana itsesäätävä lämmityskaapeli)



KUVA 7. Tehoyksikön valmistajan toimittama kuvaaja itsesäätävän lämmityskaapelin tyypillisestä käynnistysvirtapiikistä ajan funktiona (22)

### 4.4 Lämpökaapelipiirien ohjauksen toteutus

Lämpökaapelipiirin ohjaus on toteutettavalla tavalla, joka sopii prosessiin. Mitä kriittisempi prosessin lämpötila on, sitä tarkempaa ja vaativampaa säätöä se tarvitsee.

#### **4.4.1 Ympäristön lämpötilan mukaan ohjattu lämpökaapelipiiri**

Ympäristön lämpötilan mukaan ohjautuva lämpökaapelipiiri on edullinen ratkaisu toteuttaa, sillä tarvittavia komponentteja on vähän verrattuna kohteen lämpötilan perusteella ohjautuvaan lämpökaapelipiiriin. Lämpötila-antureita tarvitaan ainoastaan yksi kenttää kohden.

Ympäristön lämpötilan mukaan ohjautuvassa lämpökaapelipiirissä on yksinkertaisimmillaan ulkoilmatermostaatilla ohjattu kontaktori.

Ympäristön lämpötilan mukaan ohjautuvaa lämpökaapelipiiriä käytetään lähinnä putkistojen sulanapitoon, sillä tällä tavalla putken tarkka lämpötilan ylläpito tai säätö on mahdotonta, sillä lämmitys säätyy ainoastaan ympäristön lämpötilan mukaan eikä putken todellisen lämpötilan mukaan.

Heikkona puolena ympäristön lämpötilan mukaan ohjautuvassa lämpökaapelipiirissä on putken tai prosessin huono lämpötilan säätötarkkuus. Yksittäisien putkien tarkkoja lämpötiloja ei saada selville ja saman säädön takana olevien eri kohteiden lämpötilaa ei voida yksilöllisesti säätää. Myös energiankulutus on suurempi linjakohtaiseen säätöön verrattuna, sillä osa sähkösaatoista saattaa olla turhaan päällä, vaikka niiden ei enää tarvitsisi olla oman lämpötilansa puolesta päällä. (2, s. 11.)

Prosessityypeistä tyyppin I prosessi sopii ohjattavaksi ympäristöön sijoitettavalla lämpötila-anturilla. Vesilinjojen sulanapito voidaan hoitaa ympäristöön sijoitetuilla antureilla.

Lämpötila-anturi tulee sijoittaa siten, että sen lämpötila vastaa kohteen lämpötilaa. Sijoittamisessa tulee ottaa huomioon, ettei anturi pääse altistumaan auringon, puhaltimien, muiden lämmityksien tai rakennusten lämmölle. (3, s. 264.)

#### **4.4.2 Putken lämpötilan mukaan ohjattu lämpökaapelipiiri**

Lämpötila-anturin sijoittaminen putkeen mahdollistaa putken lämpötilan tarkan säädön. Tällä tavalla on mahdollista toteuttaa lämpötilan tarkka säätö ainakin anturin kohdalla. Energiankulutus verrattuna ympäristön lämpötilan perusteella

ohjautuvaan säätöön on pieni, koska lämmitys katkeaa, kun anturin lämpötila saavuttaa halutun arvon lämmityksen seurauksena.

Putken lämpötilan mukaan ohjautuva lämpökaapelipiiri on hieman kalliimpi toteuttaa, koska ohjaukseen tarvitaan enemmän komponentteja. Jokaiseen putkilinjaan pitää tuoda yksi tai useampi lämpötila-anturi putken lämpötilaa tarkkailemaan.

Tyypillinen tapa jakaa lämmityksiä piireihin on pitää päälinja yhdessä tai useamassa lämpökaapelipiirissä ja jokainen pääputkilinjasta lähtevä ”oksa” omaan. Lämpökaapelipiirit tulisi jakaa kokonaisuuden mukaan mahdollisimman järkevän kokoisiin osiin, jotta mahdollisen vian sattuessa vikavaikutus ei olisi kovin suuri. (2, s. 11.)

#### **4.4.3 Prosessin mukaan ohjattu lämpökaapelipiiri**

Sähkösaatto voidaan myös yhdistää laitoksen varsinaiseen automaatiojärjestelmään. Tällä tavalla voidaan säästää energiaa, sillä lämmitys on päällä ainoastaan silloin kun sille on oikeasti tarvetta. Lämmitys voi olla päällä kun putki ei ole käytössä, jolloin saattolämmityksen funktiona on putken sulanapito. Putken käytössä olo päätellään automaatiojärjestelmältä saatavalla tiedolla. Lämmityksen toiminta voi olla sidottuna esimerkiksi venttiilin asentoon, paine-eroon tai virtausmittaukseen. Markkinoilla olevia lämmityssäätimiä voidaan yhdistää yleisimpiin automaatiojärjestelmiin Modbus-protokollan avulla. (24.)

#### **4.5 Hälytykset**

Prosessin kannalta kriittisistä saattolämmityksistä on tärkeää saada tietoa, jos ne vahingoittuvat, niiden toiminnassa tapahtuu häiriöitä tai ne eivät käynnisty. Yleisimpiä hälytystyyppejä ovat vikavirtasuojakytkimen kosketintieto, suurimman sallitun lämpötilan ylittäminen tai alittaminen. Hälytyksen tulisi olla riittävän yksilöllinen, että kunnossapitohenkilökunta osaa reagoida hälytykseen oikein. (25.)

Saattolämmityskeskuksissa voi olla näyttö, johon keskuksen hälytykset kootaan. Isoissa kokonaisuuksissa sähkösaattolämmityksistä tulevat hälytykset on

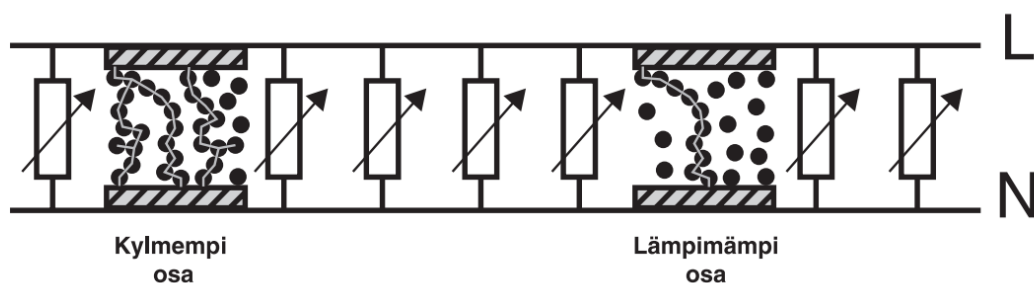
hyödyllistä koota yhdelle sitä varten tarkoitettulle järjestelmälle. Erittäin kriittisissä lämmitystä vaativissa kohteissa hälytys on syytä viedä suoraan tehtaan automaatiojärjestelmälle. (3, s. 256.)

## 5 TEOLLISUUDEN LÄMPÖKAAPELITYYPIT

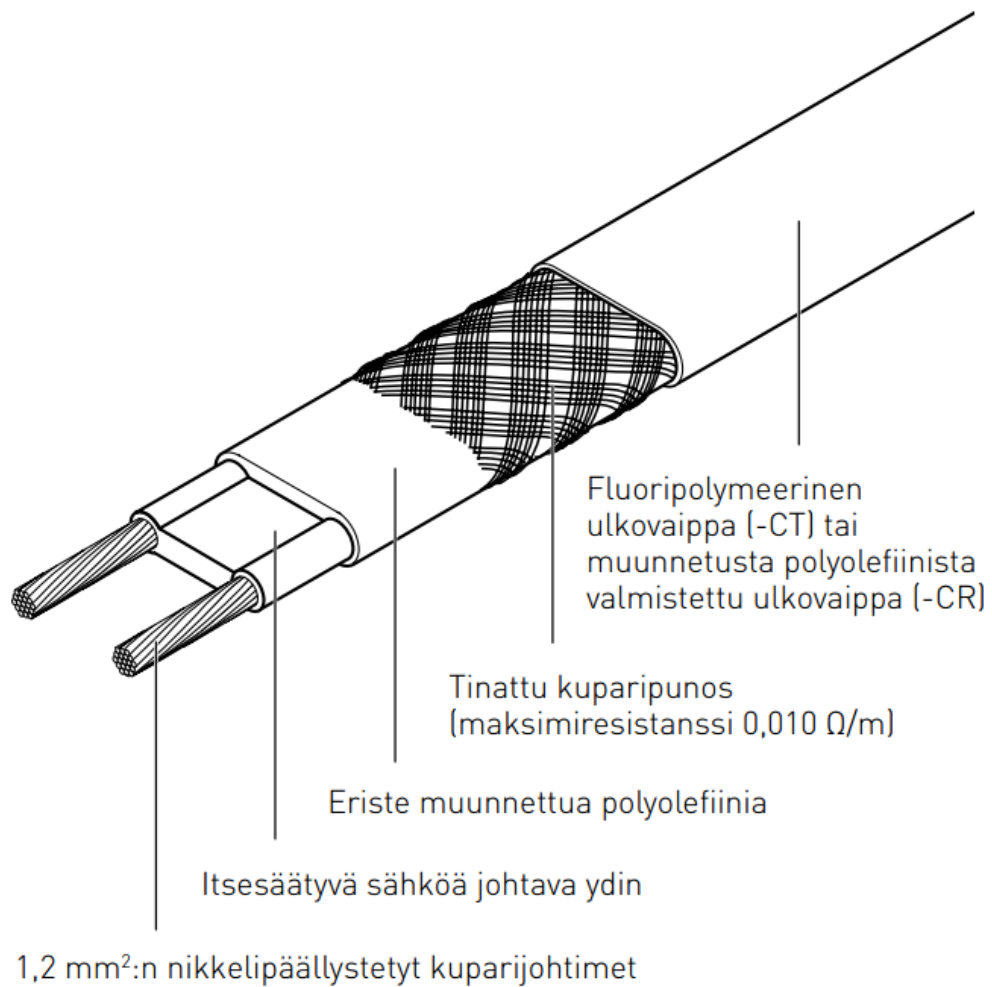
### 5.1 Rinnakkaisresistanssikaapelit

Rinnakkaisresistanssikaapeli on yksinkertaisimmillaan kahden eristetyn kuparijohtimen ja vastusjohtimen muodostama kokonaisuus. Vastusjohtin on kiinnitettynä kuparijohtimiin säännöllisin välein. Näiden päällä on eriste ja vaippa, joka määrää kaapelin lämmönkestävyyden. Kaapelin lämpö muodostuu, kun sähkövirta kulkeutuu vastuksen läpi johtimelta toiselle. (26.)

Yleinen rinnakkaisresistanssikaapeleiden tyyppi on niin kutsuttu itsesäätyvä tai itserajoittuva lämmityskaapeli. Kahden johtimen välissä on vastusmateriaalia, jonka ominaisresistanssi muuttuu lämpötilan mukaan. Itserajoittuvassa kaapelissa PTC-vastus on kiedottu johtimien välille määrämittäin. Itsesäätyvässä kaapelissa vastusmateriaali on sijoitettuna johtimien väliin kaapelin koko matkalta. Itsesäätyvän lämpökaapelin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 7. Erään itsesäätyvän kaapelin rakenne on kuvattuna kuvassa 8. (3, s. 243.)



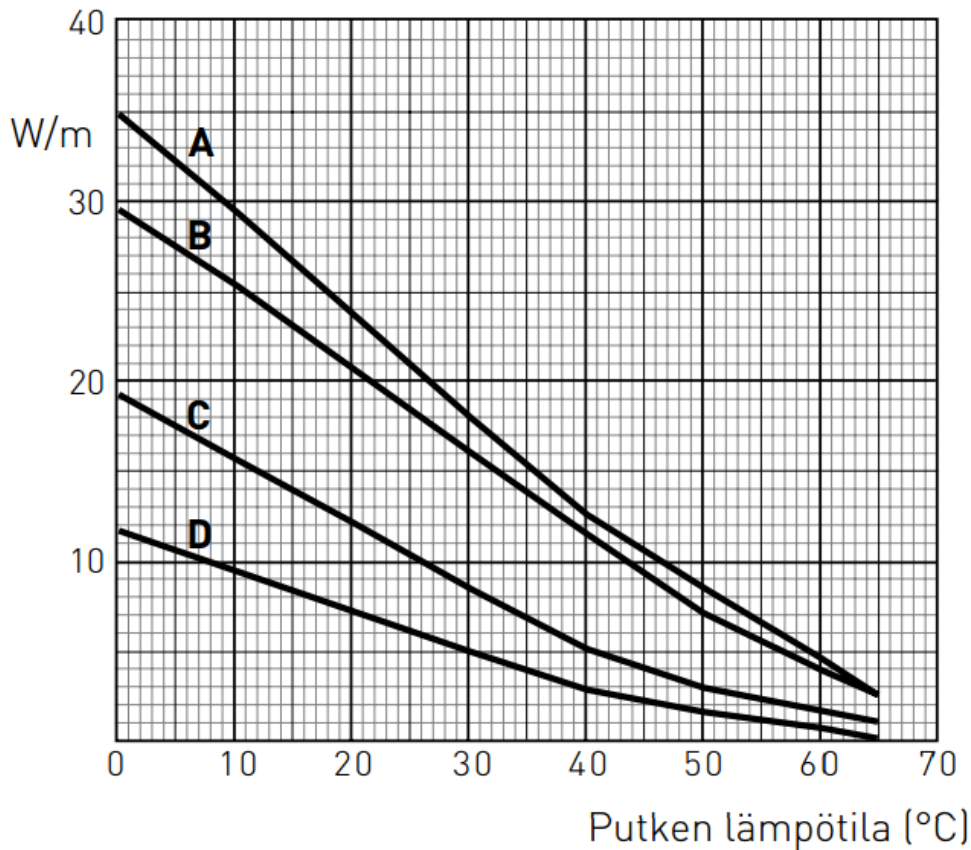
*KUVA 7. Itsesäätyvän lämmityskaapelin toimintaperiaate. Kaapelin kylmässä osassa virralla on enemmän kulkureittejä ja lämpöä muodostuu enemmän. (26.)*



*KUVA 8. Raychemin BTV2-CT-kaapelin rakenne (11)*

Itsesäätyvillä ja itserajoittuvilla kaapeleilla on ominaisteho, joka ilmoitetaan tehona pituusyksikköä kohden. Euroopassa teho ilmoitetaan usein watteina metriä kohden, esimerkiksi 33 W/m. Ilmoitettu maksimiteho toteutuu yleensä vain yhdessä annetussa lämpötilassa. Tästä johtuen nimellistehon lisäksi itsesäätyvien lämmityskaapeleiden teho ilmoitetaan kuvaajan avulla, jossa tehonluovutus esitetään lämpötilan funktiona. BTV2-CT-kaapelin tehokuvaaja on kuvassa 9. Kaapelin rakenne muodostuu kahdesta rinnakkaisesta johtimesta, joiden välillä on esimerkiksi polymeeristä valmistettu materiaali. (11.)





*KUVA 9. Raychemin BTV2-CT-kaapelin metriteho lämpötilan funktiona. Kirjaimin jaotellut käyrät ovat saman sarjan kaapelin eri tehoversioita. (11.)*

Itsesäätävässä kaapelissa lämpö muodostuu, kun sähkövirta kulkee johtavan materiaalin läpi johtimelta toiselle. Ympäristön lämpötilan ollessa alhainen sähkövirralla on paljon kulkureittejä ja lämpöä muodostuu paljon. Lämpötilan noustessa näiden kulkureittien määrä laskee ja lämpöä muodostuu vähemmän. Itserajoittuvassa kaapelissa lämpö muodostuu, kun sähkövirta kulkee johtimelta toiselle johtimien välissä olevan PTC-vastuksen kautta. (26.)

Itsesäätävien lämmityskaapeleiden etuna on helppo asennettavuus ja kaapelin muokattavuus. Kaapeleita voidaan asettaa itsesäätävyyden ansiosta päällekkäin kaapelia vaurioittamatta. Itsesäätävien kaapeleiden energiankulutus on myös pientä, sillä turhaa lämmittämistä ei rakenteen ansiosta tapahdu. Säätepiirin rakentaminen itsesäätävän kaapelin yhteyteen ei ole pakollista, mutta sillä voidaan säästää energiaa. (27.)

Itsesäätyviä kaapeleita kannattaa käyttää kohteissa, jotka eivät ole pituudeltaan tunnettuja, sillä itsesäätyvän kaapelin voi katkaista poikki mistä tahansa kohdasta muokkaamatta sen lämmitysominaisuuksia. Kaapelin katkaisukohtaan tehdään kullekin kaapelille ominainen loppupääte. Kaapelia voidaan myös vika-tilanteissa korjata katkaisemalla se vikaantuneesta kohdasta, poistamalla vikaantunut kaapeli ja jatkamalla se samantyyppisellä kaapelilla edelleen toimivaan osaan. Itsesäätyvillä lämmityskaapeleilla toteutettava sähkösaatto ei välttämättä tarvitse toimintaperiaatteestaan johtuen erillistä säätöpiiriä. (26.)

Itsesäätyvien lämpökaapeleiden ongelmana voidaan pitää suurta käynnistysvirtapiikkiä, korkeaa hintaa ja lämmön kohdistamista. Suuri käynnistysvirtapiikki rajoittaa lämpökaapelipiirien pituutta, sillä liian suuri virtapiikki laukaisee johdon-suojakatkaisijan. Käynnistysvirtapiikki on sitä suurempi mitä alhaisempi itsesäätyvän lämmityskaapelin lämpötila on sillä hetkellä kun siihen aletaan johtamaan sähköä. Suuresta käynnistysvirtapiikistä suhteessa kaapelin käyttövirtaan esitetään kuvassa 10. (3, s. 251.)

Lämpökaapelipiirit ja suojalaitteet täytyy mitoittaa niin, että kytkentävirta ei laukaise käytössä olevaa ylivirtasuojaa alhaisissakaan lämpötiloissa. Teollisuudessa ajoittain tapahtuvat satunnaiset ja suunnittelemattomat sähkökatkot voivat aiheuttaa ongelmia talviaikaan, jos lämpökaapelipiiri on suunniteltu liian pitkäksi. Lämpökaapelipiiriä ei saada enää lämpiämään laukaisematta turvalaitetta. Käynnistysvirtapiikki voidaan eliminoida triacilla. (3, s. 251.)

### Electrical Data:

Pipe Segment Oper. Load:	1,69 kW
Circuit Operating Load:	1,69 kW
Circuit Operating Current:	6,3 A
Circuit CB Current:	22,0 A
Circuit Length:	61,9 m

*KUVA 10. Erään lämpökaapeliin tiedot TraceCalc Pro2 -ohjelmalla lasketuna. Kaapelin käynnistysvirtapiikki on 22 ampeeria -40 °C:ssä. Ruutukaappaus TraceCalc Pro 2 -ohjelmasta.*

Itsesäätyviin lämpökaapeleihin voi muodostua myös ns. kylmiä alueita, mistä käyttäjä ei ole tietoinen. Kaapeli näyttää toimivan, mutta todellisuudessa kaapelissa on useita alueita, jotka eivät enää lämmitä oikein. Nämä kylmät alueet voivat johtua kaapelin asennuksen aikana tulleista vaurioista, käyttöiän loppumisesta tai kaapelin heikosta laadusta. (24.)

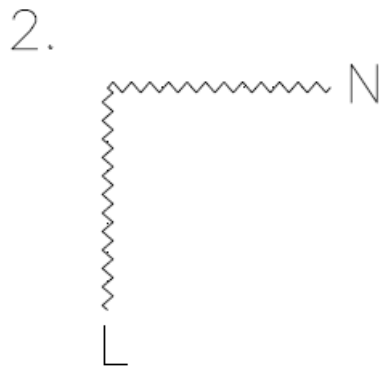
Itsesäätyvien etu vakiovastuskaapeleihin nähden on katkaistavuus. Lämpökaapeliin on myös edullista toteuttaa itsesäätyvien kaapeleiden avulla sillä erillistä säätöpiiriä ei kaapelin itsesäätyvän rakenteen johdosta välttämättä tarvita. Mikäli lämpökaapelilla ei ole tilaan hyväksyttyä lämpötilaluokitusta lämpökaapelin pintalämpötila on tarpeen rajoittaa.

Itsesäätyvien kaapeleiden korkean metrihinnan takia ne soveltuvat paremmin pieniin ja lyhyitä määriä kaapelia vaativiin kohteisiin. (28, s. 6.)

## 5.2 Sarjaresistanssikaapelit

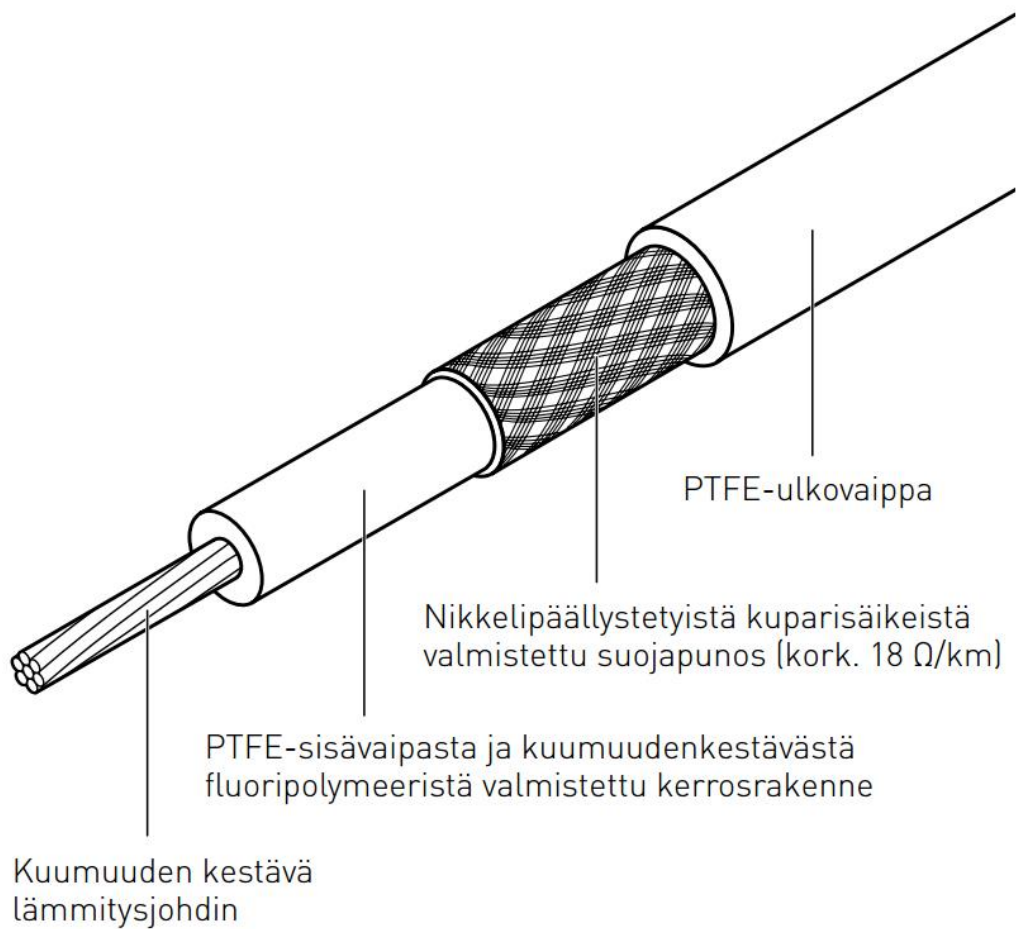
Sarjaresistanssikaapelit tunnetaan myös nimellä sarjavastuskaapeli tai vakiovastuskaapeli. Kaapeleissa lämmön muodostaa sen keskellä oleva vastusjohdin. Vakiovastuskaapelilla on ominaisvastus, esimerkiksi 5  $\Omega$ /m. 1-johdinkaapelissa johdin toimii vastuselementtinä, joten kaapeli täytyy asentaa silmukaksi. 2-

johdinkaapelissa toinen kaapeli toimii vastuselementtinä ja toinen nollajohtimena. 1-johtimisen kaapelin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 11 ja erään 1-johdinkaapelin rakenne on esillä kuvassa 12. (14; 29.)



*KUVA 11. 1-johdinkaapelin periaatekuva*

Vakiovastuskaapelit ovat itsesäätyviin lämmityskaapeleihin verrattuna edullisia ja niiden säätäminen on helppoa lämmityskaapeleiden säätöön tarkoitetuilla säätimillä. Käyttämällä tarpeeksi suurta varmuuskerrointa, eli ylimitoittamalla lämmityskaapeli ja tehonsäätöä hyväksikäyttämällä saadaan vaativiin olosuhteisiin tehoreserviä, mikäli se on tarpeen. Usein käytettävä varmuuskerroin vaihtelee 1,3–1,5 välillä. (2, s. 9.)



*KUVA 12. Raychemin HEW-Therm XPI –sarjavastuskaapelin rakenne (30)*

Vakiovastuskaapeleiden ongelmana on niiden määrämittäisyys. Kaapeleiden asennusympäristö täytyy olla tarkasti tunnettu, sillä kaapeleita ei voida katkaista satunnaisista paikoista, jos halutaan säilyttää kaapeleiden ilmoitetut ominaisuudet. Kaapelia lyhentämällä tai pidentämällä sen teho pituusyksikköä kohden kasvaa tai laskee. (2, s. 23.)

Vakiovastuskaapelit ovat hankintakustannuksiltaan alhaisempia kuin itsesäätävät lämmityskaapelit. Alhaisempien kustannuksien takia ne soveltuvat paremmin suurempiin kohteisiin.

Teollisuuden sarjaresistanssikaapeleiden päätyypit ovat mineraalieristeiset ja teflon- silikonivaippaiset kaapelit. Mineraalieristeiset sarjaresistanssikaapelit soveltuvat erityisesti ylläpitämään erittäin korkeita lämpötiloja. Johdinmateriaalina käytetään tilanteen mukaan kuparia, kupari-nikkeliä tai rautaa. Mineraalieristeisissä kaapeleissa mineraalieristeinä käytetään magnesiumoksidia, jonka sulamispiste on 2800 astetta. Kaapelin vaippana on yleensä yhtenäinen metallivaippa, jonka materiaali vaihtelee ruostumattomasta teräksestä erilaisiin kupari-seoksiin. Ruostumattomalla teräsvaipalla varustetut lämmityskaapelit sopivat kohteisiin joiden ylläpitolämpötila on yli 200 °C:a. (31; 32.)

Teflon- ja silikonikumivaippaisten kaapeleiden hyvänä ominaisuutena pidetään niiden soveltuvuutta vaikeisiin olosuhteisiin. Kaapelit kestävät hyvin ympäristöissä, joissa esiintyy korrodoivia ja syövyttäviä aineita. Kaapelit eivät sovellu yhtä lämpimiin olosuhteisiin kuin mineraalieristeiset kaapelit. (2, s. 23.)

Kolmantena vakiovastuskaapelityyppinä voidaan pitää teollisuuden ulkopuolella käytettäviä lämpökaapeleita. Monet lattia- ja laattalämmityskaapeleista kuuluvat tähän ryhmään. Tyypillistä näille kaapeleille ovat erilaiset koostumukset eri valmistajien tuotteissa ja matalat lämpötilat.

## 6 SÄHKÖSAATTOJEN TOTEUTTAMINEN SUODATTIMILLE

Teoriatarkastelun jälkeen toteutettiin sähkösaatot annettuun kohteeseen vaatimusten mukaisesti. Sähkösaattavana kohteena oli kaksi suodatinta ja yksi varolinja. Suodattimet ovat rakenteeltaan pieniä säiliöitä. Suodattimien kohdalla sähkösaattavana olivat myös suodattimien varolinjat. Kohde sijaitsee suomalaisella kemiantehtaalla.

Suodattimissa ja niihin johtavissa putkistoissa kuljetetaan muurahaishappoa, jonka vahvuus vaihtelee. Suodattimien tarkoituksena on puhdistaa lastaukseen siirtyvä lopputuote. Suodattimet sijaitsevat ulkotiloissa, joten ne ovat suoraan altistuksissa ulkoilman lämpötiloille.

Molemmille suodattimille toteutettiin omat lämpökaapelipiirit. Kolmantena lämpökaapelipiirinä toteutettiin varolinjan sähkösaatto. Tällä ratkaisulla pyrittiin minimoimaan mahdollista vikavaikutusta.

Alueella on käytössä laajalti Planrayn sähkölämmityksien ohjausjärjestelmiä. Planray on kotimainen yritys, joka on ollut toiminnassa vuodesta 1992. Planrayn sähkösaattolämmitysten ohjausjärjestelmä on moduulirakenteinen. Ohjausyksikköön voidaan liittää ominaisuuksia tarpeen mukaan. (33.)

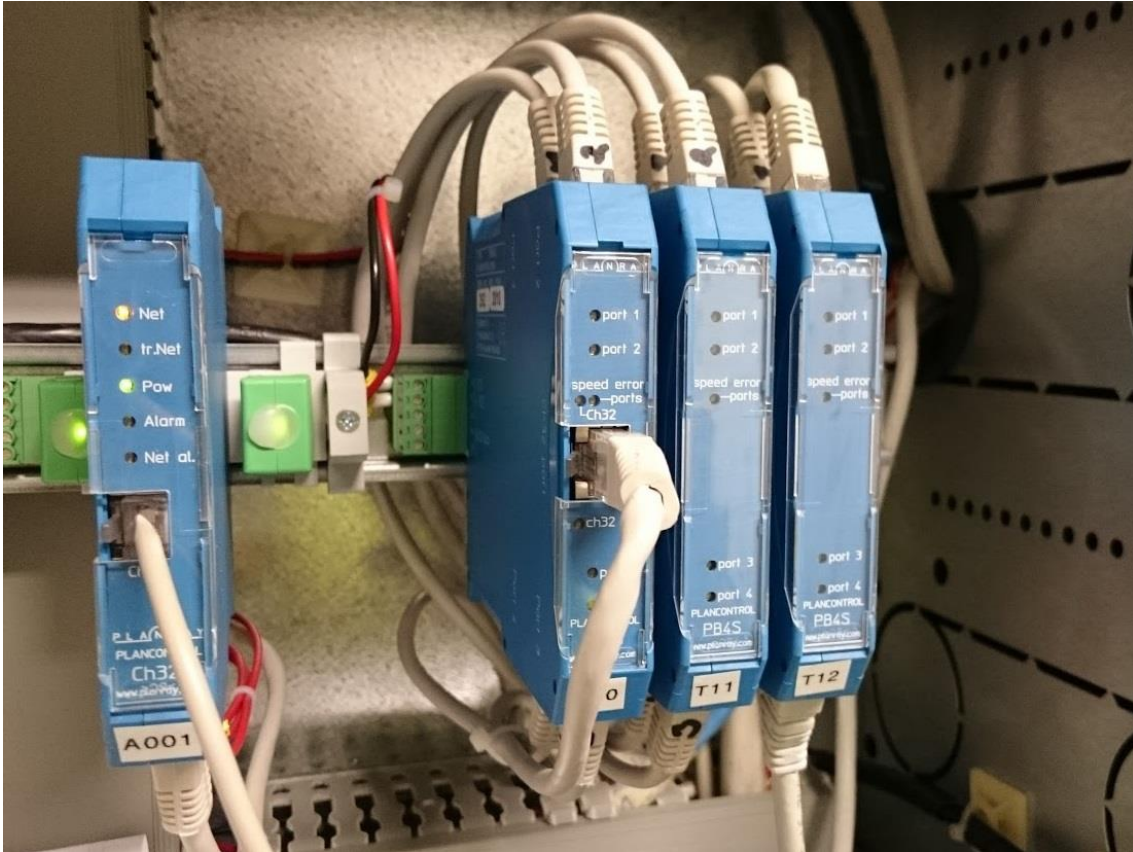
Teollisuuden sähkösaattojen ohjaukseen keskittyviä ohjausjärjestelmiä on markkinoilla paljon eri valmistajilta. Muita valmistajia ovat esimerkiksi Chromalox ja Elset. (34; 35.)

### 6.1 Ohjausyksikkö

Sähkösaattokeskuksessa oli käytössä Planrayn sähkölämmitysten ohjausjärjestelmä. Järjestelmän ohjausyksikkönä oli Planrayn valmistama Ch32.

Ch32-ohjausyksikköön voidaan yhdistää 32 lämpökaapelipiiriä, joita ohjausyksikkö ohjaa ja valvoo. Väylärakenteella toteutettu järjestelmä mahdollistaa erilaiset tavat ohjata ja valvoa lämmityksiä. Moduulisen rakenteen ansiosta Ch32-oh-

jausyksikköön on liitettävissä tehoyksiköitä, releyksiköitä, tuloyksiköitä, lämpötilalähettä, lämpötilarajoittimia, keskitinyksiköitä ja virranmittausyksiköitä. Ohjausyksikkö ja keskitinyksiköt ovat kuvassa 13.



*KUVA 13. Ohjausyksikkö ja keskitinyksiköitä*

Ch32-ohjausyksikköä voidaan ohjata ChD-käyttöliittymällä. Ch32 voidaan yhdistää PMan Line -ohjelmistoon. Ch32:n yhdistäminen tietokoneelle tapahtuu ChG-väyläliityntäyksikön kautta. Kuvassa 14 on ChD-käyttöliittymä perusnäkökulmasta.





*KUVA 14. ChD-käyttöliittymä. Perusnäkyssä voi tarkastella valitun lämpökaapelipiirin asetusarvoa ja lämpötilatietoa.*

Planrayn tuotteet ovat yhdistettävissä PMan Line -ohjelmistoon, joka on sähkösaattojen hallintaan tarkoitettu ohjelmisto. PMan Line tukee Planrayn koko tuotekantaa. PMan Linellä on mahdollista hallita saattolämmityksiä, tarkastella kohteiden lämpötilakuvaajia, kuitata tiettyjä hälytyksiä ja raportoida huoltotoimenpiteitä.

## **6.2 Tehoyksikkö**

Tr216Rs-tehoyksikkö pystyy ohjaamaan yhtä lämpökaapelipiiriä. Tehoyksikölle voidaan tuoda kaksi lämpötilatietoa, toinen lämpötilan säätöä varten ja toinen lämpötilan rajoittamista varten. Lämpötilan rajoittamisella tarkoitetaan kaapelin pintalämpötilan rajoittamista, joka on tarpeen esimerkiksi räjähdysvaarallisissa tiloissa. Kaapelin pintalämpötilan tulee olla alhaisempi kuin kaasuseoksen syttymislämpötilan. Tr216Rs on kuvattuna kuvassa 15.



*KUVA 15. Tr216-tehoyksikkö toiminnassa. Pow-valo kertoo laitteen saavan käyttöjännitteen ohjausyksiköltä. Alarm-valo kertoo punaisella valolla mahdollisesta hälytyksestä. Power feed –valo ilmaisee lämmityskaapelin olevan toiminnassa.*

Lämpötilatietojen lisäksi tehoyksikölle voidaan tuoda vikavirtasuojan kosketintieto. Tällöin vikavirran laukeaminen aiheuttaa hälytyksen ohjausyksiköllä. Tehoyksiköllä voidaan myös laukaista vikavirtasuoja halutessa itsenäisesti hälytyksen seurauksena. Vikavirran ”keinotekoinen” laukaisu on toteutettu laitteen sisäisillä vastuksilla, jotka aiheuttavat vikavirtasuojan laukaisevan vuotovirran. Vikavirtasuojan laukaisua voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi räjähdysvaarallisissa tiloissa sijaitsevilla lämmityksissä. Kaapelin suurimman sallitun pintalämpötilan ylittyessä on tarpeen katkaista lämmitys välittömästi.

Tehoyksikkö yhdistetään halutun ohjausyksikön väylään kytkemällä parikaapeli tehoyksikön ja ohjausyksikköön yhdistetyn keskitinyksikön välille. Tehoyksikkö saa 24 voltin käyttöjännitteensä tästä väylästä. Tehoyksikkö yksilöidään sen etupaneelissa olevilla kytkimillä. Samaan ohjausyksikköön ei saa olla kytkettynä samoilla tunnuksilla olevia laitteita.

Tr216Rs sopii kaikenlaisille lämmityskaapeleille. Itsesäätyviä lämmityskaapeleita varten tehoyksikössä on pehmokäynnistysominaisuus, joka käyttää hyväksi nollapisteliipaisua. Pehmokäynnistysten tarkoituksena on eliminoida itsesäätyville lämmityskaapeleille ominaista käynnistysvirtapiikkiä. Jos käynnistysvirtapiikkiä ei eliminoida voi seurauksena olla syöttökaapelin ylikuormittuminen ja johdonsuojakatkaisijan toimiminen. Käynnistysvirtapiikin eliminointi on nähtävissä kuvassa 7.

Mikäli lämpökaapelipiiri on suunniteltu liian pitkäksi, sähkökatkon seurauksena kylmenneet itsesäätyvät lämmityskaapelit voi olla vaikea saada takaisin toimintaan ilman pehmokäynnistystä. Tämä korostuu erityisesti talviaikaan, sillä käynnistysvirtapiikki kasvaa lämpötilan laskiessa.

Tehoyksikön tehonsäätömenetelmänä on nollapisteliipaisu. Tehoyksikkö ohjaa kuormalle virtaa jakamalla sekunnin osiin. Osan sekunnista kuormalle syötetään virtaa ja osan ajasta virransyöttö kuormalle katkaistaan perustuen tehonsäätöön. Esimerkiksi 60 %:n teholla kaapelille syötetään virtaa 0,6 sekunnin ajan ja 0,4 sekunnin ajaksi syöttö katkaistaan.

Tehoyksikkö mittaa myös virtaa. ChD-käyttöliittymän avulla voidaan lukea lämpökaapelin ottamaa kuormavirtaa sekä lämpökaapelipiirin anturin lämpötilaa.

Hälytyksiä voidaan ohjelmoida aiheutuviksi lämpötilojen ylityksistä tai alituksista, ylivirrasta, vikavirran laukeamisesta, triac-viasta, anturiviasta ja tiedonsiirto-viasta. ChD-käyttöliittymän avulla ohjausyksikön kautta tehoyksikölle voidaan ohjelmoida miten mahdollisiin hälytyksiin reagoidaan. Vaihtoehtoja on vikavirran laukaisemisesta tehonsäätöön. Hälytyksiä voidaan ottaa käyttöön tai jättää pois käytöstä tarpeen mukaan. (23.)

### **6.3 Projektin läpivienti**

Projekti aloitettiin tutustumalla kohteeseen ja selvittämällä vaadittavat lähtötiedot sähkösaattojen toteuttamiseen prosessista vastaavalta henkilökunnalta. Tutustumisen aikaan suodattimia ei ollut vielä rakennettu paikalle, mutta myöhemmin toteutettavista suodattimista saatiin niiden kokoonpanopiirustukset. Lisäksi saatiin prosessin PI-kaavio, josta nähtiin käytössä olevat putkikoot ja toteutettavat eristykset.

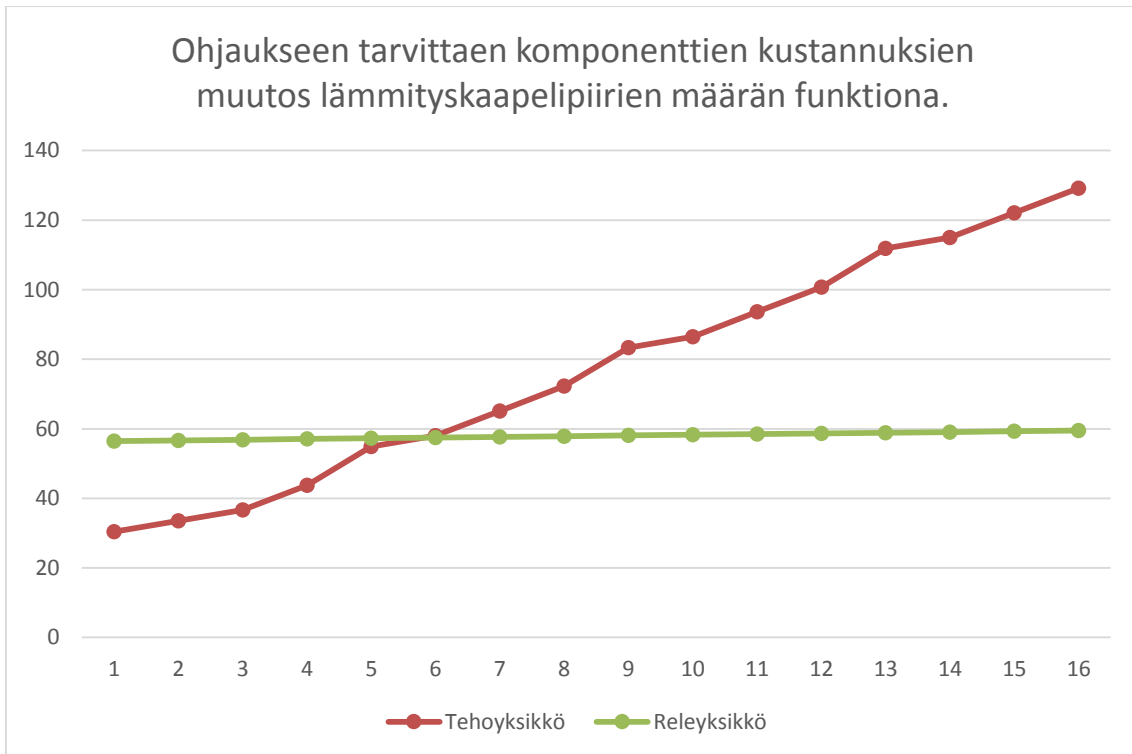
#### **6.3.1 Lähtötiedot**

Lämmityksen toteuttamiselle oli seuraavia ehtoja:

- Putkisto on pidettävänä sulana, kun sitä ei käytetä.
- Prosessiaineen lämpötila ei saa laskea alle 8 °C:n tai lämmetä yli 40 °C:n.
- Saatot täytyy saada yhdistettyä käytössä oleviin järjestelmiin, jotta niistä saadaan hälytykset valvomoon ja/tai PMan Lineen.
- Putkiston lämpötilan täytyy olla luettavissa.
- Lämmityksen täytyy olla säädettävissä.

Seuraavaksi selvitettiin mistä saattolämmityskeskuksista saadaan sähkönsyötöt ja ohjaukset tuleville lämmityskaapeleille. Samalla selvitettiin keskuksissa valmiiksi olevat saattojen ohjaukset, jotta tulevat lämpökaapelipiirit saataisiin yhdistettyä samaan järjestelmään.

Sähkösaattokeskuksessa oli käytössä ohjausyksikkönä Ch32 ja aikaisemmat sähkösaatot oli toteutettu Planrayn erilaisilla tehoyksiköillä. Keskuksesta ei ollut relelähtöjen toteuttamiseen vaadittavia Planrayn yksiköitä valmiiksi. Kustannustarkastelu paljasti, että kyseisessä kohteessa vasta yli viiden lämpökaapelipiirin toteuttaminen tehoyksiköillä tulee kustannuksiltaan suuremmiksi kuin relelähtöjen toteuttaminen. Kuvaaja kustannuksien muutoksesta on kuvassa 16.



*KUVA 16. Kustannuksien muuttuminen, kun lämmityskaapelien ohjaus toteutetaan Planrayn tehoyksiköillä tai relelähdöillä.*

Aikaisemmin toteutettujen sähkösaattojen kytkentöjä tarkastelemalla havaittiin, että keskuksessa olevissa keskitinyksiköissä oli tilaa vielä neljälle tehoyksikölle eli neljälle lämpökaapelipiirille. Keskitinyksiköitä ei tarvinnut siis hankkia lisää tätä projektia varten.

Jonkin muun valmistajan sähkösaattojen ohjausjärjestelmään siirtyminen ei ollut tässä tilanteessa kannattavaa, sillä niiden yhdistäminen muihin käytössä oleviin järjestelmiin olisi tullut kustannuksiltaan kalliimmiksi. Planrayn tuotteet ovat myös tuttuja alueen kunnossapitohenkilökunnalle.

Jos projektin toteutushetkellä olisi ollut tiedossa tulevaisuudessa kyseisestä sähkösaattokeskuksesta toteutettavia sähkösaattoja, keskuksen olisi ollut järkevää rakentaa lämpökaapelipiirien ohjaus releyksiköillä. Yhdellä releyksiköllä on mahdollista ohjata 16:ta lämpökaapelipiiriä. Sähkösaattokeskuksen kiskoilla oli tilaa noin kymmenen lämpökaapelipiirin toteuttamiseen. Ohjauskomponenttien lisäksi sähkösaattokeskuksen kiskoilta vievät tilaa vikavirtasuojat, riviliittimet ja mahdolliset lisättävät etukojeet.

Kaapelireittien selvittäminen sähkösaattokeskuksesta tai sähkökeskuksesta itse lämmityskohteeseen on tärkeää etäisyyden ja kaapelihyllyjen takia. Käytettävän syöttökaapelin poikkipinta-ala määräytyy syöttökaapelin pituuden ja käytettävän johdonsuojakatkaisijan tyypin sekä koon mukaan. Liian pienellä syöttökaapelilla toteutettu sähkösaatto ei toimi jännitehäviöiden takia välttämättä oikein. Syöttökaapelin tyyppi voidaan joutua vaihtamaan teräsarmeeratuksi, jos kaapelia joudutaan kuljettamaan samalla hyllyllä instrumentointikaapelien kanssa.

Projektin vaatimuksissa esitettiin, että putkiston lämpötilan täytyi olla luettavissa, joten lämpötila-anturit kiinnitettiin putkien ulkoseinään lämpökaapelin vastakkaiselle puolelle. Tällä ratkaisulla putken lämpötila on säädettävissä. Toisena mahdollisuutena olisi ollut käyttää ympäristöön sijoitettua lämpötila-anturia ja ohjata lämpötilaa ympäristön lämpötilan mukaisesti, mutta silloin putkesta ei olisi saatu lämpötilaa luettua.

### **6.3.2 Lämmityskaapelin valinta**

Kokoonpanopiirustuksien ja PI-kaavioiden avulla pystyttiin laskemaan sopivat lämmityskaapelit kohteeseen jo ennen kuin suodattimet oli asennettu paikoilleen. Piirustuksista oli nähtävissä sähkösaattavien putkien ja suodattimien koot, jotka on tarpeen tietää ennen kuin lämmityskaapelia lähdetään valitsemaan. Lämmityskaapelit valittiin Raychemin TraceCalc Pro2 -ohjelmaa käyttämällä.

Lämmityskaapeleina päädyttiin käyttämään Raychemin itsesäätyviä lämmityskaapeleita, sillä Raychemin vastaavia itsesäätyviä lämmityskaapeleita oli käy-

tössä samoissa putkistoissa ja ne olivat toimineet toistaiseksi hyvin. Mitoitusohjelmalla, taulukoita tarkastelemalla ja käsin laskemalla varmistettiin kaapeleiden riittävyys.

Itsesäätyvien lämmityskaapelien käyttöön päädyttiin lämpökaapelipiirin lyhyen pituuden vuoksi, joka oli noin 40 metriä suodatinta kohden. Tilaushetkellä aivan tarkkoja tietoja kaikkien instrumenttien, varolinjojen ja laippojen sijainnista ei ollut tiedossa, joten lämpökaapelipiirin lopullinen ja tarkka pituus oli epäselvä.

Yhtenä vaikuttavana tekijänä kaapelien valinnassa oli myös se, että Raychemin kaapeleiden asentaminen oli ennestään tuttua lämmityskaapeleiden asentajille. Kaapeleiden asentamiseen kuuluu kaapelin kiinnittäminen kohteeseen, kaapelille ominaisten alku- ja loppupäätteiden teko, syöttö- ja anturirasioiden kiinnitys, syöttö- ja ohjauskaapeleiden vetäminen ja kytkentä. Kaapelivalmistaja lupaa 10 vuoden takuun lämpökaapeleille.

Suodattimille asennettiin varolinjoja lukuun ottamatta Raychemin 10BTV2-CT-kaapelia. Kaapelin nimellisteho on 33 W/m 5 °C:n lämpötilassa. Päälinjaa ohuemmissa varolinjoissa käytettiin Raychemin 5BTV2-CT-kaapelia, jonka nimellisteho on 16 W/m 5 °C:n lämpötilassa. Molemmat kaapelit kestävät kohteessa mahdollisesti esiintyvät kemikaalit ja ulkoiset lämpötilat, sillä linjoja ei puhdisteta höyryllä. BTV-kaapeli kestää 65 °C:n lämpötilan jännitteellisenä ja 1000 tunnin ajan 85 °C:n lämpötilalle altistamisen.

Yhden suodattimen ja siihen johtavien putkien laskettu kokonaislämpöhäviö oli 610 W. Kun laskettu kokonaislämpöhäviö kerrottiin käyttämällä varmuuskerrointa 1,5 kokonaislämpöhäviöiksi saatiin 915 W. 10BTV2-CT-kaapelin antoteho mitoituslämpötilassa 20 °C on noin 24 W/m. Kaapelia käytettiin putkistojen saatamiseen yhteensä 43 metriä, joten kaapelin antama lämmitysteho on yhteensä 1032 W 20 °C:n lämpötilassa. Kokonaisvarmuuskertoimeksi muodostui siis 1,7. Kaapelia asennettiin kohteeseen suunniteltua suurempi määrä, koska säiliö-osuuksilla sitä laitettiin suunniteltua tiheämmin suodattimien ympärille. Lämpökaapeli täytyy asentaa suodattimen kaikille puolille. Itsesäätyvän rakenteen johdosta tästä ei aiheudu vaaratilannetta säiliön rakenteille. Kaapelin suurempi

määrä auttaa myös eliminoimaan suodattimen kannakkeista mahdollisesti aiheutuvat suunniteltua suuremmat lämpöhäviöt. Lämpökaapelipiirin suunniteltua pidempi pituus ja siitä johtuva suurempi käynnistysvirtapiikki ei ole ongelma, sillä se eliminoidaan tehoyksikön pehmokäynnistyksellä.

Suodattimissa kulkeva prosessiaine jähmettyy 8 °C:n lämpötilassa, jolloin 10BTV2-CT-kaapelin teho on noin 31 W/m. Prosessiaineen lämpötila ei saa laskea alle 8 °C:n missään tilanteessa. Kokonaislämmitysteho lämmityskaapelilla kyseissä lämpötilassa on noin 1333 W. Varmuuskerroin alhaisimmassa sallitussa lämpötilassa on noin 2,2.

Suodattimen varolinjan kokonaislämpöhäviöt olivat 50 W ja varmuuskerrointa 1,5 käyttäen kokonaislämpöhäviöksi saatiin 75 W varolinjaa kohden. 5BTV2-CT-kaapelin nimellisteho 5 °C:n lämpötilassa on noin 16 W/m ja teho mitoituslämpötilassa 20 °C:tta on noin 12,5 W/m. Kaapelia asennettiin kahdeksan metriä, joten kaapelin antama lämmitysteho on yhteensä 100 W. Kaapelia asennettiin kohteeseen suunniteltua suurempi määrä, sillä kaapelia täytyi kuljettaa muutamia metrejä syöttöpisterasialta päälinjaa pitkin varolinjalle.

Kolmas toteutettu lämpökaapelipiiri oli linjojen yhteinen varolinja. Varolinjan kokonaispituus on noin 25 metriä. Linjan kokonaislämpöhäviö oli 250 W ja lämpöhäviö putkimetriä kohden 10 W. Varmuuskertoimella 1,5 kokonaislämpöhäviöksi saadaan 375 W tai noin 15 W putkimetriä kohden. Lämpökaapelina käytettiin 5BTV2-CT-kaapelia ja kaapelia asennettiin putkilinjaan 32 metriä. Kaapelin kokonaisteho 20 °C lämpötilassa on noin 400 W. Kaapelia asennettiin putkilinjan pituuteen nähden muutamia metrejä ylimääräistä linjassa olevien kannakkeiden ja venttiilien johdosta. Kannakkeiden ja venttiilien kohdalla kaapelia täytyy asentaa lenkille, jotta näiden aiheuttamat normaalia putkilinjaa suuremmat lämpöhäviöt saadaan kompensoitua.

Lämmityskaapeleiden haluttiin soveltuvan myös räjähdysvaaralliseen tilaan tilaluokan mahdollisesti muuttuessa tulevaisuudessa. Tilaluokituksen muuttuessa kaapeleita ei tarvitsisi vaihtaa. Ainoa tehtävä muutos olisi asentaa uudet rajoi-



tusanturit kaapelin yhteyteen. Valittu lämmityskaapelityyppi on lämpötilaluokaltaan T6 tehosta riippumatta, joten se on räjähdysvaaralliseen tilaan suoraan so- piva. Kaapelin lämpötila ei ylitä sen lämpötilaluokitusta koskaan.

Valitulla kaapelilla ja ohjauksella toteutettu ratkaisu on myös energiatehokas. Itsesäätyvän rakenteen ansiosta turhaa lämmittämistä ei tapahdu. Itsesäätyvän rakenteen lisäksi energiaa säästyy myös tehoyksikössä olevan lämpötilasäädön ansiosta, sillä lämmitys katkeaa, kun valittu mitoituslämpötila saavutetaan.

Toinen vaihtoehto lämpökaapeliksi olisi ollut jokin vakiovastuskaapeli. Vakiovas- tuskaapeli olisi täytynyt valita sen jälkeen, kun suodattimet olisi asennettu pai- kalleen, jotta olisi nähty toimilaitteiden ja muiden kuvissa näkymättömien poik- keamien sijainnit. Aikataulujen takia tämä ei ollut mahdollista.

Lämpöhäviöiden laskemisen jälkeen olisi valittu vakiovastuskaapeli, jonka anto- teho olisi vastannut varmuuskertoimellista lämpöhäviötuloa kyseisellä pituu- della. Vakiovastuskaapelien ohjaus olisi voitu toteuttaa samoilla komponenteilla, joita käytettiin asennettujen itsesäätyvien kaapeleiden ohjaukseen. Vakiovas- tuskaapelille olisi täytynyt asentaa myös rajoitusanturi, joka olisi lisännyt instru- mentointikaapelien määrää. Sopivalla vakiovastuskaapelilla toteutettu lämpö- kaapelipiiri olisi ollut kustannuksiltaan noin 40 % halvempi.

### **6.3.3 Syöttö- ja instrumentointikaapeleiden valinta**

Kohteeseen hankittiin tarvittavat määrät syöttökaapeleita ja instrumentointikaa- peleita. Sähkösaattokeskuksen ja syöttöpisterasian etäisyys oli noin 200 metriä, joten sinne valittiin syöttökaapeliksi MCMK 2x6+6 kaikkiin kolmeen lämpökaa- pelipiiriin. Sähkösaattokeskuksen ja syöttörasian välillä saa esiintyä ainoastaan 5 %:n jännitehäviö. Poikkipinta-alaltaan pienemmän syöttökaapelin valitseminen olisi aiheuttanut liian suuren jännitehäviön keskuksen ja syöttörasian välillä.

Lämmitysanturit tuodaan tehoyksikölle kolmijohdinkytkennällä, joten kaksipari- nen instrumentointikaapeli on riittävä yhtä anturia kohden. Lämmitysantureita varten päätettiin vetää kolme kappaletta NOMAK 2x2x0,5+0,5 -instrumentointi- kaapelia.

Anturirasiat sijaitsivat lähellä toisiaan. Yhtenä vaihtoehtona olisi ollut tuoda anturirasioiden läheisyyteen esimerkiksi 12- tai 24-parinen NOMAK-instrumentointikaapeli ja tehdä kenttäkotelo, josta antureille olisi jatkettu kaksiparisella NOMAK-kaapelilla. Tällä tavalla olisi säästetty hieman miestyötunteja ja tulevaisuutta varten kohteessa olisi ollut valmiiksi sähkösaattokeskukselle menevä instrumentointikaapeli lämpötilatietoja varten.

Tulevista projekteista ei ollut tässä vaiheessa tietoa. Projektiin oli jo ennakkoon varattu noin kilometrin verran NOMAK 2x2x0,5+0,5 -instrumentointikaapelia.

#### **6.3.4 Asennukset**

Sähkösaattokeskukseen tehtiin tarvittava sähkösuunnittelu ja kytkennät. Haasteita aiheuttivat osittain vanhentuneet sähkökuvat. Kaikki ohjausjärjestelmät olivat kuitenkin saman valmistajan tuottamia, joten näiden välinen toimintalogiikka oli hyvin samanlaista.

Sähkökeskukseen lisättiin jokaiselle kolmelle lämpökaapelipiirille oma vikavirtasuoja, kolme tehoyksikköä ja riviliittimiä kytkentää varten. Lisätyille laitteille tehtiin tarvittavat kytkennät.

Suodattimien koeponnistuksen jälkeen lämmityskaapelit asennettiin paikoilleen ja niille vedettiin tarvittavat syöttö- ja instrumenttikaapelit. Lämpökaapelit kiinnitettiin putkiosuuksille lasikuituteipin avulla. Säiliöosuuksilla lämpökaapeleiden kiinnittämiseen käytettiin alumiiniteippiä, sillä lasikuituteipin käyttäminen säiliöosuuksilla on hankalaa huonon tartunnan takia. Asennus suoritettiin lämpökaapelin valmistajan ohjeiden mukaisesti.

Kaapeleiden kiinnittämisen jälkeen kaikille lämpökaapeleille tehtiin välittömästi loppupäätteet. Loppupäätteiden tekeminen kentälle asentamisen jälkeen on tärkeää, sillä itsesäätyvän lämpökaapelin sisään ei saa päästä kosteutta. Kosteus kaapelin sisällä aiheuttaa lämmitysominaisuuksien muuttumista.

Syöttö- ja lämmityskaapeleille suoritettiin ennen kytkentää eristysresistanssimittaukset. Mittauksien jälkeen syöttöpiste- ja lämpötila-anturirasiat kiinnitettiin paikoilleen ja lämmityskaapelien kytkennät voitiin suorittaa.

## 6.4 Tehoyksikön käyttöönotto

Käytössä olevaan sähkösaattokeskukseen täytyi käyttöönottaa kolme tehoyksikköä lisää. Kytkentöjen jälkeen tehoyksikön käyttöönottaminen tapahtuu ChD-käyttöliittymän avulla.

Tehoyksikön ja ohjausyksikön välille muodostetun parikaapeliyhteyden jälkeen tehoyksikkö on käyttöönotettavissa. ChD-käyttöliittymällä valitaan vapaa kanava ja syötetään lämpökaapelipiiriin asetukset tehoyksikölle. Syötettiin seuraavat asetukset.

- Ch tyyppi: TC
- Ohj. Tyyppi: Rs-triac
- Ohjaustapa: master
  
- Lämpötilan mittaustapa: triac
- Kytkentä: 1-vaihe
- Kaapeli: itsesäätyvä
- Tc As(A) C: 20
  
- ATS: On
- I aika min: 20
- I alkut. %: 10

Perusasetuksina syötettiin ensin tehoyksikön kanavatyypin. Annettu asetus mittaa lämpötilaa ja ohjaa lämmitystä asetusarvon mukaisesti. Muita vaihtoehtoja olisi asettaa lämpötilan rajoitus tai asettaa lämmitysikkuna, joka käynnistää lämmityksen alarajalta ja lopettaa sen ylärajalla. Kanavan ohjaustyyppiksi valittiin Rs-triac, sillä tässä tapauksessa otettiin käyttöön tehoyksikkö. Toisena vaihtoehtona olisi ollut käyttää releyksikköä.

Ohjaustavalla tarkoitetaan miten tehoyksikkö käyttäytyy ilman yhteyttä ohjausyksikköön. Master-ohjaustavalla tehoyksikkö toimii itsenäisesti annettujen ase-

tusten mukaisesti. Ohjaustavaksi voidaan asettaa myös slave, jolloin ohjauksesta huolehtii ohjausyksikkö. Jos ohjaustavaksi valitaan slave, tehoyksikkö lopettaa toimintansa, kun yhteys ohjausyksikköön katkeaa.

Käytössä ei ollut erillistä lämpötilalähetintä, koska lämpötilatieto tuotiin suoraan tehoyksikölle. Tästä johtuen lämpötilanmittaustavaksi valittiin triac. Lämpötila voidaan tuoda myös erilliseltä lämpötilalähettimeltä tai ohjausyksikön muilta kanavilta.

Tehoyksiköllä voidaan ohjata kaapeleita tarkasti, mutta koska käyttöön tuli itesesäätävä lämmityskaapeli kaapelin tietoihin syötettiin ainoastaan tiedot kytkennästä, kaapelin tyypistä ja lämmityksen asetusarvosta. Kaapelin tietoihin voitaisiin syöttää tiedot kaapelin vastuksesta, pituudesta, rinnankytkennästä ja vaihejännitteestä.

Pääasetuksiin syötettiin viimeisenä tiedot pehmokäynnistyksestä. Kaapelin käynnistysajaksi valittiin 100 minuuttia ja alkutehoksi 10 %:a. Teho nousee 100 %:iin 20 minuutin aikana 10 %:stä.

Näiden asetusten lisäksi otettiin käyttöön hälytykset vikavirran laukeamisesta, PT-100 -anturin rikkoutumisesta ja triac-viasta. Hälytyksistä lähtee hälytys tehtaan prosessivalvomoon, mutta kaapelin syöttöä jatketaan normaalilla teholla. Hälytykset aiheutuvat ainoastaan vakavista kaapelin toimintaan vaikuttavista tekijöistä. Liikat hälytykset saattavat aiheuttaa hidasta hälytyksiin reagoimista.

Asetuksien syöttämisen jälkeen lämmitys kytkettiin päälle. Varmuus lämmityksen toiminnasta saatiin suoraan käyttöliittymän tiedoista, minkä lisäksi kentällä käytiin aistein tarkistamassa lämmityksen toiminta.

## **7 DOKUMENTOINTI**

Dokumentointi on tärkeä osa sähkösaattoja ja se tulee toteuttaa asiaan kuuluvalla tavalla. Valmiit dokumentit viedään kulloinkin käytössä olevaan järjestelmään. Dokumenttien tarkoituksena on todentaa oikein toteutettu saatto ja helpottaa kunnossapitohenkilökunnan työtä.

Dokumenteissa käytettävien putki- ja positiotunnuksien on löydettävä myös kentältä. (2, s. 20.)

### **7.1 Sijoituspiirustus**

Sijoituspiirustuksessa esitetään kytkentärasian ja termostaattien sijainti kaapelireitteineen. Sijoituspiirustus tehdään rakennus- tai aluepiirustus pohjalle.

### **7.2 Virtapiiri- ja johdotuskaavio**

Virtapiirikaaviosta tulee selvittää päävirtapiirin kytkentä, ryhmätunnus ja päävirtapiirin sisältämät laitteet. Virtapiirikaaviosta tulee nähdä myös kaapeleiden kytkentä ja numerointi.

Sähkölämmityksen ohjauksesta tulee selvittää lämmityksen ohjauksen periaate ja toiminta. Esimerkki virtapiirikaaviosta on liitteissä 3, 4 ja 5.

### **7.3 Asennuspiirustus**

Asennuspiirustus esittää kohteen ja lämmityksen, joka kohteeseen on asennettu. Lämmityskaapelin reitti, kaapelinumero ja kaapelin ryhmätunnus tulisi selvittää asennuspiirustuksesta. Lisäksi syöttörasioiden, kaapelin loppupäätteiden ja antureiden sijainnin tulisi selvittää kuvasta. Esimerkki asennuspiirustuksesta on liitteessä 6.

Asennuspiirustus sidotaan yleensä johonkin alueella olevaan kiinteään kohteeseen, jotta lämmityskohteen löytäminen kuvan avulla olisi helpompaa. Teollisuudessa asennuspiirustus tehdään yleensä lämmityskohteen putki-isometrian pohjaan.

## **7.4 Sähkölämmitystaulukko**

Sähkölämmitystaulukko on taulukkomuotoinen dokumentti, josta tulee selvittää olennaiset tiedot liittyen itse lämmityskaapeliin. Olennaisia tietoja ovat kaapelin tunnus, kaapelin tyyppi, kaapelin sähkötekniset ominaisuudet, säätöarvot ja lämmityskohteen tiedot. Esimerkki sähkölämmitystaulukosta on liitteessä 7.

## **7.5 Kaapeliluettelo**

Kunnossapidon kaapeliluetteloon lisätään sähkösaattojen syöttö- ja ohjauskaapelit.

## **7.6 Koestuspöytäkirja**

Sähkösaattojen asentajan tehtävänä on suorittaa vaadittavat mittaukset lämmitys-, ohjaus- ja syöttökaapeleille. Oleellisiin mittauksiin kuuluvat eristysresistanssin mittaus sekä maadoituksen jatkuvuuden tarkistus. Eristysresistanssimitaus tulee suorittaa syöttö- ja lämmityskaapelille. Käytettävä jännite on vähintään 500V tasajännitettä. Syöttökaapelin eristysresistanssin tulee olla vähintään 20 M $\Omega$ . Saattokaapelin eristysresistanssin on oltava vähintään 200 M $\Omega$ . (4, s. 8.)

## 8 YHTEENVETO

Teollisuudessa laajalti käytössä olevat sähkösaattolämmitykset olivat minulle kokonaisuutena lähes täysin uusi asia. Tästä syystä pidin opinnäytetyötä kokonaisuudessaan haastavana, sillä opiskeltavaa ja opeteltavaa asiaa oli paljon.

Kokonaisuutena erityisesti sähkösaattojen toteuttaminen käytännössä oli hyvin opettavaista. Sähkösaattojen toteuttaminen suodattimille oli erittäin haastavaa, sillä kohde sisälsi sähkösaattavia putkisto-osuuksia sekä säiliöosuuksia. Sähkösaaton toteuttaminen pelkälle putkisto-osuudelle on helpompaa suunnittelun näkökulmasta, sillä huomioon otettavia asioita on vähemmän.

Käytännön toteuttaminen opetti myös yhteistyötaitoja eri tahojen välillä. Lisäksi sähkösaattoprojektin toteuttaminen opetti paljon aikatauluttamisen ja huolellisen suunnittelun tärkeydestä.

Sähkösaattojen toteuttaminen suunnittelun näkökulmasta on kolmen eri portaan yhteistyötä. Yhteistyötä joutuvat tekemään putkistosuunnittelijat, sähkösuunnittelijat ja eristäjät. Putkistosuunnittelijoiden tulisi antaa sähkösuunnittelulle tarkat tiedot mitä saatoilta halutaan. Nämä tarvittavat tiedot esiteltiin tässä opinnäytetyössä.

Liitteessä 8 on esimerkki lomakkeesta, jonka prosessin tunteva henkilökunta voi luovuttaa täytettynä sähkösaattoja toimittavalle taholle. Täytetyn lomakkeen lisäksi saatettavasta kohteesta on tärkeää saada PI-kaavio ja mahdolliset koonpanopiirustukset.

Väärillä lähtötiedoilla toteutettu sähkösaatto saattaa aiheuttaa suuria kustannuksia prosessin tahattoman keskeytymisen vuoksi. Huonosti tai osittain huonosti toteutetuilla eristeillä on välitön vaikutus lämmityksen toimivuuteen, joten eristeet täytyy asentaa huolella.

Planrayn sähkölämmitysten ohjausjärjestelmä ei ollut entuudestaan tuttu, mutta selkeän käyttöliittymän ja kattavien dokumenttien avulla käyttöönotto onnistui

hyvin. Järjestelmä on kattava ja tarjoaa paljon mahdollisuuksia sähkösaattojen ohjaukseen.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua käytännönläheisesti teollisuuden saatto-  
lämmityksiin ja toteuttaa sen pohjalta sähkösaatot kohteeseen. Mielestäni ta-  
voitteisiin päästiin. Sähkösaattojen teorialtoteutus on käyty tässä opinnäyte-  
työssä varsin kattavasti läpi ja sähkösaatot saatiin käyttöönotettua menestyk-  
sellä kohteessa.



## LÄHTEET

1. Saattolämmitykset. Koulutusmateriaali. Inspecta koulutus. 2006. Helsinki. Taitotalon kongressikeskus.
2. ST-ohjeisto 11. 2007. Teollisuuden lämmityskaapelit – Suunnittelu ja asennus. Espoo: Sähköinfo Oy.
3. SFS-Käsikirja 604-2. 2009. Räjähdyksvaaralliset tilat. Osa 2: Sähköasennukset, tarkastus ja huolto. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
4. Heat Trace. Mico Electrical Systems. 2011. Saatavissa: <http://www.micoelectrical.net/services-view/commodo-consequat-uis-aute-irure-dolor-in-repreh/>. Hakupäivä 11.10.2015.
5. Lämpötila- ja sadetilastoja vuodesta 1961. Ilmatieteenlaitos. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961>. Hakupäivä 22.10.2015.
6. Saattolämmitys tuotekansio. Porvoo: Are Teollisuus.
7. Sulanapitoratkaisut. Ensto. Saatavilla: [http://www.ensto.com/download/21153\\_sulanapitoratkaisut.pdf](http://www.ensto.com/download/21153_sulanapitoratkaisut.pdf). Hakupäivä: 27.10.2015.
8. Electric Trace Heating, Pipe Heat Loss Chart. 2011. Cable Services Holdings Limited. Saatavilla: <http://www.electrictraceheating.co.uk/chart.html>. Hakupäivä 23.10.2015.
9. Saattolämmitys. Elfoil Oy. Saatavissa: <http://www.elfoil.fi/fi/saat-tol%C3%A4mmitys>. Hakupäivä 22.10.2015.
10. Höyryn myynti. PK Höyrytys ja tehdaspesu Oy. Saatavissa: <http://www.hoyry.fi/palvelut.html>. Hakupäivä 25.9.2015.
11. Raychem BTV itsesäätävä lämpökaapeli. 2013. Pentair. Saatavissa: [http://www.pentairthermal.fi/Images/FI-RaychemBTV-DS-DOC2210\\_tcm488-27344.pdf](http://www.pentairthermal.fi/Images/FI-RaychemBTV-DS-DOC2210_tcm488-27344.pdf). Hakupäivä 22.10.2015.

12. Atex-luokitukset. VEM. Saatavissa: <http://www.vem.fi/toimialaratkaisut/ra-jahdysvaaralliset-ymparistot/atex-luokitukset>. Hakupäivä 11.10.2015.
13. SFS-Käsikirja 600-1, sähköasennukset, osa 1: SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset. 2012. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
14. SILEDUO 2-johdin lämpökaapeli. Pistesarjat. Saatavilla: <http://www.pistesarjat.fi/fi/tuotteet/tuote/sulanapito/sulanapitokaapelit/10432/sileduo-2-johdin-lampokaapeli>. Hakupäivä 23.10.2015.
15. Miten toimii Pt100-anturi. SKS Automaatio. Saatavilla: <http://www.skssensors.fi/faq/miten-pt100-anturi-toimii/>. Hakupäivä 21.10.2015.
16. PT 100. Verkkodokumentti. Pro dual Oy. Saatavilla: <http://www.pro-dual.fi/FI/Tuotteet/L%C3%A4mp%C3%B6tilan%20mittaus/PT%20100>. Hakupäivä 23.10.2015.
17. Kärhä, Petri 2006. Elektroniset mittaukset. Luentomateriaali. Saatavilla: [http://metrology.tkk.fi/courses/S-108.2010/Luento1\\_2006.pdf](http://metrology.tkk.fi/courses/S-108.2010/Luento1_2006.pdf). Hakupäivä 19.10.2015.
18. Tolerances for Pt100 Resistance Thermometers. Universal Thermosensors Limited. Saatavilla: <http://www.universal-thermosensors.co.uk/rtds/rtd-tolerances.htm>. Hakupäivä 21.10.2015.
19. Teittinen, Mikko 2013. Triac-termostaatin kehitys. Mittaustekniikan erikoistyö. Saatavissa: [http://metrology.hut.fi/courses/S-108.erikoistyö/reports/web/Teittinen\\_erikoistyö.pdf](http://metrology.hut.fi/courses/S-108.erikoistyö/reports/web/Teittinen_erikoistyö.pdf). Hakupäivä: 23.10.2015.
20. Blais, Frederick 2013. Switching AC loads with the TRIAC. Saatavissa: <http://electronicsbyexamples.blogspot.fi/2013/06/switching-ac-loads-with-triac.html>. Hakupäivä 23.10.2015.
21. Rantala, Pekka 2014. Tehoelektroniikan komponentit. Kurssimateriaali. Saatavissa: [http://www.oamk.fi/~pekkar/syksy\\_2014\\_aineisto/Autom\\_ele/Automaation%20elektroniikka%20osa3%20S2014.pdf](http://www.oamk.fi/~pekkar/syksy_2014_aineisto/Autom_ele/Automaation%20elektroniikka%20osa3%20S2014.pdf). Hakupäivä 1.9.2015.

22. Saattolämmityksen ohjausjärjestelmä. Planray Oy. Saatavissa: <http://www.planray.com/binary/file/-/id/15/fid/138/>. Hakupäivä 22.10.2015.
23. Lämmityksen ohjaus- ja valvontajärjestelmä. 2013. Tuote-esite. Kajaani: Planray Oy.
24. Piirainen, Toni 2013. Viisi periaatetta kustannussäästöihin teollisuuden sähkölämmityksissä. Saatavissa: <http://www.promaintlehti.fi/Tuotantototehokkuuden-kehittaminen/Viisi-periaatetta-kustannussäästöihin-teollisuuden-sahkolammityksissa/>. Hakupäivä: 10.10.2015.
25. Käyttöohje PlanControl lämmityksenohjausjärjestelmä. 2012. Kajaani: Planray Oy.
26. Asennus- ja huolto-opas. 1992. Raychem. Saatavilla: <http://onninen.procus.fi/documents/original/13550/5/1/0431002-0431152-82-92-50-80-90-0431003-asennusohje.pdf>. Hakupäivä 26.10.2015.
27. Raychem Technology. California Detection Systems Inc. Saatavissa: <http://www.caldetection.com/tech2.html>. Hakupäivä 25.9.2015.
28. PSK 8101. Saattolämmitykset. Sähkösaattojen hankinta. 2003. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry.
29. Parallel Self Regulating Cables. Pentair. Saatavissa: <http://www.pentairthermal.fi/products/heating-cables/parallel-self-regulating/>. Hakupäivä 1.10.2015.
30. Hew-Therm XPI Polymeerieristeinen (PI) Sarjavastuslämpökaapeli. 2013. Pentair. 2013. Saatavilla: [http://www.pentairthermal.fi/Images/FI-HEWT-HERMXPI-DS-DOC2210\\_tcm488-27324.pdf](http://www.pentairthermal.fi/Images/FI-HEWT-HERMXPI-DS-DOC2210_tcm488-27324.pdf). Hakupäivä 23.10.2015.
31. Sulanapitoratkaisut. Ensto Electric Oy. Saatavilla: [http://www.ensto.com/in-stancedata/prime\\_product\\_julkaisu/ensto/embeds/enstowwwstructure/13213\\_Sulanapitoratkaisut.pdf](http://www.ensto.com/in-stancedata/prime_product_julkaisu/ensto/embeds/enstowwwstructure/13213_Sulanapitoratkaisut.pdf). Hakupäivä 23.10.2015.

32. Tulenkestävät kaapelit. SKS Group Oy. Saatavilla: <http://www.sks.fi/www/kaapelit-lammonkestavat&id=kaapelit-tulenkestava>. Hakupäivä 23.10.2015.
33. Yritys. Planray. Saatavilla: <http://www.planray.com/fi/yritys/>. Hakupäivä: 26.10.2015
34. Heat Trace Controls. Chromalox. Saatavilla: <http://www.chromalox.com/en/catalog/heat-trace/heat-trace-controls>. Hakupäivä 19.10.2015.
35. Saattolämmitys. Are Oy. Saatavissa: <http://www.are.fi/FI/palvelut/teollisuus-ja-logistiikka/saattolammitys/Sivut/etusivu.aspx>. Hakupäivä 23.10.2015.

## **LIITTEET**

Liite 1 Lämpöhäviötaulukko

Liite 2 Esimerkki itsesäätyvän lämpökaapelin tiedoista

Liite 3 Lämpökaapelipiirin piirikuva

Liite 4 Lämpökaapelipiirin piirikuva

Liite 5 Lämpökaapelipiirin piirikuva

Liite 6 Lämpökaapelipiirin asennuspiirustus

Liite 7 Sähkölämmitystaulukko

Liite 8 Sähkösaaton suunnittelun olennaiset tiedot

# Putken lämpöhäviötaulukko (W/putkimetri)

## Lukuohjeet

### Putken lämpöhäviötaulukko

Taulukon arvoihin lisätään varmuuskertoimen 1,3 -1,5. Putken lämpöhäviötaulukon avulla saadaan selville, kuinka paljon tehoa putkimetrille tarvitaan, kun halutaan pitää putkessa kulkeva vesi sulana.

1. Ensimmäisessä sarakeessa on putken ulkohalkaisija
2. Toisessa sarakeessa on eristeen paksuus
3. Seuraavissa sarakeissa lämpötilalla 20 °C...60 °C tarkoitetaan lämpötilaeroa putken ja ympäristön välillä. Eli kun halutaan pitää putki sulana alueella, jossa on kylmimmillään -30 °C, kannattaa valita tutkittavaksi 40 °C sarake. Mitoituksessa on eristeen lämmönjohtavuus 0,035 W/m<sup>2</sup>. (Vuorivilla +10 °C)

**Huom.! Kannakelenkkejä ja venttiilejä ei ole huomioitu mitoituksessa.**

### Esimerkki

Muoviputken ulkohalkaisija on 48 mm, eristepaksuus 50 mm ja lämpötilaero 35 °C. Lämpöhäviöiksi saadaan näin ollen 7,8 W/m. Varmuuskertoimeksi valitaan 1,4, jolloin mitoitustehoksi saadaan 7,8 x 1,4 = 10,92 W/m. Koska lämmityskaapelin ensimmäis-metrikuorma muoviputken pinnalla on 10 W/m, sulanapitoaapeliiksi valitaan Optiheat 10.

Lämpötilaero T<sub>putki</sub> - T<sub>ympäristö</sub>

PUTKEN ULKOHALKAISUJA Ø/MM	ERISTEPAKSUUS MM	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
14	20	3,3	4,9	6,5	8,1	9,8
	30	2,6	4,0	5,3	6,6	7,9
	40	2,3	3,5	4,6	5,8	6,9
	50	2,1	3,1	4,2	5,2	6,3
21	20	4,1	6,2	8,2	10,3	12,4
	30	3,3	4,9	6,5	8,1	9,8
	40	2,8	4,2	5,6	7,0	8,4
	50	2,5	3,8	5,0	6,3	7,5
27	20	4,8	7,3	9,7	12,1	14,5
	30	3,8	5,6	7,5	9,4	11,3
	40	3,2	4,8	6,4	8,0	9,6
	50	2,8	4,3	5,7	7,1	8,5
	80	2,3	3,4	4,5	5,7	6,8
34	20	5,7	8,5	11,3	14,1	17,0
	30	4,3	6,5	8,6	10,8	13,0
	40	3,6	5,5	7,3	9,1	10,9
	50	3,2	4,8	6,4	8,0	9,6
	80	2,5	3,8	5,1	6,3	7,6
42	30	5,0	7,4	9,9	12,4	14,9
	40	4,1	6,2	8,2	10,3	12,4
	50	3,6	5,4	7,2	9,0	10,8
	80	2,8	4,2	5,6	7,0	8,4
48	30	5,4	8,1	10,8	13,6	16,3
	40	4,5	6,7	9,0	11,2	13,5
	50	3,9	5,9	7,8	9,8	11,7
	80	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0
60	30	6,3	9,5	12,7	15,9	19,0
	40	5,2	7,8	10,4	13,0	15,6
	50	4,5	6,7	9,0	11,2	13,5
	80	3,4	5,1	6,8	8,5	10,2
76	30	7,6	11,3	15,1	18,9	22,7
	40	6,1	9,2	12,2	15,3	18,3
	50	5,2	7,9	10,5	13,1	15,7
	80	3,9	5,8	7,8	9,7	11,6
	100	3,4	5,1	6,8	8,5	10,2
89	30	8,5	12,8	17,1	21,3	25,6
	40	6,9	10,3	13,7	17,1	20,6
	50	5,8	8,8	11,7	14,6	17,5
	80	4,3	6,4	8,6	10,7	12,8
	100	3,7	5,6	7,5	9,3	11,2
114	30	10,4	15,6	20,8	26,0	31,2
	40	8,3	12,4	16,5	20,7	24,8
	50	7,0	10,5	14,0	17,5	21,0
	80	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0
	100	4,3	6,5	8,7	10,9	13,0
168	40	11,3	16,9	22,6	28,2	33,9
	50	9,4	14,1	18,8	23,5	28,3
	80	6,6	9,9	13,1	16,4	19,7
	100	5,6	8,4	11,2	14,0	16,8
	120	5,0	7,4	9,9	12,4	14,9
219	40	14,1	21,2	28,3	35,3	42,4
	50	11,7	17,5	23,4	29,2	35,1
	80	8,0	12,0	16,0	20,0	24,1
	100	6,8	10,2	13,6	16,9	20,3
	120	5,9	8,9	11,9	14,9	17,8
273	40	17,1	25,7	34,2	42,8	51,3
	50	14,1	21,1	28,2	35,2	42,3
	80	9,5	14,3	19,1	23,8	28,6
	100	8,0	12,0	16,0	20,0	24,0
	120	7,0	10,5	13,9	17,4	20,9

BTV

**HYVÄKSYNNÄT**

PTB ja Baseefa Ltd ovat hyväksyneet BTV-lämpökaapelit käytettäväksi räjähdysvaarallisissa tiloissa.

PTB 09 ATEX 1115 X ja Baseefa06ATEX0183X  
 Ex II 2 G Ex e II T6 ja Ex II 2 D Ex tD A21 IP66 T80 °C  
 IECEx PTB 09.0056X ja IECEx BAS 06.0043X  
 Ex e II T6 & Ex tD A21 IP66 T80 °C

DNV on hyväksynyt BTV-lämpökaapelit käytettäväksi laivoissa ja siirrettävissä merellä toimivissa yksiköissä.

DNV-sertifikaatti nro E-11564

Tuotteilla on myös hyväksynnät, jotka vaaditaan niiden käyttöön Kazakstanissa, Venäjällä ja muissa maissa. Lisätietoja saa Pentair Thermal Management in edustajalta.

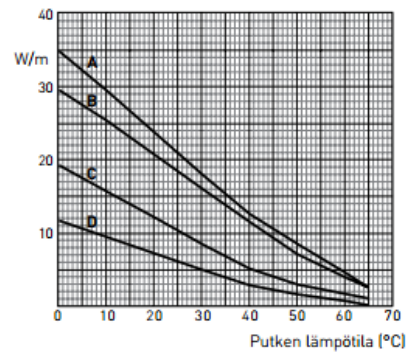
**TEKNISET TIEDOT**

Ylläpito- tai jatkuva altistuslämpötila, maks. (virta kytkettynä)	65 °C
Hetkellinen altistuslämpötila, maks. (virta kytkettynä)	85 °C
	Kumulatiivinen altistus enintään 1000 h
Lämpötilaluokitus	T6
Asennuslämpötila, min.	-60 °C
Minimitaivutussäde	20 °C:ssa: 13 mm -60 °C:ssa: 35 mm

**LÄMPÖTEHO**

Nimellinen lähtöteho 230 V AC  
 jännitteellä asennettuna  
 eristetyille teräsputkelle

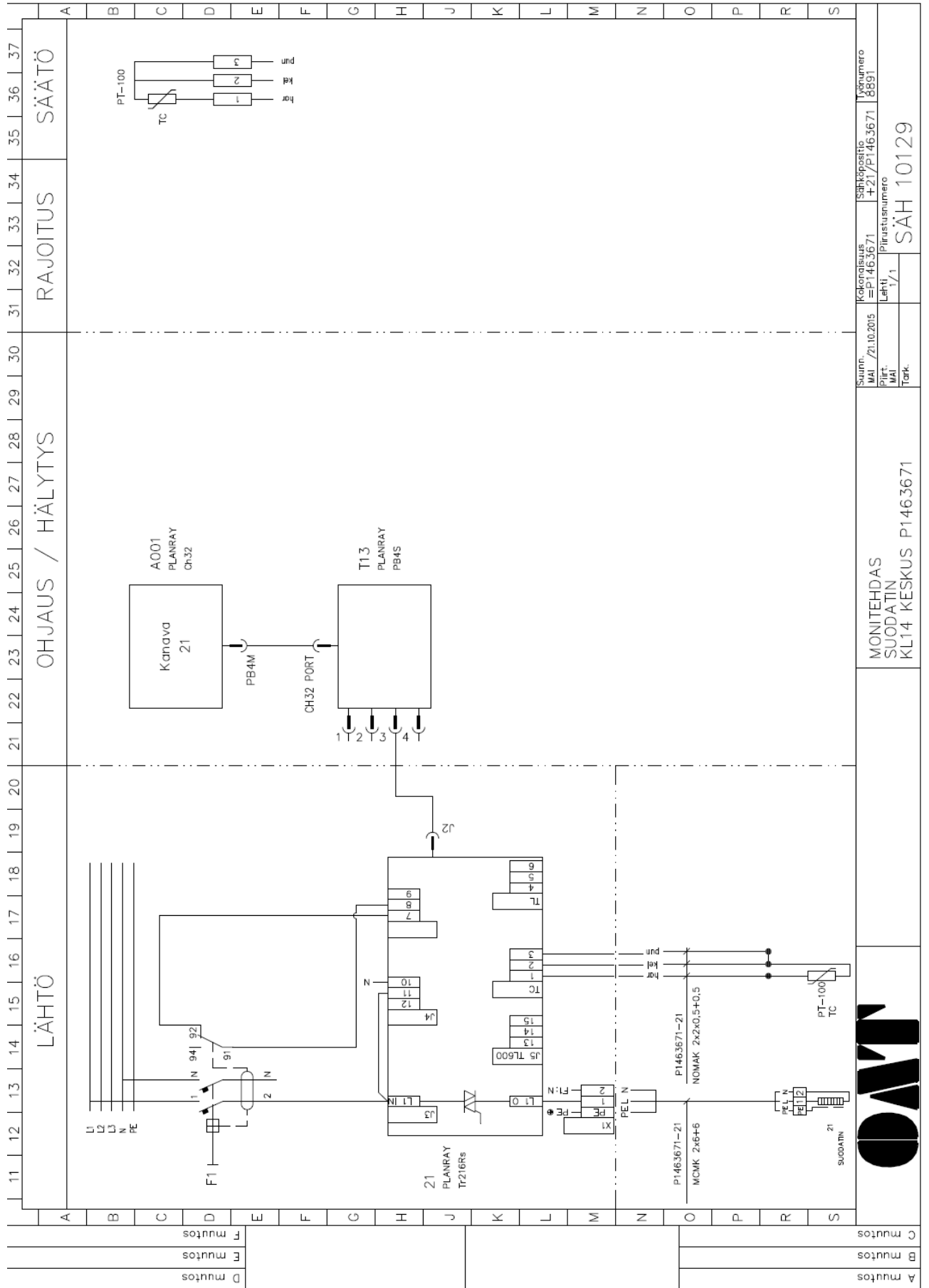
- A 10BTV2-CT  
 10BTV2-CR**  
**B 8BTV-2-CT  
 8BTV-2-CR**  
**C 5BTV2-CT  
 5BTV2-CR**  
**D 3BTV2-CT  
 3BTV2-CR**



	3BTV2-CR 3BTV2-CT	5BTV2-CR 5BTV2-CT	8BTV-2-CR 8BTV-2-CT	10BTV2-CR 10BTV2-CT
Nimellinen lähtöteho (W/m 10 °C:ssa)	9	16	25	29

**TUOTTEEN MITAT (NIMELLISET) JA PAINO**

	3BTV2-CR 3BTV2-CT	5BTV2-CR 5BTV2-CT	8BTV-2-CR 8BTV-2-CT	10BTV2-CR 10BTV2-CT
Paksuus (mm)	5,5	5,5	5,5	5,5
Leveys (mm)	10,5	10,5	15,4	15,4
Paino (g/m)	110	110	153	153



A muutos

B muutos

C muutos

D muutos

E muutos

F muutos

G muutos

H muutos

I muutos

J muutos

K muutos

L muutos

M muutos

N muutos

O muutos

P muutos

Q muutos

R muutos

S muutos

MONITEHDAS  
SUODATIN  
KL14 KESKUS P1463671

Suunn.  
MAI /21.10.2015

Piirt.  
MAI

Tarkk.  
MAI

Kokonaissus  
=P1463671

Sähköpostio  
+21/P1463671

Lehti  
1/1

Piirustusnumero

Jobbnumero  
8891

SÄH 10129

OMT

OMT

OMT

OMT

OMT

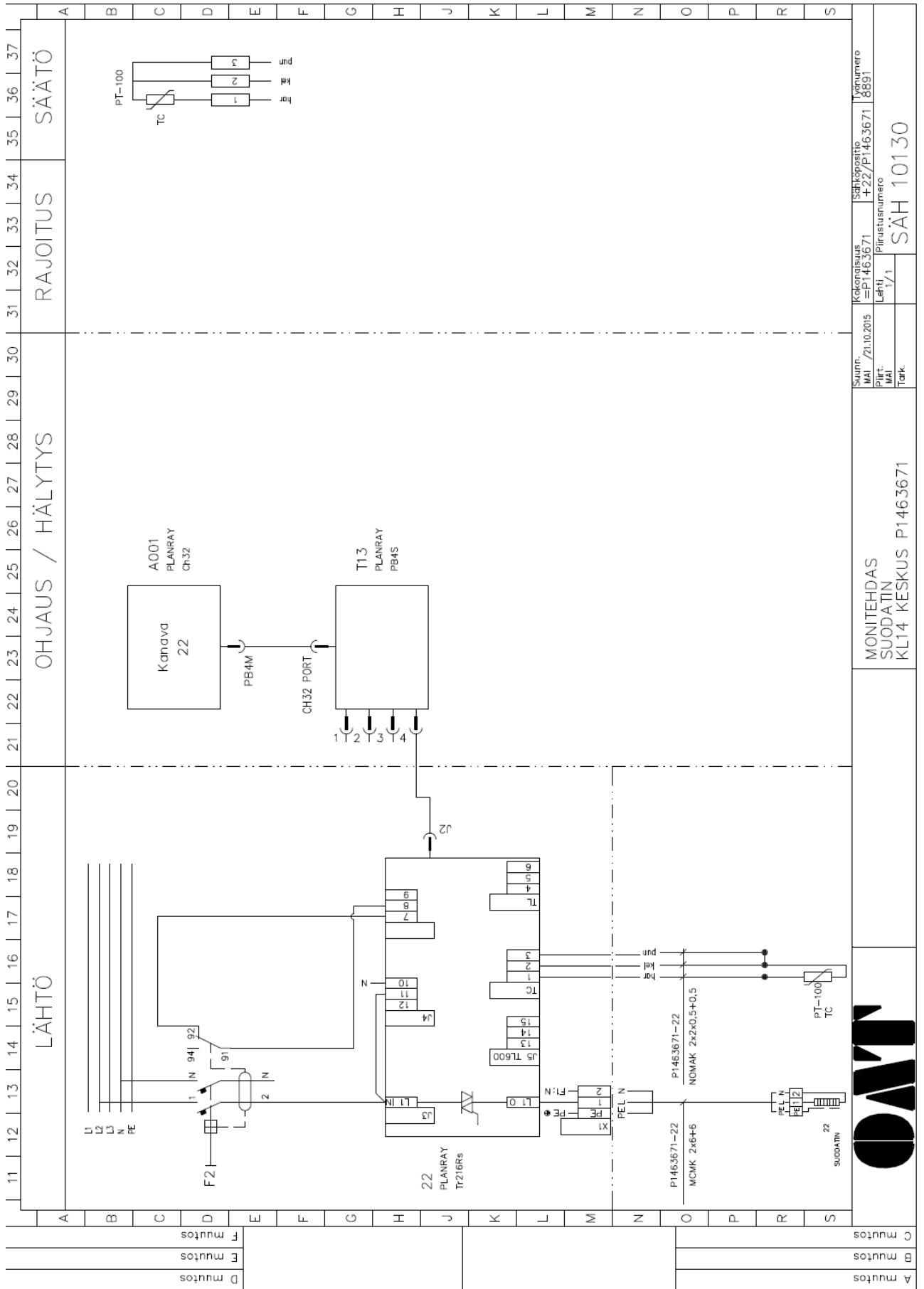
OMT

OMT

OMT

OMT





D muutokset	
E muutokset	
F muutokset	
A muutokset	
B muutokset	
C muutokset	

Suunn. / MAL /21.10.2015	Kokonaissuunn. =P1463671	Sähköpositio +22/P1463671	Työnumero 8891
Piirt. / MAL	Lehti 1/1	Piirustusnumero	
Tark.	SÄH 10130		

MONITEHDAS  
SUODATIN  
KL14 KESKUS P1463671







KESKUS LÄHTÖ	PUTKI/LAITE				LÄMMITYSKAAPELI				LITTYNTÄÄRVOT				LÄMPÖTILA ASETTELU		PIRUSTUKSET		
	NIMI	D/mm	Nw/kpl	S/mm	Δ t/°C	TYYPPI		Lk/m	Lv/m	UVV	P kW	E <sub>k</sub> W/m	E <sub>ak</sub> W/m	IL °C	Ia °C	asennus- pituus/ piirikaavo	N.O
						Ω	Ω										
P1463671	21-SUODATTIN 1				10/10/5ETV2-CT		21+22+8			230	1,5	33		25			
21							3			6,7					40		
P1463671	22-SUODATTIN 1				10/10/5ETV2-CT		21+22+8			230	1,5	33		25			
22							3			6,7					40		
P1463671	23-VAROLINJA				5ETV2-CT		32			230	0,5	15		25			
23							1			2,1		15			40		

D = Putken ulkohalkaisija  
 Rp = resistanssi/piiri  
 Lk = lämmityskaapelin pituus  
 Lk = tehokaapelimetri  
 Nw/Ni = venttilien/venttien lukum.  
 M = kaapelin lukum/putki  
 S = eristyspaksuus  
 Lw/Li = Kaapelia/venttili/luisti  
 U = jännite  
 t = lämpötilaero  
 I = virta  
 Ph = putken lämpöhäviö  
 P = teho  
 Rm = resistanssi/m  
 Pk = tehokaapelimetri  
 Pp = teho/putkimetri  
 Pak = aseteltu kaapeliteho  
 Pap = aseteltu putkiteho  
 TC = säätöterm. asetus  
 TL = rajoitusterm. Asetus  
 Ta = alarajahiällys  
 Ty = ylärajahiällys

Mikä on saatettavan putken materiaali?

Mikä on putken halkaisija/säiliön mitat?

Kuinka paksu on putken ulkoseinä?

Mikä on saatettavan putken pituus?

Onko tilassa johon sähkösaattoa ollaan tuomassa tilaluokitus?

Millä materiaalilla kohde tullaan eristämään ja kuinka paksu eristys tulee olemaan?

Sijaitseeko kohde ulkona vai sisällä?

Mikä on haluttu ylläpitolämpötila?

Mikä on ympäristössä esiintyvä korkein lämpötila?

Mikä on ympäristössä esiintyvä alhaisin lämpötila?

Kuinka suurelle lämpötilalle kaapeli altistetaan, puhdistetaanko putkia höyryllä?

Mikä on putken suurin käyttölämpötila maksimiolosuhteissa?

Kuinka suuri on maksimi sallittu sähkösaaton lämpötila?

Muuta tärkeää?