



Prosessiteollisuuden sähkösaattosuunnittelijan opas

Robert Ritokallio

Opinnäytetyö, AMK

Joulukuu 2023

Sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK)

Ritokallio, Robert

Prosessiteollisuuden sähkösaattosuunnittelijan opas

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Joulukuuc2023, 29 sivua

Tekniikan ala. Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Sähkösaatot ovat merkittävä osa prosessiteollisuuden sähköistystä, mutta aihe on monelle sähkösuunnittelijalle vieras. Aiheeseen liittyviä ajantasaisia ohjeistuksia on myös heikosti saatavilla, joten saattolämmitysten suunnittelu on tuottanut vaikeuksia varsinkin uransa alkuvaiheessa oleville suunnittelijoille.

Opinnäytetyön tehtävänä olikin kattavan ohjeistuksen luominen, joka toimisi myös opetusmateriaalina sähkötekniikan opiskelijoille. Ohjeistuksen laatimista varten opinnäytetyön aikana kerättiin laaja tietoperusta laitevalmistajien materiaalien, aiheeseen liittyvien julkaisuiden, standardien ja alan asiantuntijoiden avulla.

Opinnäytetyö toteutettiin kehittämistutkimuksena, jonka alkuvaiheessa pyrittiin selvittämään suunnittelun haastavimmat aihealueet ja rajaamaan aiheen laajuutta. Opinnäytetyön aikana selvitettiin myös useita erilaisia toimintatapoja, joista pyrittiin valitsemaan parhaat ohjeistusta varten.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi aiheeseen perehdyttävä aineisto, joka toimii opetusmateriaalina sekä apuna prosessiteollisuuden saattolämmitysjärjestelmiä suunnitellessa.

Avainsanat (asiasanat)

Saattolämmitys, sähkösuunnittelu, suunnitteluohje

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Ritokallio, Robert

Guide For Planning the Electrical Heat Tracing in Process Industry

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, December 2023, 29 pages

Degree Programme in Electric and Automation Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Electric heat tracings are a significant part of the electrification in process industries, but the subject is unfamiliar to many electrical designers. Current guidelines related to the topic are also poorly available, making the design of tracing systems challenging, especially for designers in the early stages of their careers.

The task of the thesis was to create a comprehensive guide that would also serve as educational material for electrical engineering students. To compile the guide, an extensive knowledge base was gathered during the thesis, utilizing materials from equipment manufacturers, relevant publications, standards, and industry experts.

The thesis was conducted as a development study, with the initial phase focused on identifying the most challenging areas of design and defining the scope of the topic. Throughout the thesis, various approaches were explored to select the best ones for creating the guide.

As a result of the thesis, informative material was developed, serving as educational material and a tool for designing electric heat tracing systems in process industries

Keywords/tags (subjects)

Electric heat tracing, Electrical design, design guide

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Kehittämistutkimus	6
3	Prosessiteollisuuden saattolämmitykset	7
4	Sähkösaattojen lämmityskaapelit	8
4.1	Vakiovastuskaapelit.....	8
4.2	Vakiotehokaapelit	9
4.3	Itserajoittavat kaapelit	11
4.4	Kylmäkaapelit	12
5	Asennustarvikkeet	13
5.1	Kytkenärasiat ja -kotelot.....	13
5.2	Sidontatarvikkeet	14
6	Ohjaus-, valvonta- ja suoja-aitteet.....	15
6.1	Termostaatit ja anturit	15
6.2	Yksikkösäätimet.....	17
6.3	Valvontalaitteet ja järjestelmät.....	18
6.4	Suojalaitteet	19
7	Suunnittelun vaiheet	21
7.1	Esisuunnittelu.....	21
7.2	Lämmitystehon määrittäminen.....	22
7.3	Lämmityspiirien suunnittelu laskentaohjelmalla	23
7.4	Lyhyet kuumat putkiosuudet	26
7.5	Dokumentointi	27
8	Pohdinta.....	28
	Lähteet	30
	Liitteet	32
	Liite 1. Liitteen otsikko	32
	Liite 2. Liitteen otsikko	33

Kuviot

Kuvio 1. Mineraalieristeinen sarjaresistanssikaapeli (Industrial Heat Tracing Solutions, n.d.)....	8
Kuvio 2. Polymeerieristeinen sarjaresistanssikaapeli (Industrial Heat Tracing Solutions, n.d.)...	9
Kuvio 3. Polymeerieristeinen vakiotehokaapeli (Handbook of Industrial Electric Heat Tracing, n.d.)	10
Kuvio 4. Mineraalieristeinen vakiotehokaapeli (Handbook of Industrial Electric Heat Tracing, n.d.)	11
Kuvio 5. Polymeerieristeinen itserajoittuva kaapeli (Handbook of Industrial Electric Heat Tracing, n.d.)	12
Kuvio 6. Thermon kytkentärasia (KytKentätarvike Thermon JB-K-0 4xM25 Ex, n.d.).....	14
Kuvio 7. Lämmityskaapelin kiinnitys alumiiniteipillä (Teollisuus 150C Alumiiniteippi, n.d.).....	15
Kuvio 8. Mekaaninen kapillaaritermostaatti (4x/7-350235JB, n.d.).....	16
Kuvio 9. Moderni elektroninen termostaatti (TraceNet TCM2, n.d.).....	17
Kuvio 10. Esimerkki sähkösaattojärjestelmästä. (Control And Monitoring: For Process Heating Systems n.d., 7).....	18
Kuvio 11. Vasemmalla Thermonin ja oikealla nVentin itserajoittuvan kaapelin maksimipituus johdonsuojan nimellisvirran mukaan (BSX Self-regulating Heat Tracing, n.d., 1; BTV Self-regulating Heating Cable, n.d., 3).....	20
Kuvio 12. TraceCalc Pro ohjelman käyttöliittymä.....	24
Kuvio 13. Tulokset CompuTrace Express ohjelmasta	24
Kuvio 14. Tulokset TraceCalc Pro ohjelmasta	25
Kuvio 15. CompuTrace Bill Of Materials	26

1 Johdanto

Sähkösaatot eli sähköiset saattolämmitykset ovat oleellinen osa prosessiteollisuuden sähköistystä ja lähes aina myös välttämättömiä prosessin toiminnan kannalta. Sähkösaattojen suunnittelu voi tuottaa vaikeuksia varsinkin aiheeseen perehtymättömälle sähkösuunnittelijalle, kohteiden erityisvaatimusten ja niissä esiintyvien olosuhteiden takia. Erityisesti prosessiteollisuudessa räjähdysvaarallisilla alueilla esiintyvät lyhyet putkiosuudet, joissa putkien halkaisija on pieni ja käyttölämpötila korkea tuottavat lisähaasteita suunnitteluun.

Hyvin toteutettu saattolämmitysjärjestelmä on prosessin toimivuuden ja turvallisuuden kannalta välttämätön. Suunnittelussa onkin erityisen tärkeää huomioida prosessin kriittiset kohteet, joissa saattolämmitysten toimimattomuus tai puuttuminen voivat aiheuttaa välttämättömän vaaratilanteen. Joissain tapauksissa saattolämmitysjärjestelmän puuttuminen, huono suunnittelu tai toimimattomuus voi aiheuttaa prosessissa myös hyvin laajoja häiriöitä, joten suunnittelussa on syytä käyttää erityistä huolellisuutta.

Tämän opinnäytetyön lähtökohtana on luoda aiheeseen perehdyttävä ohjeistus opiskelijoille ja sähkösuunnittelijoille, joilla ei ole aikaisempaa kokemusta saattolämmityspiirien suunnittelusta. Opinnäytetyön tavoitteena on, että luodun aineiston avulla aiheeseen perehtymätön suunnittelija kykenee toteuttamaan yksinkertaisten saattolämmitysjärjestelmien suunnittelua sekä huomioidaan yleisimmät suunnittelukohteissa esiintyvät poikkeavuudet ja erityiskäytännöt, jotka ovat tärkeää huomioida suunnittelun aikana. Ohjeistuksen avulla suunnittelijan onkin tarkoitus kyetä valitsemaan saattolämmityspiirien komponentit ja toteutustavat siten, että järjestelmästä saadaan luotettava ja turvallinen. Työssä on myös esitetty suunnittelua helpottavia ohjelmistoja ja sovelluksia sekä aiheeseen liittyviä standardeja.

2 Kehittämistutkimus

Opinnäytetyö on toteutettu kehittämistutkimuksena. Kehittämistutkimuksessa kehittämisen kohteena voi toimia tuote, menetelmä tai organisaatio. Kehittämistutkimus on yhdistelmä kvalitatiivista ja kvantitatiivista tutkimusta, joten tutkimuksessa aihetta tarkastellaan sekä objektiivisesti,

että subjektiivisesti. Tässä opinnäytetyössä kehitetty suunnitteluohje tarjoaa prosessiteollisuuden sähkösuunnittelijalle menetelmän saattolämmitysjärjestelmien suunnitteluun.

Kehittämistutkimuksen tarkoituksena oli selvittää sähkösaattosuunnittelun työvaiheet, menetelmät ja suunnittelun haasteet. Tutkimuksen avulla kehittämiskohteeksi rajattiinkin prosessiteollisuuden saattolämmitysjärjestelmät, joiden suunnittelussa ilmenee useita suunnittelua hankaloittavia ulkoisia tekijöitä. Työssä pyrittiin keräämään tuoreinta saatavilla olevaa tietoa aiheesta, jotta ohjeistuksesta saataisiin mahdollisimman ajantasainen.

3 Prosessiteollisuuden saattolämmitykset

Prosessiteollisuuden sähkösaatoilla eli saattolämmityksillä tarkoitetaan prosessin osan lämpötilan ylläpitoa sähköisten lämmityskaapeliin avulla. Sähkösaattoja tarvitaan silloin, kun prosessiaineen virtauksen lämpöenergia ja kohteen eristys eivät riitä halutun lämpötilan ylläpitämiseen. Tyypillisesti saattolämmityskaapelit sijoitetaan lämmitettävän kohteen ja tätä ympäröivän eristeen väliin, mutta erittäin kuumissa kohteissa saatetaan joutua käyttämään kaksoiseristystä, jolloin kaapeli sijoitetaan kahden eristekerroksen väliin.

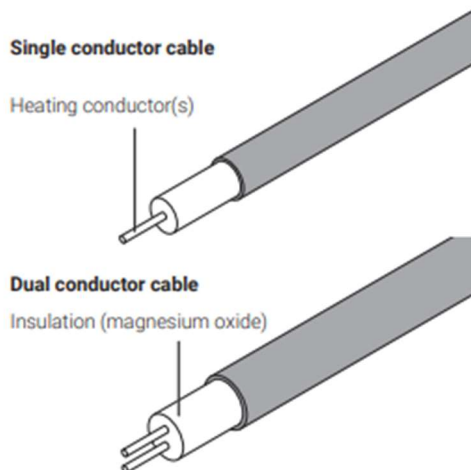
Suomessa prosessiteollisuuden sähkösaatot keskittyvät pääasiassa putkien, säiliöiden, pumppujen ja instrumenttien sulanapitoon ja prosessissa seisovan aineen jähmettymisen estoon. Kun saattolämmitystä käytetään prosessin osan lämpötilan nostamiseen käyttölämpötilaan, on kyseessä ylläpitolämmitys. Sähkösaattojen tavoitteena on ehkäistä järjestelmässä siirrettävän prosessiaineen jäätymistä, jähmettymistä, paakkuuntumista, pisaroitumista tai muita aineen prosessointia haittaavia ilmiöitä. Saattolämmitystä vaativia prosessiaineita voivat olla esimerkiksi nesteet, jauheet ja kaasut. (Handbook of Industrial Heat Tracing, n.d., 8.)

Sähkösaattojärjestelmien ohjaus tapahtuu yleensä joko prosessin lämpötilan paikallisella mittauksella tai keskitetyllä, esimerkiksi ympäristön lämpötilan mukaan tapahtuvalla ohjauksella. Keskitettyä ohjausta käytetään lähinnä useiden sulanapitopiirien samanaikaiseen ohjaukseen.

4 Sähkösaattojen lämmityskaapelit

4.1 Vakiovastuskaapelit

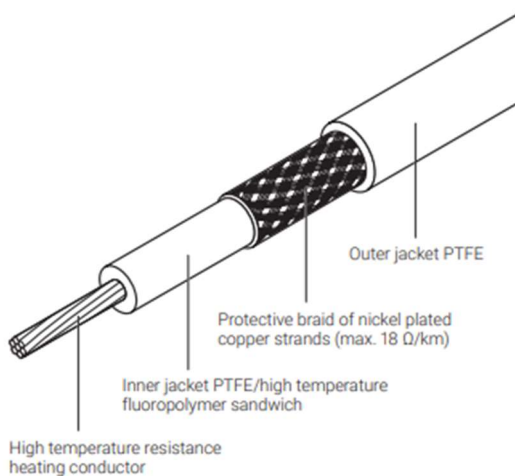
Vakiovastus- eli sarjaresistanssikaapelin toiminta perustuu nimensä mukaisesti lämmityskaapelin johtimen resistanssin tuottamaan lämmitystehoon. Koska vakiovastuskaapelin lämmitysteho metriä kohden pysyy vakiona käytettäessä nimellisjännitettä, on kaapelin pituus mitattava tarkasti, jotta haluttuun lämmitystehoon päästään. (Sähkötieto & Autio, I. 2007, 15–19.) Vakiovastuskaapelit voivat olla mineraali- tai polymeerieristeisiä. Mineraalieristeiset vakiovastuskaapelit mahdollistavat korkeammat lämpötilakestoisuudet, mutta niiden hinta on huomattavasti polymeerieristeisiä korkeampi. Erityisesti mineraalieristeisten kaapelien päättäminen asennusvaiheessa vaatisi asentajalta erityistaitoa ja työkaluja, joten yleensä vakiovastuskaapelit päätetäänkin jo kaapelivalmistajan toimesta oikeaan mittaansa. Tämän avulla varmistutaan myös kaapelien oikeasta pituudesta, sekä liitosten laadusta. Yleisin eristeaine mineraalieristeisissä kaapeleissa on magnesiumoksidi. (Industrial Heat Tracing Solutions, n.d., 9). Kuviossa 1 on esitetty sekä yksijohtimisen, että kaksijohtimisen mineraalieristeisen sarjaresistanssikaapelin rakenne.



Kuvio 1. Mineraalieristeinen sarjaresistanssikaapeli (Industrial Heat Tracing Solutions, n.d.)

Vakiovastuskaapelit soveltuvat hyvin kohteisiin, joissa vaaditaan korkeaa lämmitystehoa, sekä kestävyyttä syövyttävien aineiden ja korkeiden altistuslämpötilojen varalta. Esimerkiksi nVent RAYCHEM tarjoaa mineraalieristeisiä lämpökaapeleita, jotka yltyvät lämmitysteholtaan jopa 300W/m, sekä lämpötilan kestävyydeltään altistumisen jopa 700°C asti. Aiemmin

vakiovastuskaapelit olivatkin ainoa vaihtoehto korkean altistuslämpötilan omaaviin kohteisiin, mutta uusimmat mineraalieristeiset rinnakkaisresistanssikaapelit yltävät jo lähes samoihin lämpötilankestoisiin. Nykypäivänä vakiovastuskaapeleiden tärkeimpänä käyttökohteena toimivatkin erittäin kuumien tai pitkien putkilinjojen asennukset, joihin kolmivaiheisena toteutetut lämmityspiirit voivat olla jopa kilometrien pituisia. Ero rinnakkaisresistanssikaapeleihin on merkittävä, sillä niiden enimmäispituus rajoittuu yleensä 100–200 metriin. (Handbook of Industrial Heat Tracing, n.d., 22–25.)



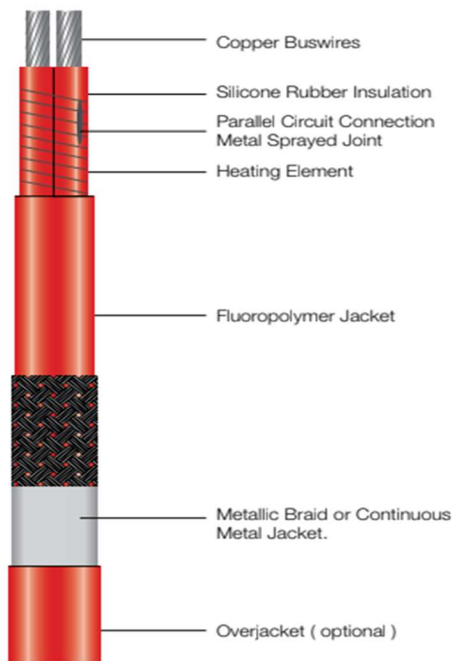
Kuvio 2. Polymeerieristeinen sarjaresistanssikaapeli (Industrial Heat Tracing Solutions, n.d.)

Kuviossa 2 on esitetty polymeerieristeisen sarjaresistanssikaapelin rakenne, josta on nähtävissä lämpövastuksena toimiva johdin sekä sitä ympäröivä fluoripolymeerinen vaippa. Vaipan ja uloimman polymeerikerroksen välissä kulkee kaapelia suojaava metallinen punos.

4.2 Vakiotehokaapelit

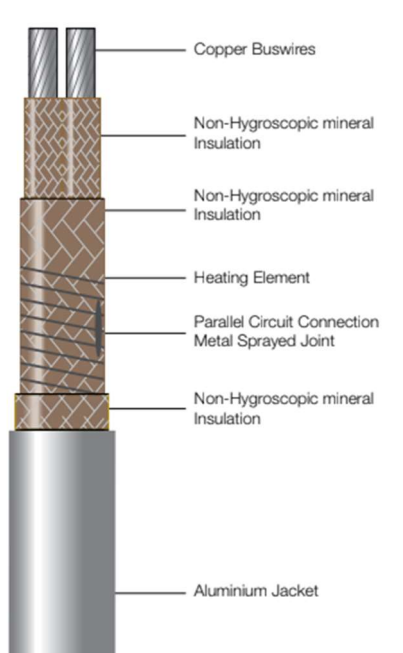
Vakiotehokaapelit ovat rinnakkaisresistanssikaapelita, joiden toiminta perustuu kahteen johtimeen ja niiden ympärille kierrettyyn vastuslankaan, joka kytkeytyy johtimiin vuorotellen muodostaen erillisiä lämmityselementtejä. Näiden elementtien johdosta vakiovastuskaapelit antavat nimensä mukaisesti vakiotehon pituusyksikköä kohden riippumatta kaapelin pituudesta. Tämän ansiosta vakiotehokaapelin pituuden ei tarvitse olla niin tarkkaan määritelty suunnitteluvaiheessa. Vakiotehokaapelit olivat ennen yleisesti polymeerieristeisiä, joten niiden lämpötilakestoisuus

rajoittui noin 250 °C luokkaan. Nykyisin markkinoilta löytyy kuitenkin myös mineraalieristeisiä vakiotehokaapeleita, joille luvataan jopa 500 °C altistuskestoisuutta. Vakiovastuskaapeleista poiketen mineraalieristeiset, sekä polymeerieristeiset vakiotehokaapelit voidaan päättää mittaansa vasta asennuksen yhteydessä. Kuviossa 3 on esitetty polymeerieristeisen vakiotehokaapelin rakenne, josta on havaittavissa myös, kuinka lämpövastus kytkeytyy johtimeen. (Handbook of Industrial Heat Tracing, n.d., 22–25.)



Kuvio 3. Polymeerieristeinen vakiotehokaapeli (Handbook of Industrial Electric Heat Tracing, n.d.)

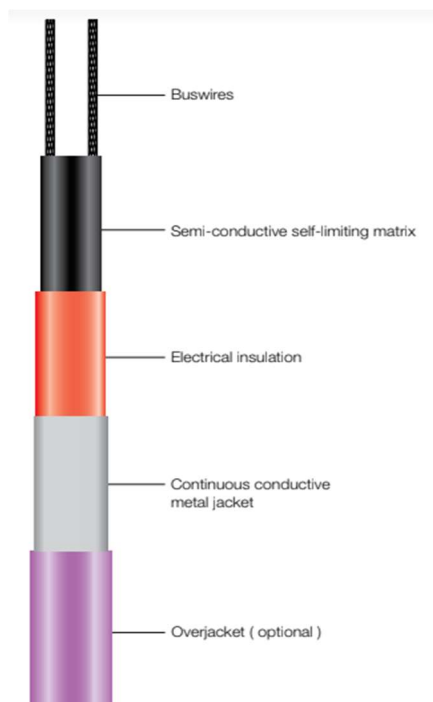
Vakiotehokaapelit soveltuvat lähes kaikkiin prosessiteollisuuden tarpeisiin. Niiden käyttökohteina toimivatkin sulanapidot ja prosessien osien lämmitys tilanteissa, joissa kohteessa esiintyvät korkeat lämpötilat estävät itsesäätyvien kaapeleiden käyttämisen. Vakiovastuskaapeleiden tavoin vakiotehokaapelit vaativat kuitenkin myös säätimen, jotta kaapelin mahdollinen ylikuumentuminen voidaan estää ja järjestelmästä saadaan turvallinen. Kuviossa 4 on esitetty Heat Trace Limited:n PowerHeat kaapelin rakenne. Kyseinen vakiotehokaapeli kestää altistumista jopa 500 °C lämpötilalle ja kaapelia on saatavilla jopa 150W/m lämmitysteholla.



Kuvio 4. Mineraalieristeinen vakiotehokaapeli (Handbook of Industrial Electric Heat Tracing, n.d.)

4.3 Itserajoittavat kaapelit

Itserajoittavat kaapelit ovat yleisin ja käytännöllisin tapa toteuttaa sulanapitolämmityksiä. Vakiotehokaapeleiden tavoin kyseessä on rinnakkaisresistanssikaapeli, mutta vastuslangan sijaan kahden johtimen välissä kulkee lämpövastuksena toimiva puolijohdematriisi. Tämän puolijohdematriisin resistanssi vaihtelee lämpötilan mukaan siten, että kaapelin lämpötilan noustessa myös resistanssi kasvaa pienentäen lämmitystehoa. Itserajoittavat kaapelit kykenevätkin siis säätämään lämmitystehoaan ympäristön ja lämmitettävän kohteen lämpötilan mukaan. Tämän ominaisuuden ansiosta itserajoittavalla kaapelilla toteutetut lämmityspiirit eivät välttämättä tarvitse erillistä säätintä. Muista lämmityskaapeleista poiketen itserajoittavat kaapelit voidaan myös asentaa risteämään itsensä kanssa, jolloin kaapelin asentaminen erityisesti venttiilien ja muiden toimilaitteiden ympärille on yksinkertaisempaa. Vakiotehokaapelin tavoin itserajoittavat kaapelit voidaan päättää mittaansa vasta asennuksen yhteydessä eikä niiden pituusyksikköä kohden tuottama lämmitysteho ole riippuvainen kaapelin kokonaispituudesta. Kuviossa 5 on esitetty itserajoittavan kaapelin rakenne. (Handbook of Industrial Heat Tracing, n.d., 22–25.)



Kuvio 5. Polymeerieristeinen itserajoittuva kaapeli (Handbook of Industrial Electric Heat Tracing, n.d.)

Itserajoittuvien kaapeleiden korkein lämpötilakestoisuus rajoittuu valmistajasta ja riippuen noin 250°C -300°C välille, joten erittäin kuumien piirien kohdalla on käytettävä toista kaapelityyppiä. Lämmityskohteet, joissa ympäristön lämpötila ei nouse näitä lämpötilarajoja korkeammaksi on kuitenkin järkevintä toteuttaa itserajoittavilla kaapeleilla. Lämmityspiirien suojausta suunniteltaessa on myös hyvä ottaa huomioon itserajoittuvien kaapeleiden korkea käynnistysvirta tilanteissa, joissa kaapeli on käynnistyshetkellä viileä. (Sähkötieto & Autio, I. 2007, 11.)

4.4 Kylmäkaapelit

Vakiovastus-lämmityskaapelit kytketään syöttörasiaan yleensä noin metrin mittaisen kylmäkaapelin välityksellä, jotta rasian ja kaapelin ylikuumentuminen saadaan estettyä. Kylmäkaapelien tulee yleensä olla ominaisuuksiltaan lämmityskaapelia vastaava ja sen tulee kestää samat olosuhteet kuin lämpökaapelin. Kylmäkaapeleilta vaaditaan myös erillinen paljas tai keltavihreä maadoitusjohdin. (Sähkötieto & Autio, I. 2007, 15–19.) Kaapelivalmistajilta määrämittäisenä tilatut lämmityskaapelit yleensä sisältävät myös valmiiksi liitetyn kylmäkaapelin (ks. esim. Industrial Heat Tracing Solutions n.d, 55). Alle 15 W/m lämmitystehon omaavat muovivaippaiset kaapelit voidaan päättää

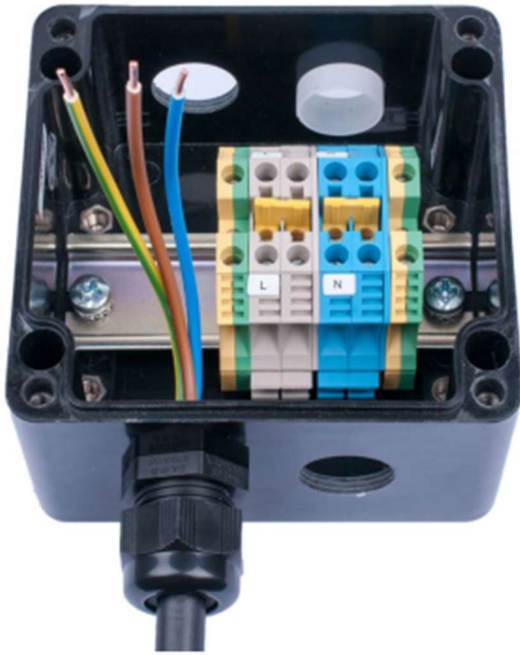
suoraan kytkentärasialle, kun kaapeli on suojattu erillisellä suojaletkulla. (Sähkötieto & Autio, I. 2007, 15–19).

5 Asennustarvikkeet

5.1 Kytkentärasiat ja -kotelot

Sähkösaattopiirien syöttökaapelit kytketään kylmäkaapeleihin kytkentärasiaassa tai haaroitetaan useammalle lämmityspiirille kytkentäkotelossa. Käytettävien rasioiden ja koteloiden tulee olla ympäristöolosuhteisiin sopivia ja niiden on oltava rakennuttajan suunnittelijan hyväksymiä. Yleisesti käytettävän materiaalin tulee olla joko korroosiosuojattua metallia tai säänkestävää muovia. Rasioissa ja kytkentäkoteloiden tulee olla tilaa myös mahdollista myöhempää tarvetta, kuten ketjutuskaapelointia varten. Käytettävien liittimien on suositeltavaa olla vaipparuuvityyppisiä, ja niiden koko on mitoitettava siten, että niihin mahtuu yhtäaikaisesti yksi kylmäkaapelin, syöttökaapelin ja mahdollisen ketjutuskaapelin johtimista. Käytettäessä riviliitinkoteloita on liittimien molemmilla puolilla oltava 50 mm kytkentätilaa. (Sähkötieto & Autio, I. 2007, 15–19.) Kuviossa 6 on esitetty tyypillisen kytkentärasian rakenne.

Kaikkien asennustarvikkeiden tulee olla vähintään suojausluokkaa IP54, mutta suositeltavaa on käyttää IP55 luokan, tai sitä parempia tarvikkeita. Räjähdyssuojatuista koteloista tulee olla saatavilla hyväksymistodistus, jonka urakoitsija tai myyjä toimittaa. Räjähdyssuojatuissa koteloissa tulee olla merkittynä räjähdysuojauksen tyyppi ja luokka, koestuslaitoksen nimi, sekä koestustodistuksen numero. (Sähkötieto & Autio, I. 2007, 14–16.)



Kuvio 6. Thermon kytKentätArvike (KytKentätArvike Thermon JB-K-0 4xM25 Ex, n.d.)

KytKentätArvikeissa ja -koteloidissa tulee olla tarvittava määrä kaapelitiivisteillä tai sulkuTulpilla varustettuja läpivientejä. Läpivientien on sijaittava kotelon alapuolella tai sivulla ja käytettävien kaapelitiivisteiden ja sulkuTulppien tulee olla kotelon luokitusta vastaavia. Metallisissa koteloidissa tulee käyttää erillistä tiivistettä tai silikonikittiä, jotta kaapelitiiviste saadaan kiinnitettyä koteloon tiiviisti. Muovikoteloihin metallisia kaapelitiivisteitä ei saa asentaa, ellei niitä ole maadoitettu erikseen ja hyväksytty koestuslaitoksen toimesta. Mikäli kaapelia ei voida kiinnittää heti rasian läheisyyteen, on kaapelitiiviste varustettava vedonpoistajalla. (Sähkötieto & Autio, I. 2007, 14–16.)

5.2 Sidontatarvikkeet

Lämmityskaapelit kiinnitetään lämmitettävään kohteeseen sidontatarvikkeiden avulla. Sidontavälineenä voi toimia esimerkiksi teräsnauha, teräsverkkonauha, alumiiniteippi tai lasikuituteippi. Sidontatarvikkeen valintaan vaikuttavat lämpökaapelin vaipan materiaali, sekä kohteessa esiintyvä korkein lämpötila. Mineraalieristeiset lämpökaapelit kiinnitetään sinkityllä tai ruostumattomalla teräsnauhalla, jonka leveys on 10–20 mm. Polymeerieristeiset lämpökaapelit kiinnitetään alle 140°C altistuslämpötilassa alumiiniteipillä ja korkeammissa lämpötiloissa lasikuituteipillä, sekä

verkkonauhalla. (Sähkötieto & Autio, I. 2007, 16–18.) Kuviossa 7 on esitetty lämmitysjohtimen kiinnitys putken pintaan alumiiniteipillä.



Kuvio 7. Lämmityskaapelin kiinnitys alumiiniteipillä (Teollisuus 150C Alumiiniteippi, n.d.)

Kohteissa, joissa tarvitaan parempaa lämmönsiirtoa, voidaan käyttää kiinnitykseen teräsverkkonauhaa sekä 0,05 mm paksuista alumiinifoliota lämmön siirtämiseen. Parempaa lämmönsiirtoa tarvitaan esimerkiksi venttiilien ja vastaavien epäjatkuvuuskohtien sidonnassa. (Sähkötieto & Autio, I. 2007, 16–18.)

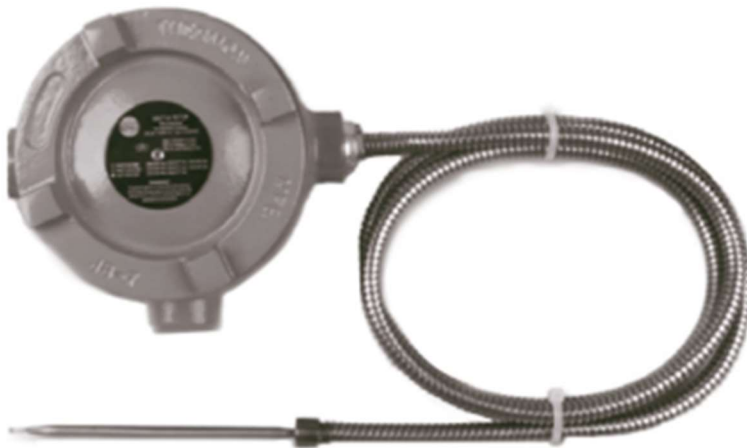
6 Ohjaus-, valvonta- ja suojalaitteet

6.1 Termostaatit ja anturit

Sähkösaattojen ohjaukseen käytettävät termostaatit voidaan jakaa mekaanisiin ja elektronisiin termostaatteihin. Molemmilla tyypeillä voidaan toteuttaa ympäristön tai prosessin lämpötilan mukaan tapahtuvia ohjauksia. Ympäristön lämpötilan mukaan tapahtuvat ohjaukset ovat yleensä sulanapitojärjestelmiä, jolloin yhdellä termostaatilla ohjataan useita lämmityspiirejä. Tällöin

puhutaan keskitetystä järjestelmästä, jolloin piirien ylikuumentuminen estetään käyttämällä itsesäätyviä lämmityskaapeleita. Prosessin lämpötilaa tarkkailevilla antureilla ja termostaateilla taas toteutetaan piirikohtaisia ohjauksia prosessilämpötilan ylläpitämiseksi. (Control And Monitoring: For Process Heating Systems n.d. 2–8.) Termostaatit sijaitsevat yleensä kentällä, mutta saatavilla on myös DIN-kiskoon asennettavia elektronisia termostaatteja, jotka voivat sijaita myös kytkentäkotelossa tai sähkökeskuksella.

Mekaaniset termostaatit perustavat toimintansa kapillaarianturiin, jonka sisällä oleva neste laajenee ja supistuu ympäristön lämpötilan mukaan. Lämpötilan noustessa neste laajenee ja sulkee termostaatin koskettimen, jolloin virta pääsee kulkemaan tämän läpi. (Kapillaaritermostaatit n.d.) Mekaanisilla termostaateilla voidaan itsessään toteuttaa yksinkertaisia piirikohtaisia päälle-pois kytkentöjä, mutta niiden virtakestoisuus ei yleensä ole kovin korkea. Yleensä mekaaniset termostaatit ohjaavatkin kontaktoria, joka mahdollistaa suurempien virtojen katkaisukyvyyn, sekä useamman piirin samanaikaisen ohjauksen. (Control And Monitoring: For Process Heating Systems n.d., 2–8.)



Kuvio 8. Mekaaninen kapillaaritermostaatti (4x/7-350235JB, n.d.)

Elektroniset termostaatit mittaavat lämpötilaa vastusmittausperiaatteeseen perustuvien RTD-anturien avulla. Anturissa kulkevan johtimen resistanssi muuttuu ympäristön lämpötilan mukaan, jolloin vastusta mittaamalla saadaan selville kohteen lämpötila. (Miten Pt100-anturi toimii? n.d.) Käytettävät anturit ovat yleisesti PT-100 tyyppiä. Elektronisilla termostaateilla voidaan toteuttaa

mekaanisten termostaattien tavoin päälle-pois ohjauksia, mutta niitä voidaan käyttää myös säätiminä ja rajoittimina. Kun termostaattia käytetään yhdistettynä rajoittimena ja säätimenä, tarvitaan mittaukseen kahta RTD-anturia joista toinen mittaa ohjauslämpötilaa ja toinen syötön katkaisun raja-arvoa. Tällöin on huomioitava, että lämmitettävän kohteen lämpötila saattaa vaihdella paikoitellen, joten antureiden sijoittelu on suunniteltava huolellisesti. Rajoitustermostaatin anturi sijoitetaan putkessa tai säiliössä ylimpään lämpökaapeliin siten, että se sijaitsee lämpenemisen suhteen epäedullisimmassa kohdassa (Sähkötieto & Autio, I. 2007, 19). Elektroniset termostaatit voivat myös lähettää hälytys- ja mittaustietoja eteenpäin erilliselle valvonta tai ohjausjärjestelmälle. Kehittyneimmät elektroniset termostaatit toimivatkin käytännössä kentälle asennettavina yksikkösäätiminä. (Control And Monitoring: For Process Heating Systems n.d, 2–8.)



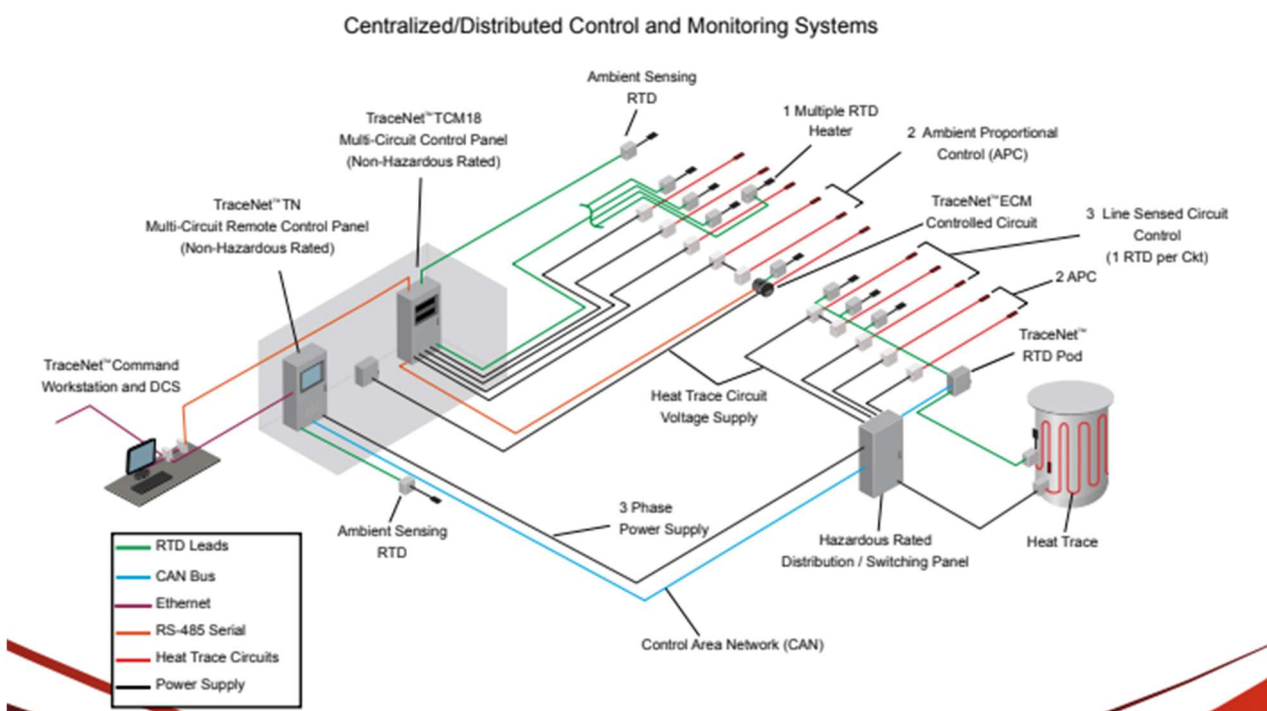
Kuvio 9. Moderni elektroninen termostaatti (TraceNet TCM2, n.d.)

6.2 Yksikkösäätimet

Yksikkösäätimet ovat mikroprosessoripohjaisia ohjaus- ja valvontalaitteita, jotka mahdollistavat sähkösaattojärjestelmien älykkään ja energiatehokkaan ohjauksen. Termostaattien tavoin yksikkösäätimillä voidaan toteuttaa keskitettyjä sekä hajautettuja järjestelmiä. Toimintavarmuudeltaan yksikkösäätimet ovat perinteisiä termostaatteja luotettavampia, joten niiden käyttö on yleisempää. Yksikkösäätimet voidaan myös kytkeä valvontajärjestelmään esimerkiksi RS-485 väylän kautta

tiedonsiirron ja etäohjauksen mahdollistamiseksi. (Control And Monitoring: For Process Heating Systems n.d, 2–8.)

Tyypillisesti kentällä sijaitsevista termostaateista poiketen yksikkösäätimet voivat sijaita joko kentällä, kytkentäkotelossa tai sähkökeskuksella. Lisäksi yksikkösäätimet mahdollistavat useiden RTD-antureiden käytön yksittäisen piirin ohjauksessa. (Control And Monitoring: For Process Heating Systems n.d, 2–8). Alla olevassa kuviossa on esitettyä erilaisten yksikkösäätimillä toteutettujen sähkösaattopiirien johdotuksia ja rakenteita.



Kuvio 10. Esimerkki sähkösaattojärjestelmästä. (Control And Monitoring: For Process Heating Systems n.d., 7)

6.3 Valvontalaitteet ja järjestelmät

Saattolämmityspiirien valvonnan lähtökohtana on, että jokaisesta lämmitysryhmästä on saatavilla yksilöllinen häiriöhälytys vikatilanteessa. Hälytysjärjestelmän rakenteen ja laajuuden suunnittelussa on otettava huomioon lämmityspiiriltä vaadittu toimintavarmuus sekä häiriön vaikutukset prosessiin. Myös järjestelmän laajennettavuuteen on syytä kiinnittää huomiota siten, että uusien hälytysten lisääminen on toteutettavissa yksinkertaisesti. (Sähkötieto & Autio, I. 2007, 24.)

Saattolämmityspiirien valvonnan vähimmäisvaatimuksena on, että hälytyksen antavat rajoituslämpötilan ylittäminen tai suojalaitteiden toiminta. Hälytys voidaan toteuttaa suojalaitteiden kärkitietojen ja rajoitustermostaatin ohjaaman koskettimen rinnankytkennällä siten, että hälytyksen synnyssä ryhmäkohtainen merkkilamppu syttyy ja käyttö- tai kunnossapitohenkilökunnalle välitetään tieto yhteishälytyksestä. Kun saattolämmitysjärjestelmältä halutaan tarkempia ja yksilöllisempiä hälytystietoja, voidaan hälytykset antaa piirikohtaisesti. Piirikohtaisesta hälytyksestä selviää piirin ryhmätunnus ja lämmityksen kohde. Piirikohtaisiin hälytyksiin voidaan myös tarvittaessa lisätä yli- tai alilämpötilahälytykset. (Sähkötieto & Autio, I. 2007, 24.)

Mikroprosessoripohjaisia ohjaus- ja valvontajärjestelmiä käytettäessä kohteen lämpötilamittaus voidaan yhdistää suoraan järjestelmään, jolloin esimerkiksi jatkuvan lämpötilanäytön toteuttaminen on mahdollista yli- ja alilämpötilan valvontaa varten. Mikroprosessoripohjaiset järjestelmät kykenevät myös lähettämään enemmän informaatiota hälyttävästä kohteesta, joten vian paikallistaminen ja siitä seuraavat toimenpiteet ovat toteutettavissa helpommin. Prosessin toiminnan kannalta välttämättömissä ja muuten tärkeissä kohteissa voidaan hälytykset liittää piiri- tai ryhmäkohtaisesti automaatiojärjestelmään. Tällöin automaatiojärjestelmän avulla voidaan toteuttaa myös lämmityspiirien ohjaus. (Sähkötieto & Autio, I. 2007, 24.)

6.4 Suojalaitteet

Tässä luvussa käsitellään saattolämmityspiirien suojaukseen käytettäviä suojalaitteita sekä niiden vaatimuksia. Pääasiassa suojalaitteiden mitoitus ja valinta tapahtuu kuten muidenkin virtapiirien. Saattolämmityspiirien suojauksessa on kuitenkin tärkeää huomioida kohteet, joissa piiriltä vaaditaan jatkuvaa päällä oloa prosessin tai laitteen käyttöturvallisuuden takaamiseksi. Vastaavaan tilanteeseen otetaan kantaa esimerkiksi räjähdysvaarallisten tilojen sähkösaattoja käsittelevässä standardissa SFS-EN 60079-30-2:2017 seuraavasti:

Mikäli kunnossapito- ja valvontajärjestelmä varmistavat, että vain ammattitaitoinen henkilökunta huoltaa asennettuja järjestelmiä ja mikäli laitteiden tai prosessien turvallinen käyttö edellyttää saattopiirien jatkuvaa päällä oloa, maasulun ilmaisu ilman laukaisua on hyväksyttävissä, kunhan saatu hälytys johtaa tarkoituksenmukaisiin toimenpiteisiin. (SFS-EN 60079-30-2:2017, 25.)

Sähkösaattojen suojauksen tulee kyetä katkaisemaan oikosulut, ylivirta sekä suuri-impedanssiset maavuodot. Käytännössä saattolämmityspiirit suojataan tyyppillisesti johdonsuojakatkaisijalla sekä enintään 30mA mitoitusomivirrallisella vikavirtasuojalla. Vikavirtasuoja voidaan myös mitoittaa siten, että mitoitusomivirta on 30mA lämmityskaapelille ilmoitetun ominaisen kapasitiivisen vuotovirran yläpuolella, jotta suojan turhilta laukeamisilta vältetään. Mitoitusomivirta ei kuitenkaan saa ylittää 100mA rajaa. Vikavirtasuojaus on myös mahdollista korvata maasulkulaukaisulla varustetulla valvontalaitteella. Räjähdyshaarallisten tilojen saattolämmityspiirien suojauksen vaatimukseen liittyvää tietoa on saatavilla sekä standardista SFS-EN 60079-30-2:2017 että SFS-EN 60079-14:2015. (SFS-EN 60079-30-2:2017, 25; SFS-EN 60079-14:2015, 69.)

Suojausta mitoittaessa on otettava myös huomioon piirien kytkeytyminen matalissa lämpötiloissa, jolloin erityisesti itserajoittuvien kaapeleiden käynnistysvirta voi olla korkea. Useimmat kaapelivalmistajat ovatkin laatineet kuviossa 9 esitettävien taulukoiden mukaiset taulukot, joiden avulla johdonsuojakatkaisija voidaan valita kaapelin pituuden ja alimman mahdollisen käynnistyslämpötilan perusteella.

240 Vac Service Voltage		Max. Circuit Length ³ vs. Breaker Size m (ft)			Electrical protection sizing	Start-up temperature	Maximum heating cable length per circuit (m)			
Catalog Number	Start-Up Temperature °C (°F)	20 A	30 A	40 A						
BSX 3-2	10 (50)	214 (702)	214 (702)	214 (702)	16 A	-20°C	155	110	70	45
						+10°C	200	160	110	65
	0 (32)	214 (702)	214 (702)	214 (702)	20 A	-20°C	195	140	90	55
						+10°C	200	160	125	85
	-20 (-4)	192 (630)	214 (702)	214 (702)	25 A	-20°C	200	160	110	70
						+10°C	200	160	125	105
	-40 (-40)	158 (518)	214 (702)	214 (702)	32 A	-20°C	200	160	125	90
						+10°C	200	160	125	110

Kuvio 11. Vasemmalla Thermonin ja oikealla nVentin itserajoittuvan kaapelin maksimipituus johdonsuojan nimellisvirran mukaan (BSX Self-regulating Heat Tracing, n.d., 1; BTV Self-regulating Heating Cable, n.d., 3)

Yllä olevissa kuviossa on käytetty lämmitysteholtaan 9W/m ja 10W/m olevia itserajoittavia kaapeleita, jotta erot kaapelivalmistajien välillä olisivat näkyvillä. Kuvioista voidaan kuitenkin todeta, että sekä nVentin että Thermonin lämmityskaapelien maksimipituudet ovat melko lähellä toisiaan. Pieni ero pituuksissa johtuu todennäköisesti kaapelien tehoerosta. Kuvioista voidaan myös huomata, että lämmityspiireissä käytettävien johdonsuojakatkaisijoiden nimellisvirrat ovat melko suuria pienitehoisillakin kaapeleilla käynnistysvirtapiikin vuoksi. Huomioitavaa on myös se, että 20A:n

johdonsuojan vaihtaminen 16A:n vastaavaan lyhentää piirin maksimipituutta lähes neljänneksellä. (BSX Self-regulating Heat Tracing, n.d.; BTV Self-regulating Heating Cable, n.d., 3.)

7 Suunnittelun vaiheet

7.1 Esisuunnittelu

Saattolämmityspiirien suunnittelu aloitetaan tarvekartoituksella eli kartoittamalla lämmitettävien kohteiden määrä, sijainnit sekä ympäristöolosuhteet. Kartoituksessa käytetään apuna prosessi- ja putkisuunnittelusta saatavia lähtötietoja, kuten linja- ja laiteluetteloita, putkilinjojen isometrejä ja PI-kaaviota. Prosessisuunnittelijat yleensä myös luokittelevat sähkölämmityspiirit käyttötarkoituksen ja vaadittavan toimintavarmuuden mukaan, jolloin näiden tietojen pohjalta voidaan määrittää piireille ohjaustavat ja siihen liittyvät tekniset ratkaisut. Luokitukset voivat vaihdella tilaajan mukaan, mutta yleisesti piirit jaetaan käyttötarkoituksen mukaan sulanapitolämmityksiin ja ylläpitolämmityksiin. Toimintavarmuuden mukaan piirit voidaan jakaa esimerkiksi ei kriittisiin, kriittisiin ja erittäin kriittisiin. Erittäin kriittisiin kohteisiin voivat kuuluvat esimerkiksi säiliöiden hengityspotket, varoventtiilit, palovesiputkistot, nestekaasusäiliöiden tyhjennykset ja muut kohteet, joissa lämmityksen puuttuminen voi aiheuttaa välittömän vaaratilanteen. Joissain erittäin kriittisissä kohteissa, kuten säiliöiden ylitäyttöä estävien rinnakkaisten tasomittausinstrumenttien sulanapidossa lämmityspiirien syöttö täytyy eriyttää eri ryhmiin. Palovesiputkistoissa sulanapitojärjestelmä tulee toteuttaa kahdennettuna siten, että toisen piirin toimimattomuus tai rikkoutuminen ei vaaranna paloveden sulana pysymistä.

Kun tarvittavien lämmityspiirien määrä ja toteutustapa on tiedossa, tarkastetaan mahdollisen jo olemassa olevan sähkölämmitysjärjestelmän laajennuskapasiteetti, sekä soveltuvuus uusille lämmitysryhmille. Mikäli olemassa olevissa lämmitysryhmissä on varalla kapasiteettia, joka mahdollistaa laajentumisen, on syytä kiinnittää erityistä huomiota syöttökaapeleiden oikosulkuvirtoihin. Syöttökaapelin pituuden lisääminen ei saa laskea oikosulkuvirtaa liikaa suhteessa käytettyyn johdonsuojakatkaisijaan.

7.2 Lämmitystehon määrittäminen

Lämmityskaapeliin oikeaoppinen valinta ja mitoitus ovat saattolämmitysjärjestelmän toimivuuden ja turvallisuuden kannalta ehdottoman tärkeitä. Lisäksi oikein valitulla lämmityskaapelilla voidaan säästää sekä hankinta, että käyttökustannuksissa, kun kaapelin lämmitystehoa ei ole ylimitoitettu. Mitoituksessa on tärkeää huomioida ATEX-luokitellut tilat sekä muut kohteet, joissa lämmityskaapelin lämpötila ei saa nousta missään tilanteessa yli määritellyn raja-arvon. On myös huomioitava, että esimerkiksi käyttö- palo- tai jäähdytysvesi ei saa lämmitä yli 60 °C lämpötilaan ollessaan seisovassa tilassa. Mikäli saattolämmityspiiriä käytetään myös lämmityskohteen lämpötilan nostamiseen haluttuun arvoon, on suunnittelussa otettava huomioon tapauskohtaisesti lämpöhäviöt, lämmityksen nostoon käytettävä aika sekä lämmitettävä aineen ominaislämpö. (Sähkötieto & Autio, I. 2007, 10–12.)

Lämmityskaapelin mitoitus aloitetaan määrittelemällä putken tai säiliön lämpöhäviöt, jolloin tarvittava lämmitysteho saadaan selville. Mitoituksessa tarvittavat lähtötiedot ovat yleensä saatavilla linja-, instrumentointi-, ja säiliöluetteloista. Näissä luetteloissa on määritelty lämmityksen tarve, vaadittava ylläpitolämpötila sekä muut mitoitukseen vaikuttavat tekijät. Putken lämmitystehon tarve voidaan määrittää kaavan 1 avulla, kun tarvittavat lähtötiedot ovat saatavilla.

$$\frac{P_h}{l} = \frac{2\pi\lambda (t_i - t_o)}{\ln \frac{d_e}{d_i}} \quad \text{Kaava 1.}$$

Putken lämmitystehon määrittäminen, jossa

- P_h = Häviöteho, [W]
- l = putken pituus, [m]
- λ = Eristeen lämmönjohtokyky, [W/m°C]
- d_e = Eristysputken ulkohalkaisija, [m]
- d_i = Putken halkaisija, [m]
- t_i = Mitoituslämpötila, [°C]
- t_o = Minimiulkolämpötila, [°C]

Säiliöiden tarvitsema lämmitysteho voidaan vastaavasti määrittää kaavan 2 avulla.

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

Kaava 2.

Säiliön lämmitystehon määrittäminen, jossa

- $P_h =$ Häviöteho, [W]
- $\lambda =$ Eristeen lämmönjohtokyky, [W/m°C]
- $t_i =$ Mitoituslämpötila, [°C]
- $t_o =$ Minimiulkolämpötila, [°C]
- $s =$ eristeen paksuus, [m]
- $A =$ Pinta – ala eristeen päältä laskettuna, [m²]

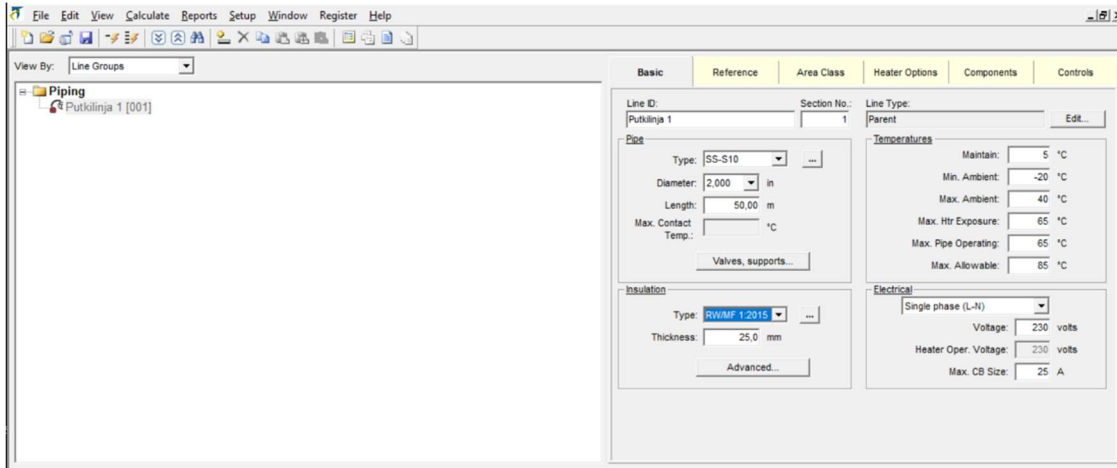
Lämmitystehon laskemisen jälkeen on kohteeseen valittava sopiva kaapelityyppi, sekä määritettävä tälle pituus. Pituuden määrittämisessä on hyvä käyttää apuna putkilinjojen isometrejä sekä PI-kaavioita, jolloin venttiilien, putkikannakkeiden, laippojen ja mittalaitteiden vaikutus pituuteen tulee huomioitua. Lisäksi pituutta mitoittaessa on hyvä ottaa huomioon, että tyyppillisesti lämmityspiirien tulee rajoittua yhteen prosessialueeseen, joten pitkät putkilinjat voidaan joutua lämmitämään omilla erillisillä lämmityspiireillä. (Sähkötieto & Autio, I. 2007, 11–12.)

Instrumenttikaappien sulana pidon vaatima lämmitysteho voidaan laskea kaavan 2 avulla, mutta on syytä huomioida, että laskemalla saatavat tehot ovat vain suuntaa antavia. Vaadittavaan lämmitystehoon vaikuttavat oleellisesti kaapin tiiveys ja eristeen lävistävät lämpösillat. Joissain tapauksissa lämmitystehon riittävyys on syytä tarkistaa koeasennuksella. (Sähkötieto & Autio, I. 2007, 10.)

7.3 Lämmityspiirien suunnittelu laskentaohjelmalla

Koska saattolämmityspiirien mitoitus voi olla hyvin työläs prosessi, tarjoavat useat kaapelivalmistajat omia laskentaohjelmia suunnittelun helpottamiseksi. Esimerkiksi sekä nVent, että Thermon ovat kehittäneet omat laskentaohjelmansa, joiden avulla lämmityspiirien mitoitus onnistuu pelkien lähtötietojen pohjalta. Laskentaohjelmia käytettäessä onkin syytä valita ohjelma aina valitun kaapelitoimittajan mukaan. Esimerkkinä toimivat nVentin TraceCalc Pro, sekä Thermonin Computrace Express ovat molemmat yksinkertaisia käyttää ja mahdollistavat kokonaisten

saattolämmitysjärjestelmien mitoittamisen ja suunnittelun. Kuviossa 12 on nähtävillä TraceCalc Pro ohjelman käyttöliittymä, jossa on esillä saattolämmityspiirin mitoittamiseen tarvittavat lähtötiedot.



Kuvio 12. TraceCalc Pro ohjelman käyttöliittymä

Seuraavaksi mallinnetaan molempien avulla yksittäisen sulanapitiopiirin kaapelin mitoitus. Mallinnuksessa käytetään ruostumattomasta teräksestä valmistettua putkea, jonka pituus on 50 m ja halkaisija 2 tuumaa. Mitoituslämpötilana käytetään 5°C ja ympäristön minimilämpötilana -20°C. Lisäksi putkea ympäröi 25 mm paksuinen mineraalivillainen eriste. Putkessa on myös yksi venttiili, sekä 17 kiinnityspistettä. Ohjelmassa on myös mahdollisuus määrittää kohteelle ATEX-tilaluokitus, mutta tässä esimerkissä kohde sijaitsee luokittelemattomalla alueella. Mitoituksissa on käytetty varmuuskerrointa, jonka arvo on 10 %.

Project		Identification		Operating Temperatures	
Project Name	Projekti 1	Design Reference	0001	Maintenance Temperature	5 °C
Location	N/A	Line/Pipe	N/A	Min Controlled Temperature	5 °C
Designer	N/A	Panel/Breaker Number	N/A	Max Controlled Temperature	N/A °C
Project Number	New Project Number	Isometric Number	N/A	Heater Sheath Temperature	24 °C
Job Number	N/A	Module	N/A	Heater Sheath Temperature Hi	N/A °C
		Work Package	N/A	Uncontrolled Pipe Temperature	65 °C
		Area	N/A	Max Cable Temperature	67 °C
Pipe & Insulation		Environment		Cable	
Design Heat Loss	8.2 W/m	Min Ambient Temperature	-20 °C	Cable Name	85X 3-2-OJ
Pipe Length	50 m	Startup Amb Temperature	-20 °C	Design Cable Output	99 W (m)
Pipe Size	2 in	Max Ambient Temperature	40 °C	Nominal Operating Power	854 VA
Pipe Type	SS-10	Max Process Temperature	65 °C	Circuit Length	64.2623 m
Insulation Size	60 mm	Max Product Temperature	85 °C	Total Cable	64.2623 m
Inner Insulation Thickness	25 mm	Area Classification	Ordinary	Nominal Operating Current	3.7 A
Inner Insulation Type	MF	T-Class	N/A	Total Maximum Current	6.6 A
Inner Insulation K Value	0.0324 W/m·°C	Autoignition Temperature	N/A °C	Voltage	230 Vac
Inner Insul Mean Temp	-5 °C	Temperature Control	Pipe Sensing	Number Heater Sets	1
Outer Insulation Thickness	N/A mm	Temperature Control Set Point	N/A °C	Trace Ratio Per Set	1
Outer Insulation Type	N/A	Wind Speed	0 km/h	Spiral Pitch	N/A cm
Outer Insulation K Value	N/A W/m·°C	Safety Factor	20 %	Circuit Breaker Size	16
Outer Insul Mean Temp	N/A °C				
Jacket Emissivity	0.12				
No. Valves	1	No. Supports	17	No. Flanges	0
Valve Allocation	0.3 m	Support Allocation	0.8 m	No. Pumps	0
		Flange Allocation	0 m	Pmp Allocation	0 m

Kuvio 13. Tulokset CompuTrace Express ohjelmasta

OK					
Pipe Data:		Heater Data:		Electrical Data:	
Heat Loss:	7,7 W/m	Catalog No.:	3BTV2-CT	Pipe Segment Oper. Load:	0,73 kW
Total Heater Length:	58,50 m	Cable set Catalog No.:		Circuit Operating Load:	0,73 kW
for Piping:	50,00 m	Power Output:	10,7 W/m	Circuit Operating Current:	2,6 A
for Valves [1]:	0,34 m	Trace Ratio:	1,00	Circuit CB Current:	5,8 A (C)
for Supports [17]:	6,12 m	Cable Set Qty:	1	Circuit Length:	56,5 m
for Flanges [0]:	0,00 m	Sheath Temp.:	85 °C (T-rating)		
for Drains/Vents [0]:	0,00 m	Max. Circuit Length:	199 m	Revised:	26.10.2023
for Misc.:	0,00 m	Min. Controlled Pipe:	5 °C (nominal)		
for Terminations:	2,00 m	Max. Controlled Pipe:	5 °C (nominal)		
		Uncontrolled Pipe:	65 °C (maximum)		
		Contact Temp.:	N/A °C		

Kuvio 14. Tulokset TraceCalc Pro ohjelmasta

Kuvioista 13 ja 14 huomataan, että tarvittava lämmitysteho on ollut noin 8W/m luokkaa. Molemmat ohjelmat mitoittivat käytettäväksi itsesäätyvää fluoropolymeerillä eristettyä kaapelia, jonka lämmitysteho on noin 10W/m. Tuloksia voidaan pitää molemmissa ohjelmissa luotettavana ja pieni ero kaapelipituuksissa on voinut syntyä ohjelmien tavassa mallintaa putken kiinnikkeitä.

Ohjelmat myös laskevat piirien jatkuvan maksimivirran, kun kaapeliin kytketään virta alimmassa määritellyssä lämpötilassa. Maksimivirta on laskettu ajanhetkenä, jolloin piirin päälle kytkemisestä on kulunut 300 sekuntia. Tätä virtaa voidaan käyttää johdonsuojakatkaisijan valintaan, joten esimerkkinä käytetyn piirin suojaukseen valittaisiin 10 ampeerin C-tyyppin johdonsuojakatkaisija.

Ohjelmista on mahdollista tulostaa useita hyödyllisiä raportteja, kuten linja- ja materiaaliluetteloita. Alla olevassa kuviossa 15 onkin esitettyä CompuTrace-ohjelman luoma materiaaliluettelo, jossa on listattu saattolämmityspiirin toteuttamiseen tarvittavat komponentit sekä asennustarvikkeet.

Bill Of Materials

CompuTrace Version 6.0.28.9

Current Date October 26, 2023
 Customer N/A
 Purchase Order Number N/A

Item Number	Part Number	Catalog Number	Description	Quantity	Units
1	2112	BSX 3-2-OJ	Self-Regulating Heater with braid and overjacket	64.3	m
2	40022	FT-1L	Fixing Tape, Polyester 108' roll 1/2" wide	2.0	EA.
3	27200	CL	Caution Label (English), 25 per pkg.	1.0	EA
4	441.501.004	TC1/XP Plus-1-60	Thermostat Pipewall Sensing, range -15°C to 60°C	1.0	EA
5	431.121.255	ZP-XP	Terminator Power Connection Kit - Pipe Mount	1.0	EA
6	422.301.211	PETK-1	Circuit Fabrication Kit	1.0	EA

Kuvio 15. CompuTrace Bill Of Materials

7.4 Lyhyet kuumat putkiosuudet

Eryteisesti lyhyet kuumat putkiosuudet tuovat lisähaasteita saattolämmitysten suunnitteluun.

Tämä johtuu siitä, että erittäin kuumat putkiosuudet on yleensä lämmitettävä mineraalieristeisellä vakiovastuskaapelilla, mutta putken lyhyt pituus rajoittaa asennettavan kaapelin pituutta ja tämän myötä myös resistanssia. Myös putken paksuus vaikuttaa merkittävästi kaapelin maksimipituu- teen, koska ohuiden putkien kohdalla kaapelia ei voida asentaa kulkemaan putken päästä päähän useita kertoja. Näissä tilanteissa kaapelin voimakas kuumeneminen aiheuttaa ongelmia varsinkin ATEX-luokitelluilla alueilla.

Joissain tapauksissa putken lämmitykseen soveltuvaa vakiovastuskaapelia ei yksinkertaisesti ole saatavilla. Näissä tilanteissa ratkaisuna voi toimia kaksoiseristys, jolloin putken lämmitys toteute- taan kahdella erillisellä eristekerroksella ja niiden väliin asennettavalla itsesäätyvällä lämmityskaa- pelilla. Itsesäätyvää kaapelia käytetään tässä tilanteessa siksi, että sitä voidaan kiertää putken ym- pärille huomattavia määriä myös siten, että se risteää itsensä kanssa. Kaksoiseristystä käytettäessä on varmistettava, ettei lämpötila eristekerrosten välissä ylitä itsesäätyvän kaapelin lämpötilakes- toisuutta. Tämä lämpötila voidaan arvioida likimain yhtälöllä:

$$t_e = \frac{t_i - t_o}{1 + \frac{d_{e1}}{d_{e2}}}$$

Kaava 3.

jossa

- $t_e =$ Lämpötila eristekerrosten välissä, [°C]
- $t_i =$ Mitoituslämpötila, [°C]
- $t_o =$ Minimiulkolämpötila, [°C]
- $d_{e1} =$ Sisemmän eristekerroksen paksuus, [m]
- $d_{e1} =$ Ulomman eristekerroksen paksuus, [m]

Kaksoiseristystä suunniteltaessa on kuitenkin syytä huomioida, että aiemmin esitetty kaava ei anna täysin tarkkaa arviota eristekerrosten välissä esiintyvistä korkeimmista mahdollisista lämpötiloista, joten mitoituksessa on syytä käyttää sopivaa varmistuskerrointa. Lämmityspiirit, joissa käytetään kaksoiseristystä, onkin syytä suunnitella tapauskohtaisesti, siten että mahdollisten eri eristemateriaalilla toteutettujen eristekerrosten lämmönjohtavuudet on huomioitu. Kaksoiseristyksen toimivuus ja turvallisuus on syytä tarvittaessa varmistaa esimerkiksi koeasennuksella.

7.5 Dokumentointi

Kuten kaikessa suunnittelussa, suunnitelmien laaja ja selkeä dokumentointi on erittäin tärkeää myös saattolämmitysjärjestelmien kohdalla. Hyvin toteutettu dokumentointi helpottaa sekä suunnittelua että asennusta ja auttaa vähentämään mahdollisista sekaannuksista johtuvia asennusvirheitä. Myös hankkeen loppuvaiheessa luotavat loppupiirustukset ja koestuspöytäkirjat ovat tärkeitä järjestelmän turvallisen käytön ja huollon kannalta. Dokumentointi toteutetaan tilaajan piirustusjärjestelmän mukaan, mutta sähkölämmityksistä on laadittava ainakin seuraavat dokumentit:

- Sähkölämmitystaulukko
- Asennuspiirustus
- Sijoituspiirustus
- Virtapiiri- ja johdotuskaavio
- Kaapeliluettelo
- Koestuspöytäkirja
- Loppupiirustukset

Räjähdyksvaaralliseksi luokitelluissa tiloissa toteutetuista sähkölämmitysasennuksista vaaditaan lisäksi seuraavat dokumentit:

- Tilaluokituspiirustus, josta selviävät myös aineominaisuudet
- Luettelo räjähdysuojatuista sähkölaitteista
- Kaavio maadoituksista ja potentiaalintasausjärjestelmästä sekä mittauspöytäkirjat
- Kartta maadoituksista ja maakaapeleista

Liitteessä 1 on esitetty saattolämmitystaulukko, josta on nähtävillä taulukon perusrakenne ja yleisimmät esitettävät tiedot. Liitteissä 2 ja 3 on esitetty esimerkkinä saattolämmitysisometrit putkijalalle sekä säiliölle.

8 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda aineisto, joka toimii aiheeseen perehdyttävänä ohjeistuksena sähkö- ja automaatiotekniikan opiskelijoille tai sähkösuunnittelijalle, jolla ei ole aikaisempaa kokemusta prosessiteollisuuden saattolämmityspiirien suunnittelusta. Tavoitteena oli myös, että luodun aineiston avulla aiheeseen perehtymätön suunnittelija kykenee toteuttamaan prosessiteollisuuden saattolämmitysjärjestelmien suunnittelua yksinkertaisiin kohteisiin sekä kykenee huomiomaan suunnittelua hankaloittavat erityispiirteet.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi tiivis, mutta kattava ohjeistus, jossa käsitellään prosessiteollisuuden saattolämmitysjärjestelmiä kokonaisuudessaan komponenteista aina dokumentointiin asti. Työssä on myös esitetty yleisimmät suunnitteluun liittyvät haasteet kuten räjähdysvaaralliset tilat sekä kaksoiseristystä vaativat erittäin kuumat putkiosuudet. Työssä on myös tuotu esille aiheeseen liittyviä standardeja ja ohjeistuksia, joista aiheeseen liittyvää lisätietoa on tarvittaessa saatavilla.

Työn aikana havaittiin, että aiheeseen liittyvää tietoa on saatavilla rajoitetusti kirjallisista lähteistä ja saatavilla olevakin tieto voi olla joissain tapauksissa hyvin vanhaa. Esimerkiksi aihetta käsittelevä ST-ohjeisto 11 on julkaistu vuonna 2007, mutta sen sisältö pohjautuu pitkälti vuonna 1993 julkaistuun aihetta käsittelevään käsikirjaan. Työn aikana tietoa hankittiinkin paljon alan asiantuntijoilta sekä laitevalmistajien laatimista ohjeistuksista ja tuote-esitteistä.

Kehitystutkimuksen eettisyyteen ja luotettavuuteen kiinnitettiin huomiota valitsemalla käytettäviksi lähteiksi luotettavien laitevalmistajien ohjeistuksia ja esitteitä. Työssä ei myöskään käytetty lähteenä salassa pidettävää aineistoa, jotta ohjeistuksesta saataisiin luotua mahdollisimman avoin ja selkeä. Työssä ei myöskään yksityisyyden suojelemisen vuoksi tuoda esiin niiden alan asiantuntijoiden henkilöllisyyksiä, joilta saatua tietoa on myös käytetty ohjeistuksen laadinnassa.

Lähteet

BSX Self-regulating Heat Tracing. Thermon. N.d. Datalehti. Viitattu 21.9.2023 https://content.thermon.com/pdf/us_pdf_files/TEP0067-BSX-Spec.pdf

BTV Self-regulating Heating Cable. nVent Raychem. N.d. Datalehti. Viitattu 21.9.2023 <https://www.nvent.com/en-ve/raychem/products/btv-self-regulating-heating-cable-0>

Control And Monitoring: For Process Heating Systems. Thermon. N.d. Verkkoesite. Viitattu 20.8.2023. https://content.thermon.com/pdf/uk_pdf_files/TEP0071U-Control-Monitoring-Brochure.pdf

Handbook of Industrial Electric Heat Tracing. N.d. Opas Heat Trace Limited -verkkosivulla. Viitattu 15.8.2023. <http://www.heat-traceht.com/Handbook.pdf>

Industrial Heat Tracing Solutions. N.d. NVent Raychem verkkoesite. Viitattu 18.8.2023. https://www.nvent.com/sites/default/files/acquiadam_assets/2021-03/Raychem-TH-H56550-IND-HeatTracing-EN.pdf

Kapillaaritermostaatit. OEM Finland Oy. N.d. Tuotekuvaus. Viitattu 20.8.2023 <https://www.oem.fi/tuotteet/elektromekaniikka-ja-lammonhallinta/termostaatit-ja-suojauskomponentit/kapillaaritermostaatit- -617554>

KytKentätarvike Thermon JB-K-0 4xM25 Ex. N.d. Datalehti. Viitattu 15.12.2023 <https://www.sahkonumerot.fi/8109036>

Miten Pt100-anturi toimii? Lapp Automaatio Oy. N.d. Artikkel. Viitattu 20.8.2023 <https://www.epicsensors.fi/faq/miten-pt100-anturi-toimii/>

<https://www.nvent.com/fi-fi/raychem/resources/technology/series-mineral-insulated-heat-trace-technology>

SFS-EN 60079-30-2:2017. Räjähdyksvaaralliset tilat. Osa 30–2: Sähkösaatot. Soveltamisohjeita suunnitteluun, asentamiseen ja kunnossapitoon. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 04.8.2015. Viitattu 11.9.2023. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN 60079-14:2015+AC:2016. Räjähdyksvaaralliset tilat. Osa 14: Sähköasennusten suunnittelu ja asentaminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 27.4.2015. Viitattu 11.9.2023. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

Sähkötieto & Autio, I. 2007. Teollisuuden lämmityskaapelit: Suunnittelu ja asennus. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 13.12.2023.

Teollisuus 150C Alumiiniteippi. N.d. Tuotekuvaus. Viitattu 15.12.2023

<https://pistesarjat.fi/fi/tuotteet/sulanapito/tarvikkeet/alumiiniteippi-50m-50mm-teollisuus-150c>

TraceNet TCM2, N.d. Tuotekuvaus. Viitattu 15.12.2023 <https://thermon.com/products/heat-trace/controls-monitoring/tracenet-ecm/>

4x/7-350235JB, N.d. Datalehti. Viitattu 15.12.2023 https://content.thermon.com/pdf/us_pdf_files/TEP0037-4X7-350235JB-Spec.pdf

Liitteet

Liite 1. Saattolämmitystaulukko

Line	Status	Nominal Size Spec	Spec Note	Fluid	From	To	Operating		Design Temp/Press		Insul. Type	Tracing Type	Reliab Purp	Coating		Notes	
							Density kg/m ³	T/P °C	Low High °C	Low High kPa(a)				Test P	Material		
C 6807	New	3"		Water			L	80	330	800	C	EL TR		Painted	2900	PI-Diazam	
		A1DA		Water			L	80	330	800	C	EL TR		Painted	2900	PI-Diazam	
		3"		Water			L	80	330	800	H	EL TR		Painted	2900	PI-Diazam	
		A1DA		Water			L	80	330	800	H	EL TR		Painted	2900	PI-Diazam	
C 6808	New	3/4"		Water			L	130	330	800	C	EL TR		Painted	2900	PI-Diazam	
		A1DO		Water			L	130	330	800	C	EL TR		Painted	2900	PI-Diazam	
C 6810	New	3/4"		Water			L	130	330	800	C	EL TR		Painted	2900	PI-Diazam	
		A1DO		Water			L	130	330	800	C	EL TR		Painted	2900	PI-Diazam	
C 6811	New	3/4"		Water			L	130	330	800	C	EL TR		Painted	2900	PI-Diazam	
		A1DO		Water			L	130	330	800	C	EL TR		Painted	2900	PI-Diazam	
C 6812	New	1"		Water			L	130	330	800	C	EL TR		Painted	2900	PI-Diazam	
		A1DO		Water			L	130	330	800	C	EL TR		Painted	2900	PI-Diazam	
C 6813	New	3/4"		Water			L	130	330	800	C	EL TR		Painted	2900	PI-Diazam	
		A1DO		Water			L	130	330	800	C	EL TR		Painted	2900	PI-Diazam	
C 6814	New	3/4"		Water			L	130	330	800	C	EL TR		Painted	2900	PI-Diazam	
		A1DO		Water			L	130	330	800	C	EL TR		Painted	2900	PI-Diazam	

Liite 3. saattolämmitysometri

