

Juuso Ilola

SAATTOLÄMMITYKSEN SUUNNITTELU JA ASENNUS

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2018

SAATTOLÄMMITYKSEN SUUNNITTELU JA ASENNUS

Ilola, Juuso
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Syyskuu 2018
Ohjaaja: Marko Ylinen
Sivumäärä: 39

Asiasanat: saattolämmitys, lämpöhäviö, saattolämmityskaapeli, saattolämmitysurakka

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä saattolämmityksen suunnitteluun ja asentamiseen. Työ tehtiin Caverion Suomi Oy:lle ja pohjana käytettiin Boliden Harjavallan OCTO-projektin saattolämmitysurakkaa. Työssä pyrittiin teoria osuuden lisäksi tarkastelemaan saattolämmityksiä myös käytännönläheisesti.

Työssä selvitettiin ensin saattolämmityksen sekä suunnittelun perusteet. Lämmitystehon määrittämisestä käydään läpi yleiset periaatteet. Lämmityskaapeleista kerrotaan niiden valinta ja teollisuudessa useimmin käytetyt tyypit. Ohjausjärjestelmistä perehdytään Planrayn PlanControl lämmityksenohjausjärjestelmään. Saattolämmityksen asentamisesta kerrotaan käytännöllisesti ja se pohjautuu myös omiin kokemuksiin. Lopussa kerrotaan saattolämmitysurakasta omien kokemusten mukaan lyhyesti.

Opinnäytetyön tiedot kerättiin aiheeseen liittyvistä standardeista sekä ohjeistosta. Tietoa kerättiin myös paljon valmistajien verkkosivuilta ja materiaaleista.

Opinnäytetyössä tuloksena saatiin selvitys saattolämmityksen peruseräkkeistä, suunnittelusta ja asennuksesta. Lisäksi saatiin tietoa saattolämmitysurakasta ja siihen liittyvistä haasteista.

PLANNING AND INSTALLATION OF THE TRACE HEATING

Iloa, Juuso

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

September 2018

Supervisor: Marko Ylinen

Number of pages: 39

Keywords: trace heating, heat loss, trace heating cable, trace heating contract

The purpose of the thesis was to study the planning and installation of the trace heating. The work was done to Caverion Suomi Oy and the trace heating contract of the OCTO project of Boliden Harjavalta was used as a base. In addition to the theory part trace heating was examined from a practical point of view.

In the thesis the grounds for trace heating and planning were first clarified. From the definition of the heating effect the general principles are gone through. It is told how to choose the heating cables and which of the cable types is used the most in the industry. From the control systems the control system of the heating is studied, Planrayn PlanControl. About the installing of the trace heating is practically told and it also based on own experiences. In the end it is briefly told of the trace heating contract according to own experiences.

The information of the thesis was gathered from standards which are related to the subject and regulations. Most of the information was gathered from the manufacturers' web pages and materials.

In the thesis a report on the basic principles of the trace heating, on planning and installation was obtained as a result. Furthermore, information was obtained of the trace heating contract and the challenges, which are related to.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	SAATTOLÄMMITYS TEOLLISUUDESSA	6
3	SAATTOLÄMMITYSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU	8
3.1	Sähkösaaton tarkoitus ja yleiset periaatteet	8
3.2	Lämmityspiirin suunnittelu.....	9
3.3	Saattolämmityksen dokumentointi.....	10
3.4	Eristys	10
3.4.1	Lämpöeristyksen vaatimuksia	11
4	LÄMMITYSTEHDON MÄÄRITTÄMINEN.....	12
4.1	Putken lämmitystehon määrittäminen.....	12
4.2	Säiliön lämmitystehon määrittäminen.....	13
4.3	Venttiilien ja putkikannakkeiden lämmitysteho	13
4.4	Instrumenttien lämmitysteho	14
4.5	Lämpötilan noston vaatima lämmitysteho	15
4.6	Lämpöhäviöiden varmuuskerroin	16
5	LÄMMITYSKAAPELIT	18
5.1	Vakiovastuskaapeli	18
5.2	Itserajoittuvakaapeli	18
5.3	Itsesäätäväkaapeli	20
5.4	Lämpökaapelityypin valinta.....	22
6	SAATTOLÄMMITYKSEN OHJAUS JA VALVONTA.....	24
6.1	Sähkösaattokeskus ja sähkösaattolähdöt.....	24
6.2	Prosessilämpötilan tarkkuus.....	24
6.3	Lämpötila-anturi	26
6.4	Hälytykset	26
6.5	PlanControl lämmityksenohjausjärjestelmä.....	27
7	SAATTOLÄMMITYKSEN ASENNUS	29
7.1	Saattolämmityskaapelin asennus	30
7.2	Lämmityspiirin komponentit	33
7.3	Lämpötila-anturin asennus ja sijoittaminen	34
7.4	Merkinnät	35
7.5	Käyttöönotto	36
8	HARJAVALTA OCTO-PROJEKTI.....	37
	LÄHTEET.....	39

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Caverion Suomi Oy:lle. Se suunnittelee, toteuttaa, huoltaa sekä ylläpitää käyttäjäystävällisiä ja energiatehokkaita ratkaisuja kiinteistöille, teollisuudelle ja infrastruktuurille Pohjois-, Keski- ja Itä-Euroopassa. Caverion on Euroopan johtavia teknisiä ratkaisuja kiinteistöille ja teollisuudelle tarjoava yhtiö. Sillä on kaksi liiketoimintayksikköä: projektit ja palvelut. Työntekijöitä on noin 16 000 ja 12 toimintamaassa. (Caverion [www-sivut](#) 2018.)

Opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä saattolämmitykseen yleisellä tasolla ja pohjana on Harjavallan Boliden uuden rikkihappotehtaan saattolämmitykset. Boliden Harjavalta on yksi maailman tehokkaimmista kuparin ja nikkelin tuottajista. Sen päätuotteita ovat kupari, nikkeli, kulta, hopea sekä lisäksi sivutuotteena valmistetaan rikkihappoa. (Boliden [www-sivut](#) 2018.)

Työssä selvitetään saattolämmityksen peruseriaatteet teoriassa ja mitä huomioita tulee ottaa huomioon sen suunnittelussa esimerkiksi lämmitystehoa määritettäessä. Lisäksi käydään läpi yleisimmät teollisuuteen soveltuvat saattolämmityskaapelit ja niiden valinta. Saattolämmityksien ohjauksesta kerrotaan perusasiat ja perehdytään Planrayn PlanControl lämmityksenohjausjärjestelmään. Asentamisesta kerrotaan teoria ja yleiset käytäntötavat. Työn lopussa kerrotaan lyhyesti rikkihappotehtaan saattolämmitysurakasta.

2 SAATTOLÄMMITYS TEOLLISUUDESSA

Saattolämmityksen tavallisin tehtävä prosessiteollisuudessa on ulkona olevien putkistojen, laitteiden ja instrumenttien jäätyminen estäminen tai nesteiden haluttuun arvoon saaminen. Saattolämmitys voidaan tehdä höyryllä, öljyllä tai sähköllä (ST-ohjeisto 11 2007, 7.) Oikein valittu teollisuuden prosessilämpötilan ylläpitojärjestelmä pitää putkistossa virtaaman nesteen lämpötilan halutussa lämpötilassa, erilaisissa lämpötiloissa, riippuen prosessin tai käyttökohteen vaatimuksista (nVent Thermal [www-sivut 2018.](#))

Putkien sulanapito on tärkeää monissa eri teollisuudenaloissa: öljy- ja kaasuteollisuus, elintarviketeollisuus, petrokemian teollisuus, erikoiskemikaaliteollisuus, sellu- ja paperiteollisuus sekä lääketeollisuus. Vesi ja sellaiset nesteet, jotka sisältävät paljon vettä laajenevat jäätyessään. Tämä saattaa aiheuttaa esimerkiksi putken halkeamisen, josta seurauksena voi olla omaisuusvahinkoja, tuotantotappioita tai henkilöstön turvallisuuden vaarantuminen. (nVent Thermal [www-sivut 2018.](#))

Teollisuudessa on paljon pitkiä putkistoja, joiden lämmityksellä varmistetaan nesteiden kustannustehokas ja turvallinen siirto pitkillä etäisyyksillä. Tavallisimpia pitkien putkistojen käyttökohteita ovat: laitoksien väliset putket sekä varastoihin tai lastaus- ja purkupaikoille vievät putket tai säiliöalueiden ja laivauslaitureiden putkistojen lämpötilan ylläpito sekä sulanapito. Pitkien putkistojen lämmityksen ollessa puutteellinen voi seurauksena olla ongelmia, jotka saattavat aiheuttaa ympäristö- ja omaisuusvahinkoja. Saattolämmitysjärjestelmä on hyvin monimutkainen pitkillä putkistoilla, koska siinä tarvitaan pitkiä lämmityspiirejä, joille on usein vain yksi tehonsyöttöpiste. Lämmityssovelluksiin liittyy useita haasteita: suuret putkihalkaisijat, korkeusmuutokset putkiston pituudella, etäällä olevat kohteet ja sähköä huonosti saatavilla koko putken pituudella. (nVent Thermal [www-sivut 2018.](#))

Teollisuudessa on myös säiliöitä ja tankkeja, jotka vaativat sulanapitoa, lämpötilan ylläpitoa tai lämpötilan nostoa ja kondensoitumisen estoa. Tyypillisimpiä käyttökohteita ovat veden ja ammoniakkin sulanapito, öljyjen, biopolttoaineiden ja hartsien lämpötilan ylläpito, kiteytymisen estäminen, kondensoitumisen estäminen, teollisuuden reaktoreiden esilämmitys, erikoissovellukset, jotka sisältävät korkeaviskoosisten nesteiden

kuumentamisen sekä reaktioiden kiihdytyssovellukset. (nVent Thermal [www-sivut](#) 2018.)

3 SAATTOLÄMMITYSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Saattojärjestelmää suunniteltaessa se asettaa suunnittelijalle erityisvaatimuksia pyritäessä pääsemään tavoitelämpötilaan sekä määrätyissä olosuhteissa sen ylläpitämiseen. Saattojärjestelmällä on rajapintoja, joihinkin määriteltyihin laitteisiin, esimerkiksi lämpöeritykseen ja käytettävään sähkönsyöttöjärjestelmään. Suunnittelijan on tunnettava myös nämä osatekijät, koska lopullinen järjestelmä tulee olemaan näiden osatekijöiden summa. (SFS-EN 60079-30-2, 15.)

Suunniteltaessa saattolämmitysjärjestelmää sen tulisi täyttää kaikki sähkölaitteiden käyttöä koskevat IEC-vaatimukset ja standardien vaatimukset. Suunnittelussa tulisi kiinnittää huomiota myös siihen, että järjestelmä on helppo kunnossapitää (SFS-EN 60079-30-2, 15.) Saattolämmitysjärjestelmää suunniteltaessa pitäisi suunnittelijan saada käyttöönsä kaikki voimassa olevat putkistotiedot sekä tiedot kaikista saattolämmitysjärjestelmään kuuluvista laite- ja piirustusrevisioista (SFS-EN 60079-30-2, 25.)

3.1 Sähkösaaton tarkoitus ja yleiset periaatteet

Saattolämmityselementit pitäisi suunnitella ja asentaa niin, että lämmitysteho riittää ylläpitämään lämmitettävän kohteen lämpötilan annetussa arvossa, sekä pystyy nostamaan tarvittaessa lämmitettävän kohteen ja sen sisällön tiettyyn lämpötilaan tietyssä ajassa tai näiden aikaisempien tapauksien jonkun yhdistelmän. (SFS-EN 60079-30-2, 15.)

Jokainen lämmityspiiri tulee rajoittaa niin, että lämpökaapelin pintalämpötila ei ole vaaraksi lämpökaapelille, lämmityskohteelle tai ympäristölle. Jos kaapeli sijaitsee 1-luokan räjähdysvaarallisessa tilassa, rajoitusmenetelmäksi kelpaa itserajoittavakaapeli tai rajoitustermostaatti. Vikatilanteessa tulee laitteiden toimia turvalliseen suuntaan, esimerkiksi termostaatin anturin ylikuumentuminen, termostaattipiirin katkos tai oikosulku, apujännitteen puuttuminen tai joku muu vastaava. Turvallisella suunnalla tarkoitetaan esimerkiksi, että putken lämmitys katkeaa vikatilanteessa. Lämmityspiirissä pitää olla suojana vikavirta- ja oikosulkusuojat niistä pitää tulla hälytys käyttäjälle. (ST-ohjeisto 11 2007, 9.)

3.2 Lämmityspiirin suunnittelu

Saattolämmityspiiriä syötetään normaalisti 400/230 V:n verkkojännitteestä. Lämmityspiirit ovat yleisesti yksi- tai kolmivaiheisia etenkin prosessialueilla. Lämmityspiirin nimellisvirta ei saa olla yli 80 %:a ylivirtasuojan nimellisvirrasta. Itserajoittavankaa-pelin kytkentävirta ei saa laukaista myöskään ylivirtasuojaa. Myöskään kapasitiivinen vuotovirta ei saa olla yli 50 %:a vikavirtasuojakytkimen nimellisestä vikavirrasta. Syöttöjännite pitää olla jokaisessa piirissä sama eikä sarjapiirejä saa käyttää. (ST-ohjeisto 11 2007, 11.)

Lämmityspiirit ovat suunniteltava niin, että esimerkiksi saman putken jatkuessa seinän läpi lämpimään tilaan on sisällä olevat osuudet lämmitettävä eri piirillä. Kylmästä tulevan putken lämmityspiiri on ulotettava sisälle seinän paksuuden verran tai vähintään kaksi kertaa putken halkaisijan verran. Tuotanto- tai prosessialueiden rajoja tuli noudattaa niin, että sama piiri ei ulotu useampaan alueeseen. Putkistojen ohituslinjat tulee tehdä eri piireillä kuin varsinainen putkisto. (ST-ohjeisto 11 2007, 11.)

Suunniteltaessa putkihaarojen lämmityspiirejä tulee ottaa huomioon, ettei esimerkiksi lämminvirtaus jossain haarassa kytke pois päältä myös kylmien haarojen lämmitystä. Tämä voidaan toteuttaa käytännössä siten, että ohjataan lämmitystä ympäristön lämpötilan perusteella, asennetaan rinnakkaisia säätötermostaatteja putkihaaroihin tai jaetaan lämmitys riittävän moneen sähkölämmitysryhmään. Instrumenttien lämmityspiirit, jotka mittavat samaa suuretta säiliössä pitää kytkeä eri ryhmiin. Tämän avulla varmistetaan siitä, että vähintään toinen instrumentti toimii lämmityspiirin vikatilanteessa. Nestekaasusäiliöiden ja -putkien tyhjennykset pitää kokonaan eri lämmityspiiriin ja ne eivät saa olla samassa tehonlähteessä myös säiliöiden hengityspotket tulee tehdä tällä tavalla. (ST-ohjeisto 11 2007, 11.)

Kohteissa, joissa on korkea lämpötila, tulee selvittää tapauskohtaisesti kohteen oikea lämpötila. Lämpötila on usein käytännössä korkeampi, kuin mitä suunnittelulämpötila on ollut. Teollisuudessa on paljon turvasuihkuja ja niihin liittyvät putkien ja säiliöiden lämmityspiirit tulee varustaa termostaattiohjauksella, joka estää veden lämpötilan nousemisen yli +29 °C:seen ja hälyttää noin +27 °C:n lämpötilasta. Lipeäputkien

lämpötila pitää rajoittaa noin +40 °C:seen. Palo-, käyttö- tai jäähdytysveden lämpötila pitää estää ettei se nouse seisovassa tilassa yli 60 °C:n. (ST-ohjeisto 11 2007, 11.)

Lämmitettäessä muoviputkea pitää käyttää pieniä metritehoja (W/m) tai matalan lämpötilan itserajoittavaa kaapelia, mikä estää putkien vaurioitumisen. Tähän tarkoitukseen suositellaan käytettäväksi muovivaippaista lämpökaapelia. Lämpökaapelin pintalämpötila pitää rajoittaa niin, ettei se nouse yli muoviputkelle sallitun korkeimman käyttölämpötilan. (ST-ohjeisto 11 2007, 12.)

3.3 Saattolämmityksen dokumentointi

Saattolämmityksen dokumentointi on tärkeä osa saattolämmitystä. Sen avulla pystytään helposti tarkistamaan miten ja mihin saattolämmitykset on tehty. Jos asennuksia ei tehdä suunnitelmien mukaisesti tulee ne päivittää kuviin tehdyn mukaisesti. (ST-ohjeisto 11 2007, 20.)

Saattolämmityksestä pitää tehdä ainakin kaikki seuraavat dokumentit:

- sähkölämmitystaulukko
- asennuspiirustus
- sijoituspiirustus
- virtapiiri- ja johdotuskaavio
- kaapeliluettelo
- koestuspöytäkirja
- loppupiirustukset (ST-ohjeisto 11 2007, 20.)

3.4 Eristys

Tarkasteltaessa saattojärjestelmän suorituskykyä, tulisi siihen ottaa huomioon keskeiset ominaisuudet, jotka ovat lämpöeristyksen valinta, asentaminen ja kunnossapito. Lämpöeristys pyritään suunnittelemaan niin, että se estää suurimman osan lämpöhäviöistä, kun sähkösaatto korvaa lämpöhäviöiden loppuosan. Näistä asioista johtuen

lämpöeristyksessä tulevat ongelmat vaikuttavat välittömästi myös käyttöjärjestelmän suorituskykyyn. (SFS-EN 60079-30-2, 10.)

Ensisijainen tehtävä lämpöeristyksellä on pienentää lämmön siirtymistä lämmitetystä pinnasta, jonka käyttölämpötila on suurempi kuin ympäristön lämpötila. Jos lämpöhäviöt saadaan pienennettyä niin se voi pienentää käyttökustannuksia, parantaa mahdollisesti järjestelmän suorituskykyä sekä lisätä järjestelmän tuottokykyä. Lämpöeristykseen liittyvien valintojen tarkastelu suositellaan tehtäväksi ennen putkistojen, säiliöiden ja muiden laitteiden lämpöhäviöiden määrittämistä. Ensisijaiset tarkastelukohteet ovat: eristemateriaalin valinta, säänsuojan valinta, taloudellisen eristepaksuuden valinta ja eristyksen oikean koon valinta. (SFS-EN 60079-30-2, 10.)

3.4.1 Lämpöeristyksen vaatimuksia

Suunniteltaessa ja asennettaessa lämpöeristyksiä pitää ottaa huomioon tiettyjä erityisvaatimuksia. Eristystä asennettaessa tulee varmistua siitä, että eristeen ja lämmityskohteen väliin jää riittävä tila lämmityskaapelille tai, että eriste on riittävän joustava. Eristys on syytä saada tehtyä riittävän tiiviiksi, ettei mahdollisesti tuulisella säällä tule ilmapuotoja. Asennusvaiheessa pitää estää, että eristysmateriaalit eivät saa kosteutta ja eristyksen päälle tulevien suojapeltien pitää pystyä estämään kosteuden pääsy eristeeseen. Asennettaessa putkia ja laitteita tulee ottaa huomioon, että eriste mahtuu myös. Tehtäessä avattavia eristyskoteloita tulee niissä ottaa huomioon, että avattaessa niitä tai suljettaessa ei vahingoiteta lämmityskaapeleita. Säiliöihin ja silloihin pitää asentaa ennen eristystä tartuntapaikat eristyksille. Lämpökaapeleiden päälle astuminen vahingoittaa kaapelia sekä valmiin eristyksen päälle astuminen on kielletty, koska se saattaa huonontaa eristyksen tiiviyyttä. (ST-ohjeisto 11 2007, 19-20.)

4 LÄMMITYSTEHON MÄÄRITTÄMINEN

4.1 Putken lämmitystehon määrittäminen

Lämpöhäviöt voidaan laskea lämmitettävästä kohteesta yksinkertaisimmin kaavalla:

$$q = k\Delta T$$

Kaava 1. Lämpöhäviön laskeminen (SFS-EN 60079-30-2, 15).

q	putken lämpöhäviö pituusyksikköä kohden [W/m]
ΔT	toivotun ylläpitolämpötilan (T_p) ja alimman suunnitellun ympäristön lämpötilan (T_a) välillä [K]
k	järjestelmän lämmönjohtavuus [W/m K]

k on funktio lämpöeristeen paksuudesta, koosta, laadusta ja keskimääräisestä lämpötilasta sekä rajapintojen lämmönsiirtymiskertoimista. Tämän takia järjestelmän parametrien määrittely vaikuttaa laskelman tarkkuuteen. (SFS-EN 60079-30-2, 15-16.)

Putken lämpötila voidaan laskea, yksityiskohtaisemmin jos tiedetään johtumista edustavat tekijät:

$$q = \frac{2\pi K(T_p - T_a)}{1n\left(\frac{D^2}{D^1}\right)}$$

Kaava 2. Putken lämpöhäviön laskeminen (SFS-EN 60079-30-2, 16).

q	lämpöhäviö putken pituusyksikköä kohti [W/m]
T_p	toivottu ylläpitolämpötila [°C]
T_a	ympäristön alin suunnittelulämpötila [°C]
D^1	sisemmän eristyksen sisähalkaisija [m]
D^2	ulomman eristyksen ulkohalkaisija [m]
K	sisemmän eristyksen lämmönjohtavuus keskimääräisessä lämpötilassa [W/m K] (SFS-EN 60079-30-2, 16.)

4.2 Säiliön lämmitystehon määrittäminen

Määrittäessä säiliöiden lämpöhäviöitä se vaatii monesti monipuolisempaa tarkastelua. Tästä johtuen olisi hyvä kysyä saattolämmityksen toimittajalta apua. Säiliön lämmitystehon pystyy laskemaan myös kaavalla:

$$P_h = \frac{K * A * (T_p - T_a)}{s}$$

Kaava 3. Säiliön lämpöhäviön laskeminen (ST-ohjeisto 11 2007, 10).

P_h	häviöteho [W]
K	eristyksen lämmönjohtokyky [W/m °C]
A	eristeen päältä laskettu pinta-ala [m ²]
T_p	toivottu ylläpitolämpötila [°C]
T_a	ympäristön alin suunnittelulämpötila [°C]
s	eristeen paksuus [m]

(ST-ohjeisto 11 2007, 10.)

4.3 Venttiilien ja putkikannakkeiden lämmitysteho

Venttiilien lämmitystehon pystyy laskemaan samalla kaavalla kuin säiliön lämpöhäviön eli kaavalla 3. Putkikannakkeisiin tulee tehdä kannakkeen pituinen kaapelilenkki mikä vähentää sen lämpöhäviöitä. Lämpölenkkiä määriteltäessä tulee ottaa huomioon kannakkeen rakenne sekä selvittää muut mahdolliset erikoisrakenteet. Putkistoissa, joissa on korkea lämpötila, sen kannakkeiden vaikutusta tarkastellaan erikseen. (ST-ohjeisto 11 2007, 10.)

Lämpöhäviöt voidaan ottaa huomioon myös seuraavilla pituuksilla, jos venttiilit ja laippaliitokset ovat eristetty.

- eristetty laippakotelo vastaa 1...2 m eristettyä putkea
- eristetty venttiilikotelo vastaa 2...5 m eristettyä putkea. (SFS 3977, 7.)

Lämpöhäviöitä voidaan verrata myös eristämättömän putken lämpöhäviöihin seuraavilla pituuksilla, jos tarkemmat tiedot puuttuvat. Seuraavat esimerkit ovat putkille, jonka halkaisija 150mm eli DN150.

- laippaliitos 0,4...0,6 m eristämätöntä putkea
- hitsattu venttiili 0,8...1,3 m eristämätöntä putkea
- laipallinen venttiili 1,5...2,0 m eristämätöntä putkea
- metalliset tukirenkaat 100 kappaletta 0,3...0,5m eristämätöntä putkea
- liukukannake 10 kappaletta 0,2...0,5 m eristämätöntä putkea
- riippukannake 10 kappaletta 0,1...0,3m eristämätöntä putkea. (SFS 3977, 8.)

4.4 Instrumenttien lämmitysteho

Instrumenttikaappien lämpöhäviöt voidaan laskea samalla tavalla, kuin säiliöiden lämpöhäviöt eli kaavalla 3. Lämpöhäviöön vaikuttaa erityisesti kaapin tiiveys sekä eristeen lävistävistä lämpösilloista. Tämän vuoksi on hyvä käyttää kokemusperäisiä lämmitystehoja ja tehdä koeasennus. Tehot ovat käytännössä 100...300 W välillä. Edellä mainitut tehot ovat jäätyksen eston vaatimaa lämpötilan nousua $-35\text{ °C} \dots +20\text{ °C}$ ($t = 55\text{ °C}$) (ST-ohjeisto 11 2007, 10.)

Muiden instrumenttien vaativat lämmitystehot saadaan joko laskemalla, koeasennuksia tekemällä tai käyttämällä kokemuksiin perustuvia tehoja. Laskemalla saadaan vain suuntaa-antavia tehoja, kun eristeissä olevat ilmapuodot voivat yhtäkkiä moninkertaistaa tarvittavan lämmitystehon. (ST-ohjeisto 11 2007, 10.)

Kokemusperäisiä tehoja:

Näkölasi ja pintalähetin vaativat jäätyksen estoon n. 60 W/m tehon, tämän lisäksi venttiilit vaativat vielä suuremman tehon. Jos ylläpitolämpötila on $+50\text{ °C}$ magneettisessa pintainstrumentissa tarvitsee se n. 100 W/m tehon, jos eristyspelti on riittävän tiivis tai pintakojeessa on avattava luukku. Pintalähettimen vaatima lämmitysteho on hieman pienempi. Painemittarin vaatima lämmitysteho on n. 20-30 W. (ST-ohjeisto 11 2007, 10.)

4.5 Lämpötilan noston vaatima lämmitysteho

Joissakin laitoksen käyttötilanteissa voi olla tarpeen asettaa saattolämmitykselle vaatimus nostaa virtauksettomassa tilassa olevan aineen lämpötilaa tietyssä ajassa. Tämän laskemiseen voidaan käyttää seuraavaa yhtälöä, joka kertoo putkiston sähkösaattotehon:

$$t = H \ln \left\{ \frac{qc - U(Ti - Ta)}{qc - U(Tf - Ta)} \right\} + \frac{P_1 V c_1 h f}{qc - U(Tsc - Ta)}$$

Kaava 4. Putkiston sähkösaattotehon laskeminen (SFS-EN 60079-30-2, 17).

U on lämpöhäviö putken pituusyksikköä ja lämpötilaeron astetta kohti.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\pi D_1 h_i} + \frac{1n(\frac{D_2}{D_1})}{2\pi K_1} + \frac{1n(\frac{D_3}{D_2})}{2\pi K_2} + \frac{1}{\pi D_3 h_{co}} + \frac{1}{\pi D_3 h_o}}$$

Kaava 5. Lämpöhäviön laskeminen putken pituusyksikköä ja lämpötilaeron astetta kohden (SFS-EN 60079-30-2, 17).

H on termien aikavakio, se on putken, nesteen ja lämpöeristyksen massoihin sitoutunut kokonaisenergia astetta kohden jaettuna lämpöhäviöillä putken pituusyksikköä ja lämpötilaeron astetta kohti.

$$H = \frac{P_1 C p_1 V c_1 + P_2 C p_2 V c_2 + 0,5 P_3 C p_3 V c_3}{U}$$

Kaava 6. Termisen aikavakion laskeminen (SFS-EN 60079-30-2, 17).

P_1 on putkessa olevan aineen tiheys [kg/m^3]

$C p_1$ on putkessa olevan aineen ominaislämpö [J/kg K]

$V c_1$ on putken sisäinen tilavuus [m^3/m]

P_2 on putkimateriaalin tiheys [kg/m^3]

$C p_2$ on putkimateriaalin ominaislämpö [J/kg K]

$V c_2$ on putkimateriaalin tilavuus [m^3/m]

P_3	on eristemateriaalin tiheys [kg/m ³]
Cp_3	on eristeen ominaislämpö [J/kg K]
Vc_3	on eristeen tilavuus [m ³ /m]
T_i	on putken alkulämpötila asteina [°C]
T_f	on putken ja siinä olevan aineen loppulämpötila asteina [°C]
T_a	on ympäristön lämpötila asteina [°C]
T_p	on haluttu ylläpitolämpötila asteina [°C]
t	on haluttu lämmitysaika sekunteina [s]
U	on lämpöhäviö putken pituusyksikköä ja lämpötilaa kohti [W/m K]
H	on terminen aikavakio sekunteina [s]
T_{sc}	on putkessa olevan aineen olomuodon muutoslämpötila asteina [°C]
hf	on putkessa olevaan aineeseen sitoutunut sulamislämpö [J/kg]
qc	on sähkösaaton teho putkimetrille [W/m]

Äsken tarkasteltu olettaa järjestelmän tiheydet, tilavuudet, lämmönjohtavuudet ja lämpöhäviöt vakioiksi kyseessä olevalla lämpötila-alueella. Pitää ottaa myös huomioon, että jokaisella aineella ei ole olomuodon muutosta lämpötilan noston aikana. Laskentamalli soveltuu putkiosuuksille, mutta se ei kuitenkaan huomioi pumppuja eikä venttiilejä. (SFS-EN 60079-30-2, 17-18)

4.6 Lämpöhäviöiden varmuuskerroin

Lämpöhäviölaskelmiin tulisi soveltaa varmuuskerrointa, koska lämpöhäviölaskelmat ovat teoreettisiin arvoihin perustuvia, eivätkä ne ota huomioon asennustyössä toteutuvia poikkeuksia. Varmuuskerroin on yleensä välillä 10 %...25 % ja sen valinnan tulisi perustua käytännön kokemukseen. Varmuuskertoimen tuoma tehonlisäys tarvitaan kompensoimaan saattojärjestelmän epäedullisia toleransseja. Kun varmuuskerrointa arvioidaan, tulisi siinä ottaa huomioon seuraavat asiat:

- lämpöeristyksen ominaisuuksien huononeminen
- syöttöjännitteen vaihtelut
- jännitteenalenema ryhmäjohtojen osuudella
- jännitealenema lämmityselementin osuudella

- korkealämpöisten sovellusten suurentuneet säteily- ja johtumishäviöt
- lämpöeristeasennusten laatu (SFS-EN 60079-30-2, 17.)

5 LÄMMITYSKAAPELIT

Lämmityskaapeleita on kolmea päätyyppiä ja ne luokitellaan ominaisuuksien mukaan vakiovastus-, kiinteämetritehoiset eli itserajoittuvat ja itsesäätyvät kaapelit. Jokaisessa ryhmässä on monia eri teho- ja materiaalivaihtoehtoja. (Saastamoinen & Kauppila 2013, 171.)

5.1 Vakiovastuskaapeli

Metrivastus vakiovastuskaapelissa on vakio resistanssi pituusyksikköä kohti, joten mitä pidempi on kaapeli, sitä pienempi on sekä kokonaisteho että metriteho. Tehon lisäksi myös ympäristön lämpötila ja kaapelin mahdollisuus luovuttaa lämpöä ympäristöön vaikuttavat kaapelin toimintalämpötilaan. (Saastamoinen & Kauppila 2013, 171.)

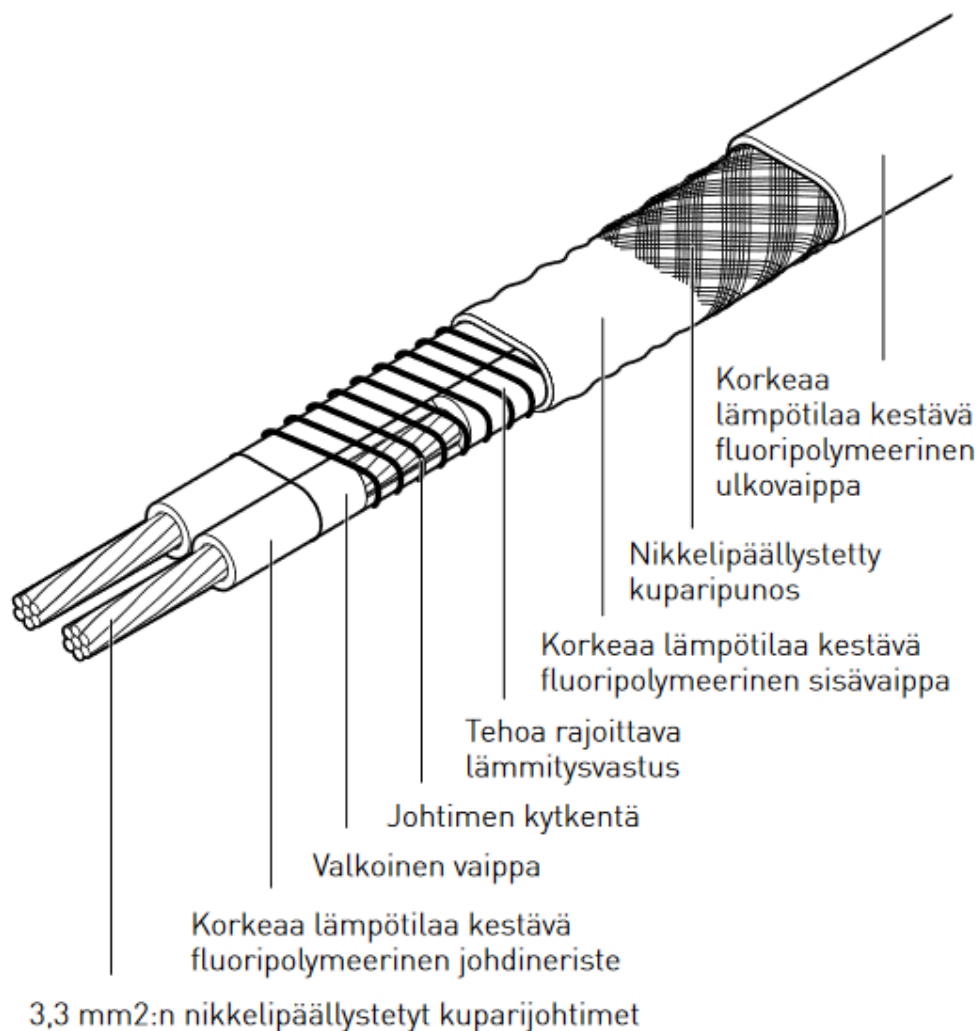
Kaapelin valmistajan ohjeiden mukaan valitaan vakiovastuskaapelin tyyppi, metrivas- tus ja pituus sekä tarvittavan tehon mukaan ottaen myös huomioon käyttö- sekä ympäristö olot. Jos kaapelin suunniteltua pituutta halutaan muuttaa, tulee ottaa yhteys suunnittelijaan. Asennettaessa vakiovastuskaapelia ne eivät saa risteillä keskenään. Yleisimmät kaapelin tehot ovat 12...25 W/m ja kaapeli kytketään joko 230 V:n tai 400 V:n jännitteeseen. (Saastamoinen & Kauppila 2013, 171.)

5.2 Itserajoittuvakaapeli

Itserajoittuvan kaapelin rakenne koostuu kahdesta rinnakkaisesta äärijohtimesta ja näiden ympärille on kierretty vastus. Tietyn matkan välein eriste on paljas äärijohtimesta ja saman matkan päästä myös toinen äärijohtin on paljaana. Näiden kosketuspisteiden välinen matka määrittää mikä on lämmitysalueen pituus. Ympäristön lämpötilan muuttuessa äärijohtimien ympärille kierretyn vastuksen teho muuttuu. Tästä johtuen voidaan itserajoittuvat kaapelit kytkeä kerran ristikkäin esimerkiksi venttiileissä. Itserajoittuvaa kaapelia soveltuu sulanapitoon ja prosessilämpötilan ylläpitämiseen tarvittaessa suurta tehoa tai korkeaa lämpötilan kestoa. Ne pystyvät pitämään

prosessilämpötilan jopa 230 °C:ssa sekä ne kestävät jopa 250 °C:n ympäristön lämpötilan, jos virta on katkaistu. (nVent Thermal www-sivut 2018.)

Harjavallan urakassa käytimme itserajoittuvana kaapelina nVentin Raychem VPL kaapelia se on korkean lämpötilan tehoa rajoittava kaapeli. Se on tarkoitettu putkien ja laitteistojen saattolämmitykseen erilaisissa teollisuuden kohteissa. Se soveltuu sekä sulanapitoon sekä prosessilämpötilojen ylläpitoon lisäksi se kestää rutiininomaisia höyrypuhdistuksia. Kaapeli voidaan asentaa myös limittäin ilman ylikuumentumisen vaaraa tehonrajoituksen ansiosta. Hyväksytty räjähdysvaarallisiin tiloihin. Kuvassa 1. on esitetty VPL kaapelin rakenne. (nVent Thermal www-sivut 2018.)



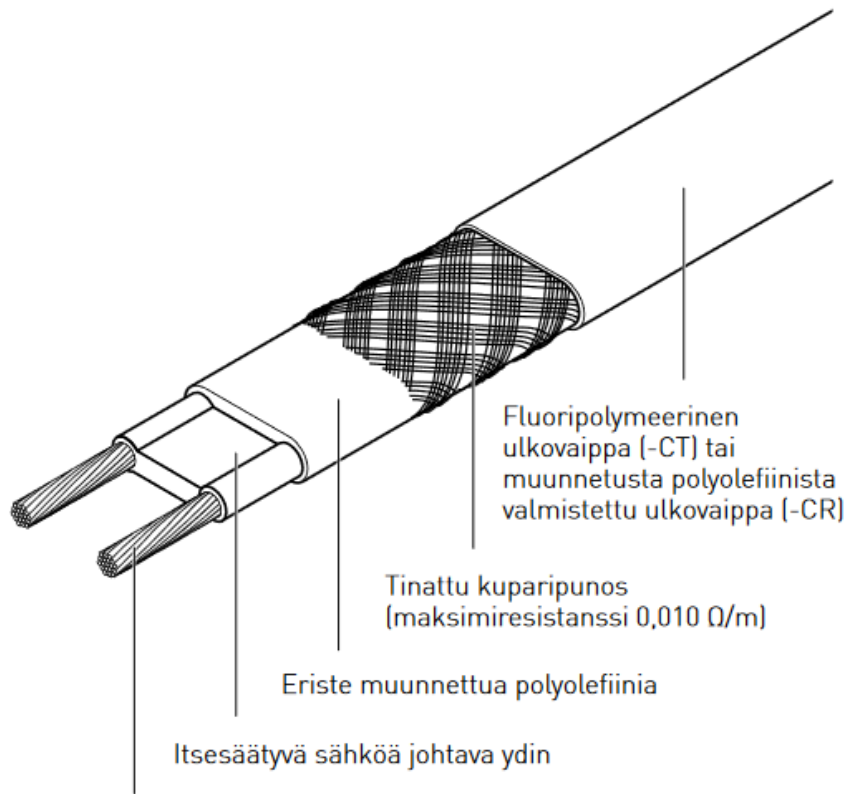
Kuva 1. VPL kaapelin rakenne (nVent Thermal www-sivut 2018).

5.3 Itsesäätyväkaapeli

Itsesäätyvän lämmityskaapelin rakenne on kaksi johdinta, joiden välissä on puolijohtava massa. Kaapelin perus periaate on, että puolijohtavan massan lämmitessä sen resistanssi (ominaisvastus) kasvaa ja lämpöteho pienenee. Jos taas puolijohtavan massan lämpötila laskeessa myös resistanssi pienenee ja lämpöteho kasvaa. Kaapeli yrittää pyrkiä tehoaan säätämällä pitämään lämpötilansa vakiona erilaisista lämmönluovutusoloista, kuten ympäristön lämpötilasta, riippumatta. Kaapelilenkin ollessa erilaisissa ympäristöolosuhteissa siihen muodostuu erilaisia metritehoja. Asennusta helpottaa se, että kaapelit voivat myös risteillä keskenään. (Saastamoinen & Kauppila 2013, 172.)

Valittaessa ja mitoitettaessa itsesäätyvää kaapelia tulee ottaa huomioon lämmitettävän kohteen lämpöhäviöt ja kaapelikohtaiset tehonkulutus- tai lämpötilakäyrät. Nimellistehosta ja ympäristöstä riippuen kuormitustehot voivat olla 5...50 W/m. Suurimmat asennuspituudet vaihtelevat valmistajien ja kaapelityyppien mukaan. Suojausta suunniteltaessa tulee se mitoittaa pienimmän kytkentälämpötilan mukaan eli suurimman tehon mukaan. On myös ryhmäkokoja ja sulakkeita mietittäessä otettava huomioon, että ”kylmäkäynnistys” tekee lyhytaikaisen virtahuipun. (Saastamoinen & Kauppila 2013, 172.)

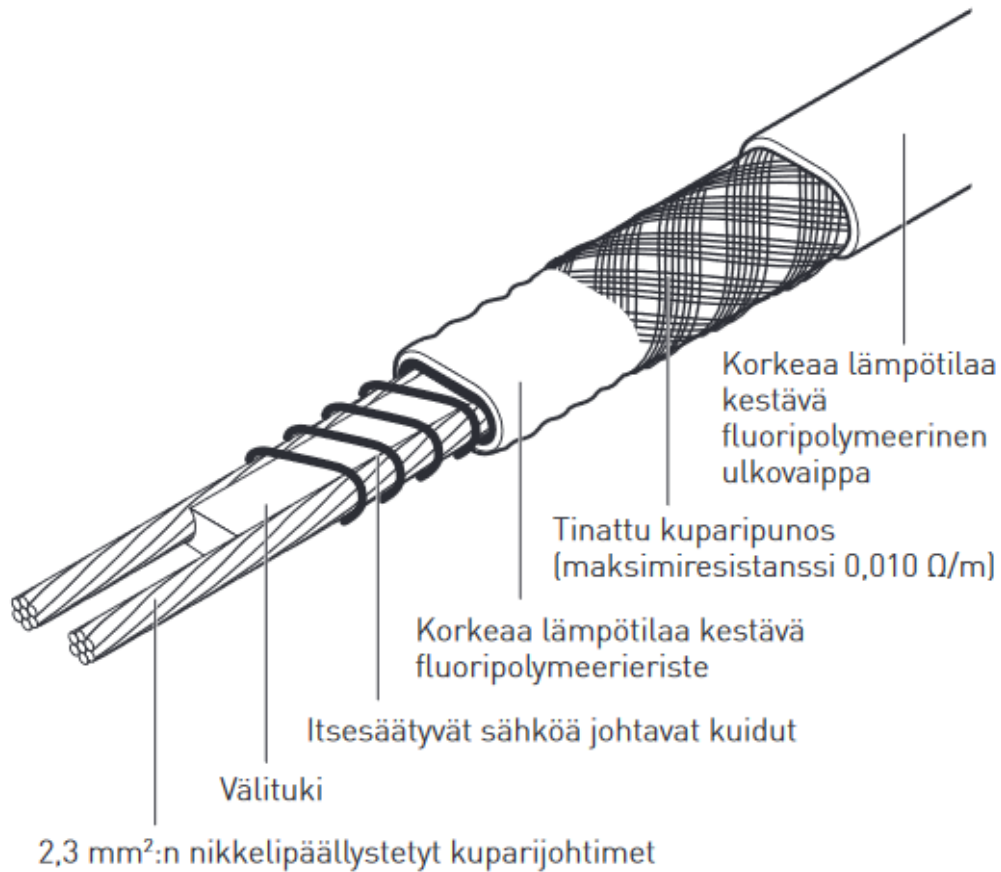
Harjavallan urakassa itsesäätyvinä kaapeleina käytimme nVentin Raychem BTV ja XTV. BTV kaapelia käytetään pääsääntöisesti putkien sulanpitoon, mutta ei höyrypuhdistukseen. Lämpökestävyys sillä on enintään +65 °C, hetkellinen lämpökestävyys enintään +85 °C. Soveltuu räjähdysvaarallisiin tiloihin T6-lämpötilaluokka. Helppo asentaa, koska voidaan katkaista sopivaan mittaan asennettaessa ja kaapelit voidaan asentaa limittäin ilman vaaraa ylikuumenemisesta. Kaapelin ollessa itsesäätyvä vaikuttaa se järjestelmän tehokkaaseen toimintaan säästäen energiaa ja sen kautta käyttökustannuksia. Kuvassa 2. on esitetty BTV kaapelin rakenne. (nVent Thermal www-sivut 2018.)



1,2 mm²:n nikkeli-päälystetyt kuparijohtimet

Kuva 2. BTV kaapelin rakenne (nVent Thermal www-sivut 2018).

XTV kaapelia käytetään pääsääntöisesti taas höyryllä puhdistettavien putkien ja säiliöiden sulanapitoon ja prosessilämpötilan ylläpitoon. Voidaan käyttää myös suurien putkien sulanapitoon sekä sellaisiin kohteisiin, joissa edellytetään suurta lämpötilan kestävyyttä. Lämmönkestävyys on enintään 120 °C:n ylläpitolämpötilaa ja keskeytyvä lyhytaikainen alistus voi olla enintään 250 °C. Muilta ominaisuuksiltaan samanlainen, kuin BTV kaapeli. Kuvassa 3. on esitetty XTV kaapelin rakenne. (nVent Thermal www-sivut 2018.)



Kuva 3. XTV kaapelin rakenne (nVent Thermal www-sivut 2018).

5.4 Lämpökaapelityypin valinta

Suunniteltaessa lämmityskaapelin valintaa on tiettyjä perusvaatimuksia. Lämmityselementtien suurimman sallitun kestoämpötilan pitää olla korkeampi kuin lämmitettävän kohteen suurin mahdollinen lämpötila, joka voi olla suurempi mitä prosessin normaali käyttölämpötila. Lämmityselementtien pitää soveltua niille tarkoitettuun käyttöympäristöön ja kestää ympäristön rasitukset. Lämmityselementit pitää olla tarkoitettuja ja sertifioituja käytettäväksi niille tarkoitetuissa tiloissa esimerkiksi räjähdysvaaralliset tilat. (SFS-EN 60079-30-2, 19.)

Jokaiselle käyttösovellukselle on asetettu suurin sallittu ominaisteho, millä lämmityselementti voidaan mitoittaa tai valita ilman, että se vahingoittaa lämmitettävää kohdetta tai sen sisältöä. Pinnoitetut putket, lipeäputket tai lämpötilalle arat materiaalit ovat hyvin kriittisiä lämmityskohteita valitun ominaistehon suhteen. Järjestelmän

dokumentointiin pitää merkitä raja-arvo. Joissakin käyttösovelluksissa voi olla tarpeen jakaa lämmitysteho useammalle lämmityselementin osalle tai yksittäisen lämmityselementin kierteinen asennustapa. (SFS-EN 60079-30-2, 19.)

6 SAATTOLÄMMITYKSEN OHJAUS JA VALVONTA

6.1 Sähkösaattokeskus ja sähkösaattolähdöt

Sähkösaattokeskusten tulee täyttää yleiset vaatimukset, jotka käyvät ilmi sähköturvallisuusmääräyksistä sekä tehdaskohtaisista ohjeista ja standardeista.

Seuraavassa on kerrottu vain yleisperiaatteet:

- Saattolämmityslähdöt on hyvä sijoittaa näitä varten tehtyihin alakeskuksiin.
- Pienitehoiset lähdöt on hyvä tehdä ryhmälähtöinä, koska se säästää tilaa keskuksessa ja kustannukset pienenevät. (ST-ohjeisto 11 2007, 9.)

Sähkösaattolähdössä pitää olla lämpötilan säätö, joka toimii lämmityskohteessa olevalla anturilla tai ympäristön lämpötilaa mittaavan anturin ohjaamana (ST-ohjeisto 11 2007, 9.)

6.2 Prosessilämpötilan tarkkuus

Prosessilämpötilat on jaettu kolmeen ryhmään: tyyppi I, tyyppi II ja tyyppi III. Nämä ryhmät määrittelevät sen kuinka tarkkaa prosessilämpötilan ylläpito on. (SFS-EN 60079-30-2, 9.)

Tyyppi I

Tyyppin I prosessissa pitäisi lämpötila-arvon pysyä minimiarvon yläpuolella. Tässä tapauksessa voi ulkolämpötilaa mittaava säätö olla riittävä. Lämmitysryhmien ollessa suuritehoisia voidaan niitä ohjata yhteisillä säätimillä ja syöttöyksiköillä. Tämä tyyppi sallii, että lämmitysenergiaa käytetään välillä tarpeettomasti ja myös suuret lämpötilavaihtelut on sallittuja. Sokkohaara-säätötekniikan avulla pystytään säästämään lämmitysenergiaa. (SFS-EN 60079-30-2, 9.)

Tyyppi II

Tyyppin II prosessissa pyritään siihen, että lämpötila pystytään ylläpitämään kohtuullisen pienellä vaihtelualueella. Tässä tapauksessa tyyppillisenä säätimenä voi olla esimerkiksi putken lämpötilan tunteva mekaaninen termostaatti. (SFS-EN 60079-30-2, 9.)

Tyyppi III

Tyyppin III prosessissa tavoite on, että lämpötila pystytään ylläpitämään kapealla vaihtelualueella. Putken lämpötilaa seurataan termopari- tai vastusantureilla varustetulla säätimellä ja se antaa myös vaihtoehtoja lämpötilan hälytys- ja valvontatoiminnoissa. Lämmitystehoa pystytään varaamaan esilämmittämällä tyhjää putkea tai nostamaan nesteen lämpötilaa annetulla tarkkuudella ja annetussa ajassa. Tyyppin III toteutuksissa pitää ottaa tarkkaan huomioon virtausvaihtoehdot ja lämpöeristevalinnat. (SFS-EN 60079-30-2, 9.)

Saattolämmitysjärjestelmän ollessa kriittinen koko prosessin tai turvallisuuden kannalta. Järjestelmän lämpötilan säädön ja piirien valvonnan määräykset pystytään määrittelemään lämpötilan säädön tyyppien ja käytön kriittisyyden mukaan taulukon 1 mukaisesti. (SFS-EN 60079-30-2, 9.)

Onko saattolämmitys Prosessin kriittinen Komponentti?	Vaadittu prosessilämpötilan säädön tarkkuus		
	Minimilämpötilan yläpuolella Tyyppi I	Väljä lämpötila-alue Tyyppi II	Kapea lämpötila-alue Tyyppi III
Kyllä = Kriittinen (C) Ei = Ei-kriittinen (NC)	C – I NC – I	C – II NC – II	C – III NC – III

Taulukko 1 Prosessityypit (SFS-EN 60079-30-2, 9).

Saattolämmityksen ollessa kriittinen prosessin kannalta pitää kiinnittää erityistä huomiota saattopiirin valvontaan, saattopiirien virheettömään toimintaan, hälytyksiin sekä varalämmitysjärjestelmään. Saattolämmityksen varaohjaus pystytään aktivoimaan automaattisesti valvonta-/hälytysjärjestelmän havaitseman vian vuoksi.

Varalämmityspiirin avulla pystytään myös tekemään esimerkiksi kunnossapitotöitä ja korjauksia, vaikka prosessi onkin käynnissä. Se tuo myös luotettavuutta järjestelmään. (SFS-EN 60079-30-2, 9.)

6.3 Lämpötila-anturi

Lämpötila-anturit asennetaan joko putken ulkopintaan tai mahdollisesti mittaamaan suoraan saatettavan prosessiaineen lämpötilaa. Lämpötila-anturit ovat yleisesti joko vastusantureita, kapillaariantureita tai termospareja. Lämpötilaa mittaavien laitteiden sekä lämpötila-antureiden pitää täyttää sovellettavan suojaustavan vaatimukset. (SFS-EN 60079-30-2, 40.)

Lämpötila-anturia mikä mittaa pintalämpötilaa pitää asennus vaiheessa varmistua, että tehokas lämmönsiirto on kosketuskohdassa. Anturin halkaisija sekä pituus mahdollisesti vaikuttavat lämpötilamittaukseen. (SFS-EN 60079-30-2, 40.)

Saattolämmityksessä usein käytetty anturi on Pt100 ja se perustuu vastusmittausperiaatteeseen. Pt100 on lämpötilan mittausvastus, minkä materiaalina on platina sen vastusarvo 0 °C lämpötilassa on 100 ohmia ja siitä tulee nimi Pt100. Vastus kasvaa lämpötilan noustessa, koska platinalla on positiivinen resistanssin lämpökerroin. Anturin vastus muuttuu lämpötilan funktiona 0,39 ohmia/1 °C. Se on hyvin pitkäaikaisstabiili verrattuna muihin lämpötilan mittausmenetelmiin. (SKS Sensors [www-sivut](http://www.sksensors.com) 2018.)

6.4 Hälytykset

Hälytyksien tehtävä on kertoa käyttöhenkilökunnalle, että saattojärjestelmän toiminta mahdollisesti ole suunnitelluissa raja-arvoissa ja että se tulee tarkistaa mahdollisia huoltotoimenpiteitä varten. Hälytysjärjestelmien tyyppi ja toiminta riippuvat prosessin sille asettamista vaatimuksista. Tiedonkeruujärjestelmään voidaan liittää hälytykset joko kokonaan tai vain osittain. Hälytyksiä on olemassa esimerkiksi sähkösaattopiirin hälytykset, Lämpötilahälytykset ja muut hälytykset. (SFS-EN 60079-30-2, 31.)

Piirin virran ja jännitteen puuttumiseen tai piirin katkeamiseen käytetään saattopiirin hälytysjärjestelmää. Tähän tarkoitukseen on olemassa muutamia laitteita mitkä valvovat sitä. Virtaa mittaava laite, mikä mittaa, ettei virta pääse laskemaan asetetun minimiarvon alapuolelle ohjauksen ollessa päällä. Jännitettä mittaava laite, mikä mittaa jännitettä lämmityspiirin loppupäässä tai mahdollisesti erillisessä, kaapelin sisässä varatussa paluujohtimessa. Lisäksi on olemassa resistanssia mittaava tai piirin katkeamisen havaitseva laite, mitkä valvovat saattopiiriä, kun se on jännitteettömänä. (SFS-EN 60079-30-2, 31-32.)

Lämpötilanhälytyksillä pyritään saamaan hälytys lämpötilan alarajasta tai hälytys lämpötilan ylärajasta. Hälytys lämpötilan alarajasta kertoo, että putkisto ja samalla lämmitettävä aine on jäähtynyt asetetun alarajan alapuolelle. Tämän seurauksena saatetaan alittaa hyväksyttävä, suunnittelun mukainen käyttölämpötilaraja. Hälytystoiminto voi olla joko suoraan säätölaitteessa tai se voi olla myös erillinen laite. Ylärajan hälytys taas kertoo putkiston ja lämmitettävän aineen lämpötila on noussut yli asetetun ylärajan ja nousemisen jatkuminen saattaa aiheuttaa suunnitellun käyttölämpötilarajan ylityksen. Tähän on olemassa samanlaisia laitteita, kuin alarajan hälytystoiminnon seuraamiseen. (SFS-EN 60079-30-2, 32.)

Lisäksi on olemassa muitakin hälytyksiä esimerkiksi kontaktorin tilatiedot, vikavirtasuojakytkimen laukeaminen, lämpötilansäätimen apukoskettimen tilatiedot, piirivirran valvontalaitteisto ja elektronisten säädinten sisäinen ”vahtikoira”-piiri, mikä ilmaisee vian sisäisissä säätötoiminnoissa. (SFS-EN 60079-30-2, 32.)

Sähkösaattojärjestelmien säätö- sekä hälytyspiirit olisi hyvä liittää laitoksen keskitettyyn säätö- ja valvontajärjestelmään. Yhteiskäyttöön soveltuvien laitteiden valinta pitää tehdä erityisen tarkasti, jotta järjestelmästä tulee toimiva ja tiedonsiirto on luotettava. (SFS-EN 60079-30-2, 32.)

6.5 PlanControl lämmityksenohjausjärjestelmä

Käytimme Harjavallan rikkihappotehtaan saattolämmitysrukkassa PlanControllin saattolämmityksen ohjausjärjestelmää. Meillä oli kaksi eri saattolämmityskeskusta

johtuen pitkistä välimatkoista. PlanControl on teollisten sähkölämmitysten- ja valvontajärjestelmä, minkä avulla pystytään ohjaamaan ja hallitsemaan, jopa tuhansia lämmityspiirejä. PlanControl keskuksset ovat rakenteeltaan modulaarisia ja tämän ansiosta ne pystytään helposti rakentamaan vastaamaan lämmityspiirien määrään ja siihen saadaan vaaditut ohjaus- ja mittausominaisuudet. (Planray www-sivut 2016.)

PlanControl on hyvin monipuolinen ja sitä on hyvin helppoa laajentaa. Suunnittelu on helppoa ja sen avulla pystytään vähentämään kustannuksia projektin suunnittelusta ylläpitoon ja samalla pystytään turvaamaan myös prosessi turvallisuus. Keskuksilla on omat käyttöliittymät ja niiden avulla pystytään katsomaan lämmityspiirien kaikkia tietoja. Portaattoman tehonsäädön avulla saadaan joustavuutta ja helppoutta suunnitteluun sekä pienentää tarvittavien lämmityskaapelien valikoimaa. (Planray www-sivut 2016.)

PlanControl tekee myös säännöllisen ja automaattisen kunnonvalvontatarkastuksia, mikä varmistaa lämmityskaapelien, lämpötila-anturien ja laitteistojen oikein toimivuuden, minkä avulla vältetään kalliit korjaukset ja tuotantokatkokset. Keskuksessa on myös kuorma- ja vuotovirranmittaus, minkä avulla pystytään seuraamaan lämmityksen toiminnan- ja kunnonseurantaa. Piirin vikaan tuessa saat siitä ilmoituksen heti ottamalla käyttöön ali- ja ylivirtahälytykset. Pystytään myös tarkastelemaan sähkövirtaa koskevia tilastoja sekä seurata energiankulusta. (Planray www-sivut 2016.)

Järjestelmä on suunniteltu hyvin asiakaslähtöiseksi ja erityisesti teollisuuden käyttöön. Se tarjoaa monia erikoisominaisuuksia esimerkiksi, yksi niistä on hälytysten estotoiminto, millä pystytään estämään normaalia korkeammista prosessilämpötiloista johtuvat ylimääräiset hälytykset. Toinen erikoisominaisuus on lämmityksen estotoiminto, minkä avulla pystytään estämään ylimääräinen lämmitys, jos prosessi vaatii sen. (Planray www-sivut 2016.)

7 SAATTOLÄMMITYKSEN ASENNUS

Saattojärjestelmät tulee suunnitella niin, että ne täyttävät asianomaisen prosessin ja laitoskokonaisuuden vaatimukset. Järjestelmä koostuu isosta joukosta komponentteja, mitkä yhdistetään asennuskohteessa toimivaksi. Tämän takia on välttämätöntä varmistua, että suunnittelussa käytetyt prosessitiedot eivät ole muuttuneet, kun järjestelmää aletaan asentamaan ja toisaalta, että komponentit ovat asennettu oikein. Edelleen on olennaista, että järjestelmä on tarkoituksenmukaiseksi testattu ja kunnossapito ovat tärkeitä tekijöitä toivottujen suoritusarvojen ja turvallisen käytön varmistamiseksi. (SFS-EN 60079-14:2015 + AC:2016, 107.)

Lämmitysjärjestelmät asennetaan yleensä laitteen ulkopuolelle ja sen ensisijainen tehtävä on ylläpitää putkiston, säiliön tai astian lämpötila riittävänä. Asennettaessa järjestelmää räjähdysvaaralliseen tilaan tulee kaikkien sähköisten komponenttien olla sertifioituja ja koko järjestelmä tulee olla suunniteltu, asennettu ja tarkastettu niin, että ei tule mahdollisia korkeita lämpötiloja, mitkä voisivat muodostua mahdolliseksi syttymislähteeksi.

Järjestelmä koostuu niistä komponenteista, mitkä tarvitaan saattolämmitysjärjestelmän turvalliseen ja haluttuun toimintaan. Yleisesti saattolämmitysjärjestelmä muodostuu seuraavista osista:

- Sähköinen saattolämmitystaulukko (yleisesti lämmityskaapeli tai muu elementti)
- Asennustarvikkeet, esimerkiksi liitännäkotelot, liittimet ja jatkostarvikkeet
- Lämpötilan valvontalaitteet ja rajoittimet (anturit)
- Lämpöeristys ja säänsuojaus (verhous eli pellitys) (SFS-EN 60079-14:2015 + AC:2016, 107.)

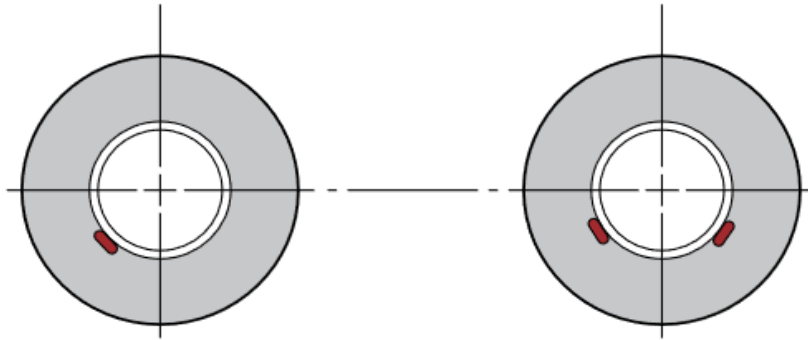
Sähköisillä komponenteilla pitää olla, joko erillinen sertifikaatti tai ne pitää olla sisällytettyinä lämmitysjärjestelmän sertifikaattiin (SFS-EN 60079-14:2015 + AC:2016, 107.)

Henkilökunta mikä asentaa ja testaa sähkösaattoja tulisi olla riittävän perehtynyt kaikkiin vaadittaviin erikoistekniikoihin. Asennustöitä pitää valvoa sähköalan ammattilainen, ketä tuntee ja on perehtynyt myös räjähdysvaarallisten tilojen saattojärjestelmiin. Erityisen kriittisiin työvaiheisiin esimerkiksi kaapeleiden liittämiset ja päättämiset tulisi suorittaa vain henkilö, joka on saanut siihen erityiskoulutuksen. Kaikki asennukset tulisi tehdä valmistajan asennusohjeiden ja vaatimuksien mukaan. (SFS-EN 60079-14:2015 + AC:2016, 108.)

7.1 Saattolämmityskaapelin asennus

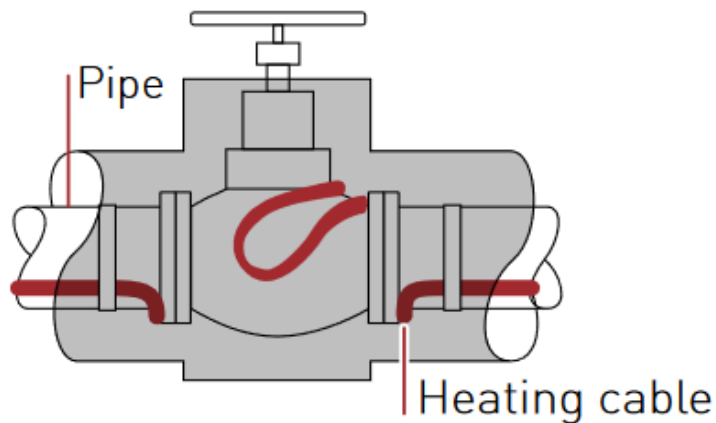
Ennen saattolämmityskaapelin asennusta pitää huomioida tiettyjä vaatimuksia, ennen kuin kaapelia aletaan asentaa. Lämpökaapeli pitää säilyttää puhtaassa ja kuivassa paikassa, missä lämpötila on $-40\text{ °C} \dots +60\text{ °C}$. Tarkistetaan materiaalit ja varmistetaan kaapelityypin olevan oikeaa sille suunniteltuun kohteeseen. Ennen asennusta olisi myös tarpeen mitata kaapelin eristysresistanssi, millä varmistetaan kaapelin olevan ehjä. Putkistoon ja säiliöön on tehty painetestaus sekä siihen on saatu lupa asentaa lämmityskaapeli. Lämpökaapelin reitti on hyvä suunnitella ennen asennusta ja huomioida tiettyjä lämpöhäviölähteitä, esimerkiksi venttiilit, laipat, kannakkeet ja tyhjennysyhteet. (Raychem installation and maintenance manual 2016, 4)

Lämpökaapelin vedossa pitää kiinnittää erityistä huomiota, ettei vahingoita kaapelia. Kaapelin kiinnityksen asennusväli on 300 mm, mutta tarvittaessa tiheämmin. Asennettaessa kaapeli putkeen on pyrittävä asentamaan se putken alemmalle osuudelle. Hyvänä sääntönä on asentaa kaapeli putkessa kellon mukaan kello 4 tai 8 paikalle kuten kuvassa 4 on näytetty. Kaapelin kiinnityksessä voidaan käyttää, joko lasikuituteippiä tai alumiiniteippiä, mikä on tarttumiseltaan parempaa. (Raychem installation and maintenance manual 2016, 5-7)

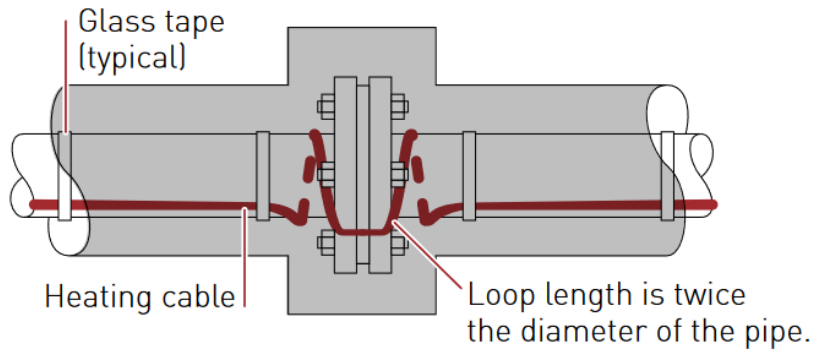


Kuva 4. Kaapelin paikka putkeen asennettaessa (Raychem installation and maintenance manual 2016, 6).

Venttiilin asennuksessa pitää huomioida, että venttiili lämpeää tasaisesti joka puolelta. Kuvassa 5 on esitetty tyypillinen asennustapa venttiiliä saatettaessa. Kaapeli lenkin pituus määräytyy venttiilin muodosta ja sen pitää pystyä minimoimaan lämpöhäviöt. Laipan saattaminen menee melkein samalla tavalla ja kuvassa 6 on esitetty tyypillinen asennustapa. Hyvänä muisti sääntönä on, että lisäkaapelimäärä laippaan on noin 2-3 kertaa saatettavan putken halkaisija. (Raychem installation and maintenance manual 2016, 12-13.)

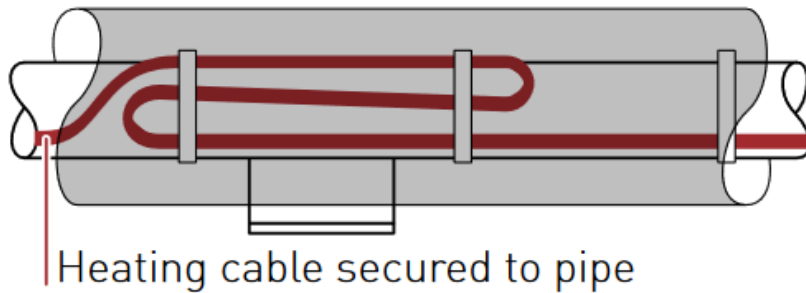


Kuva 5. Venttiilin saattamisen tyypillinen asennustapa (Raychem installation and maintenance manual 2016, 12).

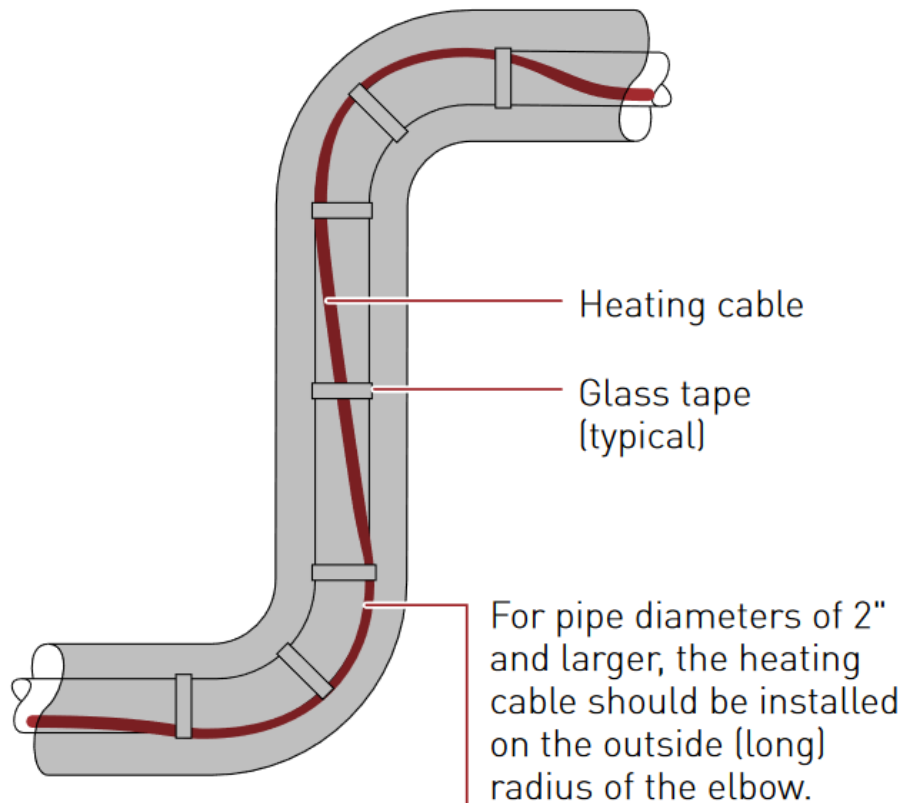


Kuva 6. Laipan saattamisen tyypillinen asennustapa (Raychem installation and maintenance manual 2016, 12).

Putkikannakkeiden kohdalla tulee huomioida, että myös kannake lämmitetään ja tämä on esitetty kuvassa 7. Jos kannaketta ei lämmitetä niin tuo se siltä kohdalta putkeen lämpöhäviöitä. Putkessa olevat mutkat tulee saattaa mutkien ulkosäteen puolelta esimerkiksi kuvassa 8. (Raychem installation and maintenance manual 2016, 13.)



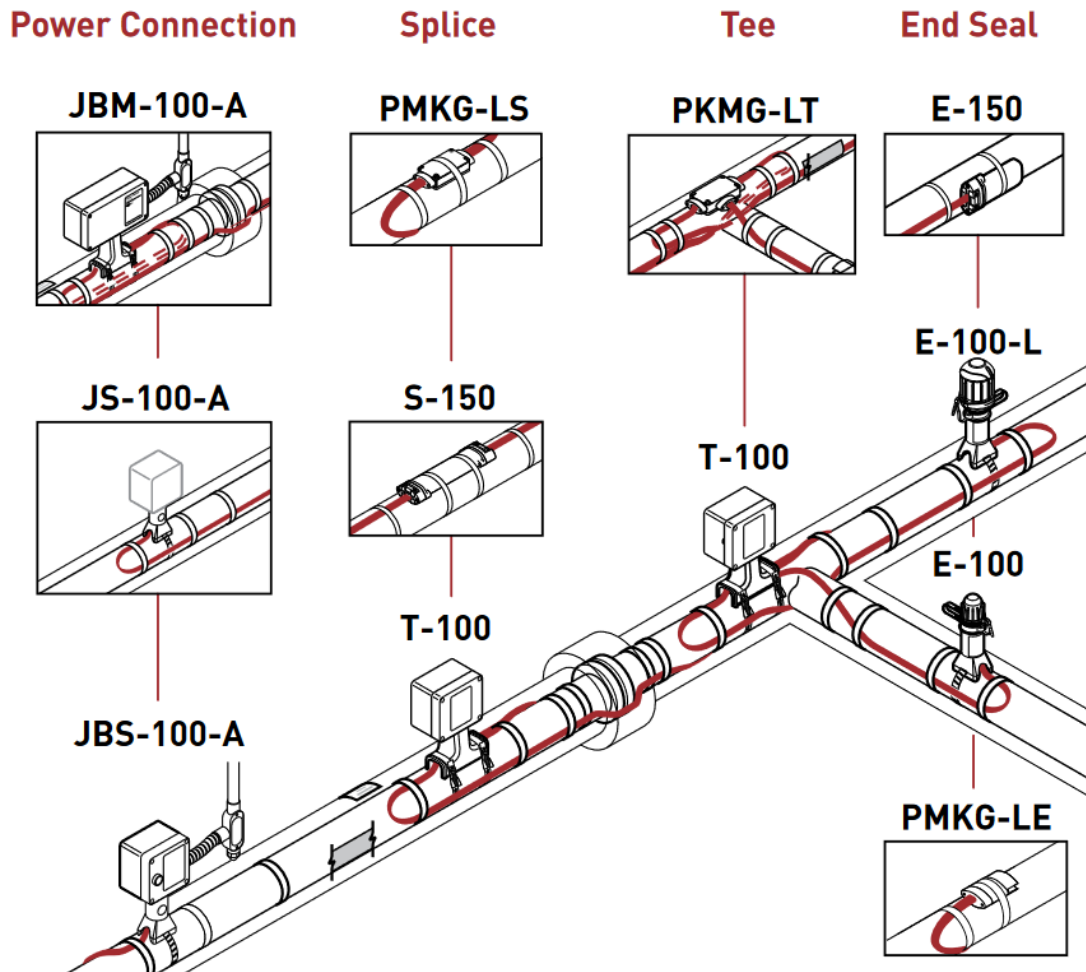
Kuva 7. Kannakkeen kohdan saattaminen (Raychem installation and maintenance manual 2016, 13).



Kuva 8. Putkessa olevien mutkien saattaminen (Raychem installation and maintenance manual 2016, 13).

7.2 Lämmityspiirin komponentit

Saattolämmityspiireihin kuuluu erilaisia komponentteja. Lämmityspiiri alkaa yleisesti syöttörasiasta ja päättyy loppupäätteeseen. Loppupäätteitä on olemassa eristeenpäälle tulevia, joita voi olla merkkivalolla tai ilman, toinen mahdollinen päätte on eristeen alle tuleva kutistepäätte. Mahdollisia muita komponentteja voi olla haaroitusrasiat tai mahdolliset jatkokset. Yleisesti pyritään komponentit asettamaan putken alapuolelle, jos se on mahdollista. Kuvassa 9. on esitetty esimerkkejä erilaisista komponenteista. (Raychem installation and maintenance manual 2016, 16-18.)



Kuva 9. Lämmityspiirin komponentteja (Raychem installation and maintenance manual 2016, 18).

7.3 Lämpötila-anturin asennus ja sijoittaminen

Anturi pitää asentaa sekä sijoittaa valmistajan ohjeiden mukaan. Sitä ei tule asentaa sellaisiin kohtiin, joissa se voi altistua ulkopuoliselle säteilylämmölle, kuten auringonpaisteelle, kuumen prosessin säteilylle, tai lämmitetyn rakennuksen läheisyyteen. Pitää myös varmistua, että anturin tuntema lämpötila on lämmityspiirille tyypillistä tasoa, se on riittävän kaukana putken päästä sekä kannakkeesta. Ulkolämpötilaa mittaavat anturit tulisi sijoittaa sellaiseen paikkaan mikä vastaa saattoasennuksen olosuhteita. (SFS-EN 60079-30-2, 40.)

Kiinnitettäessä anturia pitää varmistua, että on hyvä johtava yhteys putkeen tai laitteeseen sekä suojata se niin, ettei lämpöeristystä pystytä asentamaan anturin ja lämmitettävän pinnan väliin. Mittausvirheen välttämiseksi ei anturia saa vahingoittaa asennusvaiheessa. Mitattaessa prosessiaineen lämpötilaa suoraan, anturi pitäisi asettaa suoja-taskussa sopivaan kohtaan, esimerkiksi säiliössä mahdollisen liettymisrajan yläpuolelle. (SFS-EN 60079-30-2, 40.)

Tilaluokitusvaatimusten sekä suunnittelukriteereiden perusteella määritetään antureiden lukumäärä sekä niiden sijainti. Anturit pitää sijoittaa sellaisiin kohtiin, että se on ylläpidettävän lämpötilan kannalta edustavinta. Kuvassa 10. on esitetty tyypillinen anturin asennus. (SFS-EN 60079-30-2, 30-31.)



Kuva 10. Anturin tyypillinen asennus (SFS-EN 60079-30-2, 42).

7.4 Merkinnät

Saattolämmitys pitää merkitä ulkopinnalle pysyvällä sekä selkeällä tavalla IEC 60079-0 mukaan (SFS-EN 60079-30-1, 21.) Laitteet, jotka kuuluvat saattolämmitykseen tulee merkitä niin, että ne voidaan helposti tunnistaa (ST-ohjeisto 11 2007, 22).

Itse kentälle pitää tehdä ainakin seuraavat merkinnät:

- Saattolämmitettyyn putkeen kiinnitetään varoitustarra noin 5 m:n välein.
- Syöttörsiat ja syöttökaapelit merkitään lähtöjen mukaisilla tunnuksilla.
- Saattokaapelien jatkorasiat merkitään.
- Suojuksen tai kotelon alle jäävät merkitään myös suojukseen.
- Anturit tulee merkitä piirikaavion mukaisilla tunnuksilla. (ST-ohjeisto 11 2007, 22.)

7.5 Käyttöönotto

Saattolämmityskaapelin eristysresistanssi pitää mitata asennuksen jälkeen 500 V tasa-virtameggerillä. Tuloksen pitää olla vähintään 200 Mohmia. Mittaus suoritetaan ääri-johtimien ja metallisen suojavaipan väliltä. Lisäksi on hyvä myös varmistaa metallisen suojavaipan ja saatetun putken väli, ettei ne ole yhdessä (ST-ohjeisto 11 2007, 20.) Tulokset tulee kirjata mittauspöytäkirjoihin asian mukaisesti ja toimittaa tilaajalle (SFS-EN 60079-30-2, 48.)

Syöttökaapeleista tulee mitata eristysresistanssi ja lisäksi PE-jatkuvuus. Näiden lisäksi pisimmistä kaapeleista tulee mitata oikosulkuvirta ja sitä verrataan ohje arvoihin.

Saattolämmityskeskukselle tehdään silmämääräinen tarkistus, sen lisäksi tulee mitata keskusta syöttävä kaapeli ja keskuksen oikosulkuvirta mitä taas verrataan ohje arvoihin. Saattolämmityspiirien vikavirrat tulee myös testata ja niiden laukaisuajat sekä laukaisuvirrat mitata. Tulokset kirjataan tarkastus- ja mittauspöytäkirjoihin.

8 HARJAVALTA OCTO-PROJEKTI

Urakkana oli Harjavallan Boliden kahdeksannen rikkihappotehtaan saattolämmitykset. Projekti toimi nimellä OCTO-projekti. Urakan ensimmäiseen vaiheeseen kuului rikkihappotehtaan imeytysosasto, pääkaasupuhallin, kontaktointialue, jäähdytysvesitornit sekä pesuosastorakennukseen kuuluvat syöttö- ja lisävesilaitokset. Toiseen vaiheeseen kuuluu pesuosasto, jota tässä ei käsitellä. Työtä jouduttiin jaksottamaan putkiurakoitsijoiden ja eristysurakoitsijoiden mukaan, koska ennen kuin putkilinjat on koeponnistettu ei niitä saa saattaa.

Työhön kuului kahdeksannen rikkihappotehtaan saattolämmitykset putkisiltojen, jäähdytysvesitornien sekä jätelämpökattilan osalta sisältäen saattolämmitys- ja syöttökaapeloinnit, kytkennät, mittaukset (eristysvastus/syöttökaapelit) sekä kaapeli- ja laite-merkinnät.

Tilaaaja toimitti saattolämmityskojeistot ja urakoitsijan hankittavaksi jäi:

- Syöttö- ja saattolämmityskaapelit kaapeliluettelon mukaan
- Kytkenä-/ jakorasiat ja päätteet osaluettelon mukaan
- Merkintäkilvet (rasiat/kaapelit) erillisten listojen mukaan
- Varoitustarrat putkilinjoihin (noin 5 m välein)
- Tarvittavat pistohyllyt syöttökaapeleille ja asennusputket HST
- Kiinnitysteippi sekä muut kiinnitys ja pientarvikkeet

Urakassa toimi kärkimiehenä vanhempi sähköasentaja ja hän vastasi urakasta projektinohitajan kanssa. Muiden asentajien määrä vaihteli hyvin paljon urakan aikana johdun työtilanteesta sekä putkiurakoitsijoiden aikataulusta. Loppuvaiheessa asentajien määrää nostettiin, että urakka saatiin hyvään malliin.

Työmaapalaveri pidettiin kerran viikossa, mihin osallistui tilaajan puolelta projektin vetäjät sekä alihankkijoiden työnjohtajat. Palaverissa käytiin läpi työmaan tämän hetkinen tilanne sekä miltä aikataulu näyttää. Lisäksi jokainen alihankkija kertoi oman henkilömääränsä ja työtilanteen. Palaverissa myös käytiin läpi turvallisuusasiat, jos on jotain huomautettavaa. Tämän lisäksi käytiin läpi niin sanotut vaaralliset työt esimerkiksi nostot, jotka vaikuttavat kaikkeen työmaalla työskenteleviin.

Asennukset sujuivat hyvin, tietysti omat hankaluudet tuottivat putkien korkea sijainti ja ahtaat paikat. Telineitä jouduttiin tilaamaan hyvin paljon asennuksiin sekä nostimen kanssa työskentelyä oli myös. Saattolämmitystä asennettaessa piti huolehtia erityisesti työturvallisuudesta ja käyttää asian mukaisia suojaimia. Uuden rikkihappotehtaan putkia kulkee myös vanhojen rikkihappotehtaiden puolella, jotka ovat käynnissä. Lisäksi talvella pakkasen aiheutti ongelmia saattokaapelin teippauksessa. Joihinkin saattolämmityspiireihin tuli pieniä muutoksia saatettaviin osuuksiin, mutta ne yleensä tuli suunnittelijalta ennen asennusta jo. Aina piirin valmistuttua mitattiin saattokaapelin eristysresistanssi, millä varmistettiin kaapelin olevan ehjä. Hieman hankaluuksia tuotti syöttökaapeliin putkitus syöttörasialle, koska kantaviin rakenteisiin ei saanut kiinnittää kiinnikkeitä eikä sitä ollut mainittu työselostuksessa. Loppuvaiheessa urakkaa tuli myös uusia saatettavia osuuksia lisätöinä. Asennusvaiheessa tuli myös joitakin muutoksia suunniteltuihin piirustuksiin, kun kentällä ei pystyttykään tekemään aivan kuvien mukaan. Nämä muutokset kirjattiin ylös ja suunnittelija korjasi ne piirustuksiin.

Saattolämmityspiirien valmistuttua mitattiin uudelleen kokopiirin eristysresistanssi, kun putket oli eristetty millä varmistuttiin, ettei putkea eristettäessä ole vioitettu kaapelia. Myös saattolämmityskeskusten vikavirtasuojakytkimet testattiin ja mitattiin laukaisuvirta sekä laukaisuaika. Keskusten käyttöönötossa ei ilmennyt ongelmia.

Urakka oli hyvin haastava, johtuen työn aikataulutuksesta. Työn ennakointi oli hieman haastavaa, kun ei ollut aina tietoa mitä pääsee saattamaan ja mitä ei. Myös joidenkin tarvikkeiden toimitusaika oli pitkä, joten piti hyvin suunnitella sekä pitää kirjaa mitä tarvikkeita löytyy varastosta ja mitä tarvetta vielä on. Kaapelikeloista olisi pitänyt pitää kirjaa, että paljon jokaista kaapelityyppiä on jäljellä ja millaisia pätkiä niitä on. Nämä kaikki asiat voidaan hoitaa kuitenkin hyvällä työjohdolla.

LÄHTEET

Boliden www-sivut 2018. Viitattu 26.9.2018. <https://www.boliden.com>

Caverion www-sivut 2018. Viitattu 26.9.2018. <https://www.caverion.fi/>

Industrial Heat-Tracing, installation and maintenance manual for self-regulating and power-limiting heating cable systems. 2016. Raychem. Viitattu 11.9.2018.

https://www.nventthermal.com/Images/EN-RaychemSelfRegPowerLimitingHeatTracing-IM-H57274_tcm432-26557.pdf

nVent Thermal www-sivut 2018. Viitattu 4.9.2018. <https://www.nventthermal.fi>

Planray www-sivut 2016. Viitattu 11.9.2018. <http://www.planray.com/>

Saastamoinen, A. & Kauppila, J. 2013. Sähköasennukset 2. Espoo: Sähkö- ja teleura-koitsijaliitto STUL ry.

SFS-EN 60079-14:2015 + AC:2016. Räjähdyksivaaralliset tilat. Osa 14: Sähköasennusten suunnittelu, laitevalinta ja asentaminen. 1.painos. 2016. Suomen Standardoimisliitto SFS. Helsinki: SFS

SFS-EN 60079-30-1. Räjähdyksivaaralliset tilat. Osa 30-1: Sähkösaatot. Yleiset ja testausvaatimukset. 1. painos. 2008. Suomen Standardoimisliitto SFS. Helsinki: SFS

SFS-EN 60079-30-2. Räjähdyksivaaralliset tilat. Osa 30-2: Sähkösaatot. Soveltamisohjeita suunnitteluun, asentamiseen ja kunnossapitoon. 1. painos. 2008. Suomen Standardoimisliitto SFS. Helsinki: SFS

SFS 3977. Putki-, säiliö- ja laite-eristykset. Mitoitus. 6. painos. 2008. Suomen Standardoimisliitto SFS. Helsinki: SFS

SKS Sensors www-sivut 2018. Viitattu 18.9.2018. <http://www.skssensors.fi>

ST-ohjeisto 11. Teollisuuden lämmityskaapelit, suunnittelu ja asennus. 2007. Sähkö-tieto ry. Espoo: Sähköinfo.