

Otto Fransas

Sähkösaattotyön prosessikuvaus ja toteutus- suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
11.9.2012

Alkulause

Tämä insinööriyö tehtiin Pöyry Finland Oy:lle yhtiön Kotkan toimiston toimitiloissa. Haluan kiittää Vesa Kaipasta, joka toimi työsuhteeni alkaessa Pöyry Finland Oy:n Kotkan toimiston toimistopäällikkönä, mahdollisuudesta työskennellä Pöyry Finland Oy:n palveluksessa. Kiitän lisäksi osastopäällikkö Mari Alajääskeä mahdollisuudesta toteuttaa insinööriyöni Pöyry Finland Oy:lle. Haluan myös kiittää Pöyry Finland Oy:n Kouvolan toimiston osastopäällikkö Markku Huttusta arvokkaista ohjeista insinööriyöhön liittyen. Kiitän myös pääsuunnittelija Pekka Taka-ahoa, suunnitteluinsinööri Janne Paavilaista sekä muuta Kotkan toimiston väkeä heidän minulle antamistaan opeista ja tuesta.

Kotkassa 11.9.2012

Otto Fransas

Tekijä Otsikko	Otto Fransas Sähkösaattotyön prosessikuvaus ja toteutussuunnittelu
Sivumäärä Aika	52 sivua + 15 liitettä 11.9.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	osastopäällikkö Mari Alajääski lehtori Osmo Massinen
<p>Insinöörityössä selvitettiin tarvittavat tiedot sähkösaattosuunnittelutyön toteuttamiselle sekä selvitettiin sähkösaattosuunnittelun suunnitteluprosessin ja itse toteutussuunnittelun eri työvaiheet. Työn tuloksena valmistui sähkösaattojen suunnitteluohje Pöyry Finland Oy:lle.</p> <p>Tiedot kerättiin pääasiassa aiheeseen liittyvistä SFS-EN- ja PSK -standardeista sekä Sähköinfo Oy:n ST-korteista ja -ohjeista. Jonkin verran tietoa kerättiin myös sähkösaattopalveluja tarjoavien yritysten internetsivuilta sekä muista lähteistä.</p> <p>Työssä huomattiin että sähkösaattotyön suunnitteluprosessi etenee kuten mikä tahansa muu suunnitteluprosessi. Ensin selvitetään suunnittelukohteen sähkösaattosuunnittelulle asettamat rajoitteet ja vaatimukset. Tämän jälkeen suunnitellaan sähkösaatot kyseisten rajoitteiden ja vaatimusten asettamien ehtojen mukaisesti.</p> <p>Työn alussa käsitellään sähkösaattosuunnitteluun tarvittavia lähtötietoja, suunnittelussa huomioon otettavia asioita, suunnitteluun liittyvää teoriaa sekä suunnittelun synnyttämiä dokumentteja. Työn loppuosassa käsitellään sähkösaattotyön suunnitteluprosessin etenemistä sekä sähkösaattotyön toteutussuunnittelua.</p> <p>Tässä työssä esitetyt ohjeita ei tule käyttää sellaisinaan muiden kuin Pöyry Oyj:n tai sen tytäryhtiöiden projekteissa ilman Pöyry Oyj:n, sen tytäryhtiöiden tai tämän insinöörityön tekijän lupaa.</p>	
Avainsanat	sähkösaatto, saattolämmitys, sähkölämmitys

Author	Otto Fransas
Title	Process Description and Implementation Planning of Trace Heating Applications
Number of Pages	52 pages + 15 appendices
Date	11 th September 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Mari Alajääski, Department Manager Osmo Massinen, Senior Lecturer
<p>This final thesis was made to clarify the needed information that allows one to implement electrical heat tracing planning assignments. This final thesis also clarifies the process description and implementation planning of trace heating applications. As a result of this final thesis, instructions for trace heating assignments were produced for Pöyry Finland Ltd.</p> <p>The data and information for this final thesis were mainly collected using SFS-EN- and PSK -standards and Sähköinfo Ltd.'s ST-cards. Some information was also collected from web pages of companies that offer heat tracing services and from other sources.</p> <p>In this final thesis it was noticed that the planning process of a heat tracing assignment proceeds much like in any other planning assignment. First, the limitations and requirements for the heat tracing assignment are investigated in the target area. After this the heat tracing work is planned according to the limitations and requirements of the area.</p> <p>At the beginning of this final thesis the initial data needed for the heat tracing planning work, things that need to be considered in planning, the theory behind heat tracing and the documents that are generated from heat tracing planning, are addressed to. Then the process description and implementation planning of trace heating applications are handled.</p> <p>Without the approval of Pöyry PLC, its subsidiaries or this thesis' writer, this thesis and its contents shall not be used as such in any other company's projects than Pöyry PLC or its subsidiaries.</p>	
Keywords	electrical heat tracing, electrical trace heating, EL.TR, ELT, EHT

Sisällys

Alkulause

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Sähkösaattosuunnitteluun tarvittavat lähtötiedot	2
2.1	Suunnittelukohteen olosuhteet	2
2.2	Putkilinjaerittely, isometrit, saatettavien osuuksien pituudet	4
2.3	Sähkötekniset tiedot	5
3	Saattolämmityksen tarkoitus	5
4	Eristys ja eristäminen	6
5	Lämmöntarpeen ja lämmitystehon laskenta	7
5.1	Yleistä lämmöntarpeen ja lämmitystehon laskennasta	7
5.2	Putken lämpöhäviöiden laskenta	7
5.3	Säiliön lämpöhäviöiden laskenta	9
5.4	Toimilaitteiden, laippojen, putkikannakkeiden, eristystukien ym. aiheuttamat lämpöhäviöt	10
5.5	Instrumenttikaappien, muiden instrumenttien sekä maastolaattojen vaatima lämmitysteho	11
5.6	Lämpötilan nostotarpeen huomioon ottaminen	12
5.7	Lämpöhäviöiden varmuuskerroin	13
5.8	Lämpöhäviötaulukon käyttäminen	14
5.9	Kaapelin maksimipintalämpötilan määrittäminen	15
5.9.1	Yleistä maksimipintalämpötilan määrittämisen tärkeydestä	15
5.9.2	Turvalliseksi mitoitus	16
6	Lämmityskaapelit	18
6.1	Sarjaresistanssikaapelit	18
6.2	Rinnakkaisresistanssikaapelit	20
6.2.1	Yleistä rinnakkaisresistanssikaapeleista	20

6.2.2	Itsesäätyvät/itserajoittuvat kaapelit	21
6.3	Lämmityskaapelin valinta	22
7	Lämmityspiirin laitteet	25
7.1	Lämmityspiirin perushahmottelu	25
7.2	Sähkösaattolähdöt	28
7.3	Lämmityspiirin muut laitteet	29
8	Säätö-, ohjaus-, suojaus- ja mittauslaitteet	29
8.1	Lämpötila-anturit	30
8.2	Lämpötilan säätimet	32
8.3	Säätötavan valinta	33
8.4	Muut suojalaitteet	34
8.5	Hälytykset	35
9	Räjähdyksivaarallisten tilojen vaatimukset (ATEX, Ex)	36
9.1	Yleistä räjähdysvaarallisten tilojen vaatimuksista	36
9.2	Laitteiden merkintä	38
10	Asennuksessa suunnittelun kannalta huomioitavia asioita	39
10.1	Yleistä asennuksiin liittyen huomioitavista asioista	39
10.2	Eristysresistanssi	39
11	Muita huomioitavia asioita	40
11.1	Kylmäkaapeli	40
11.2	Keskuksiin jätettävä laajennusvara	41
11.3	Sähkösaattojen toimintavarmuus	41
11.4	Laskentaohjelman käyttö suunnittelun apuna	42
12	Sähkösaattotyön taloudellisuus	42
13	Tyypilliset sähkösaattotyössä tapahtuvat suunnitteluvirheet	43
14	Sähkösaattotyön dokumentointi	44
15	Sähkösaattotyön prosessikuvaus	46
15.1	Esisuunnittelu	46
15.2	Perussuunnittelu	47
15.3	Toteutussuunnittelu	48

15.3.1 Kohdetiedot	48
15.3.2 Saattolämmitystyyppin valinta käyttötarkoituksen mukaan	49
15.3.3 Lämmitystarpeen määrittäminen	49
15.3.4 Lämmityskaapelin valinta	49
15.3.5 Lämmityspiirin säätö-, ohjaus-, suojaus- ja mittauslaitteiden valinta	49
15.3.6 Lämmityskeskusten, kenttäkoteloiden, tarkistusrasioiden ym. komponenttien valinta	50
15.3.7 Toimintavarmuuden tarkastelu	50
15.3.8 Sähkösaattomateriaalien hankinta	50
15.3.9 Sähkösaattosuunnitelmien dokumentointi	50

Lähteet **51**

Liitteet

Liite 1. Putki-isometri

Liite 2. Lämpöhäviötaulukko

Liite 3. ATEX suomeksi

Liite 4. Sarjaresistanssikaapeli (vakiovastuskaapeli)

Liite 5. Rinnakkaisresistanssikaapeli (vakiotehokaapeli)

Liite 6. Itserajoittuva lämmityskaapeli

Liite 7. Sähkösaattotaulukko

Liite 8. Sähkösaattoisometri, putki

Liite 9. Sähkösaattoisometri, säiliö

Liite 10. Asennuspiirustus

Liite 11. Johdotus- ja piirikaaviot

Liite 12. Koestuspöytäkirja

Liite 13. Sähkösaattotyön prosessikuvauksen vuokaavio

Liite 14. Hankintaerittely

Liite 15. Keskuksen hankinta

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on tuottaa sähkösaattotyön kirjallinen työohje Pöyry Finland Oy:lle. Työssä selvitetään sähkösaattosuunnittelun toteuttamiseen tarvittavat lähtötiedot, suunnittelun työvaiheet ja työn kulku sekä suunnittelutyön valmistuttua suunnittelun synnyttämät dokumentit. Tämä insinööriyö antaa yhtiölle valmiudet sähkösaattojen suunnitteluun.

Pöyry Oyj on suomen suurin suunnittelu- ja konsultointiyritys. Yhtiön paikalliskonttori-verkosto ulottuu noin 50 maahan. Pöyry Finland Oy on Pöyry Oyj:n tytäryhtiö. Yhtiöltä puuttuu yhtenäiset ohjeet sähkösaattojen suunnitteluun.

Teollisuudessa erilaisten prosessiaineiden tulee säilyttää tietty lämpötila prosessin eri vaiheissa, jotta aineiden koostumus ja ominaisuudet pysyvät halutunlaisina. Putkessa kulkevan ympäristön lämpötilaa lämpimämmän prosessiaineen sisältämä lämpöenergia pyrkii siirtymään putkesta ympäröivään ulkoilmaan. Jotta prosessiaineen lämpötila pysyisi muuttumattomana, tulee putkea lämmittää lämpöhäviöiden suuruisella lämmitysenergialla.

Saatettaessa ainetta sähköllä puhutaan sähkösaatosta. Sähkösaatto toteutetaan kiinnittämällä putken ulkopintaan lämmityskaapeli tai lämmityskaapeleita putken suuntaisesti saatettavan osuuden pituudelta. Riippuen saatettavan aineen vaatimuksista on valittavissa erityyppisiä lämmityskaapeleita sekä lämpötilan ohjaus- ja säätömenetelmiä.

Saattolämmitystä käytetään pääasiassa kolmeen eri tarkoitukseen. Saatettavan aineen lämpötilan ylläpidon lisäksi saattolämmitystä voidaan käyttää sulanapitoon ja lämpötilan nostoon.

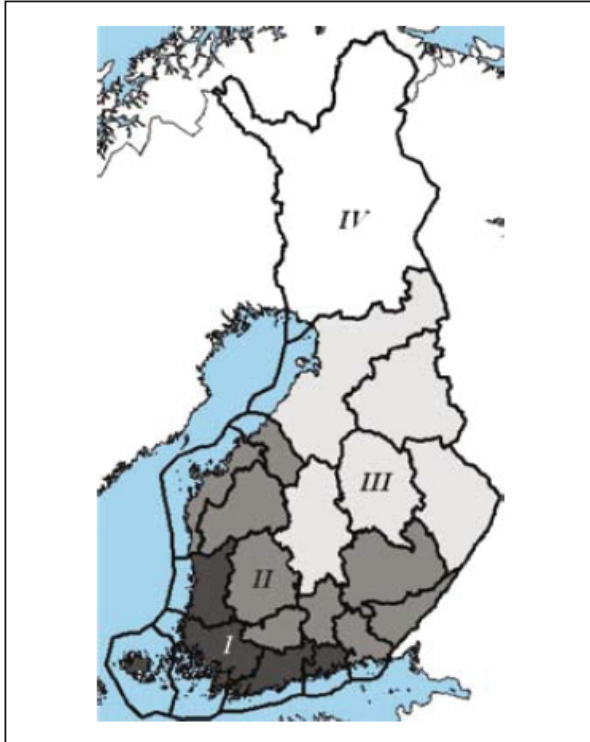
2 Sähkösaattosuunnitteluun tarvittavat lähtötiedot

Jotta sähkösaattoja voisi suunnitella järkevästi, tarvitaan kohteesta tiettyjä lähtötietoja. Käytettävissä tulisi olla kohteen putkilinjaisometrit tai ainakin tiedot putkityypeistä ja pituuksista sekä säiliöiden, pumppujen, venttiilien, laippojen ja vastaavien lämmitettävien laitteiden määrät ja sijainnit. Käytettävän sähköverkon sähkötekniset tiedot tulee selvittää. Myös kohteessa vallitsevat mekaaniset-, kemialliset-, lämpötila- ja ympäristöolosuhteet tulee selvittää. Räjähdyksivaarallisten tilojen vaatimukset tulee myös selvittää, mikäli sähkösaattoja suunnitellaan räjähdysvaaralliseen tilaan. Asiakkaan toiveet on myös hyvä selvittää ennen suunnittelutyön aloittamista.

2.1 Suunnittelukohteen olosuhteet

Suunnittelukohteessa vallitsevat olosuhteet täytyy selvittää ennen saattosuunnittelun aloittamista. Tärkeimpänä selvitettävänä asiana ovat kohteessa esiintyvät lämpötilat: lämmityskohteessa esiintyvä korkein ja matalin lämpötila, prosessiaineen toivottu lämpötila sekä mitoittava ja keskimääräinen ulkoilman lämpötila. Lämpötilatietoja tarvitaan tarvittavan lämmitystehon laskentaan sekä oikean lämmityskaapelin valintaan.

Suomi on jaettu neljään säävyöhykkeeseen, joista selviää matalimmat paikkakunnalla esiintyvät lämpötilat. Näitä paikkakuntakohtaisia mitoitettuja lämpötiloja voidaan käyttää tarvittavan lämmitystehon selvittämiseen. Säävyöhykkeet esitetään kuvassa 1. [1, s. 2.]



Kuva 1. Säavyöhykkeet [1, s. 2]

Taulukossa 1 esitetään kuvan 1 säavyöhykkeiden mukaiset mitoittavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat.

Taulukko 1. Mitoittavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säavyöhykkeillä [1, s. 3]

Säavyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila $T_{u,mit}$ [°C]	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila $T_{u,kesk}$ [°C]
I	-26	5
II	-29	4
III	-32	2
IV	-38	0

Vuoden keskimääräisen ulkoilman lämpötilan avulla voidaan selvittää saattolämmityksen aiheuttama vuosittainen sähkönkulutus, kun tiedetään saatettavan aineen toivottu lämpötila. Saatettavan putken mitoittava lämpötila eli putkessa kulkevan aineen toivottu lämpötila selvitetään tapauskohtaisesti. Matalin esiintyvä ympäristön lämpötila tulee selvittää kohteissa, joissa on erityisen tärkeää, että lämmitysteho riittää säilyttämään saatettava aine suunnitellussa lämpötilassa. Lämmitettävässä kohteessa esiintyvä

korkein lämpötila tulee selvittää lähinnä lämmityskaapelin takia. Lämmityskaapeleille on määritetty lämpötilarajat, joiden sisällä ne säilyvät vahingoittumattomina.

Lämmityskohteen kemialliset ja mekaaniset olosuhteet tulee myös selvittää. Esimerkiksi syövyttävät ja hapettavat kemikaalit sekä kaapelia puristavat, venyttävät tai vääntävät voimat voivat vahingoittaa lämmityskaapeleita ja muita lämmityspiirin laitteita.

Kohteesta on myös hyvä selvittää korkeus ja kosteustiedot.

Esimerkki selvitettävistä ympäristöolosuhteista

ilmasto	Kosteaa ja korrodoiva rannikkoilmasto
korkein ympäristössä esiintyvä lämpötila	+33 °C
matalin ympäristössä esiintyvä lämpötila	-27 °C
suhteellinen kosteus	75...100 %
korkeus	alle 1 000 m
lämmöntarveluku	4 000. [2, s. 7.]

2.2 Putkilinjaerittely, isometrit, saatettavien osuuksien pituudet

Putkilinjaisometri tai putki-isometri on piirustus, jossa yksi tai useampi putkilinja on esitetty omana kuvanaan. Isometristä selviävät putkilinjan tiedot. Sähkösaaton kannalta oleellisia isometristä selviäviä tietoja ovat putkikoot, putkilinjaan sijoitetut komponentit, putkistovarusteet sekä putkilinjan liitännätiedot. Putkilinjan komponentteja ovat esimerkiksi laipat, venttiilit, supistukset, käyrät ja kannakkeet.

Putkilinjan mekaanisten tietojen lisäksi sähkösaaton kannalta isometristä löytyviä oleellisia tietoja ovat muun muassa putkilinjan suunnitellut lämpötilat ja lämpötila-alueet, putkessa virtaava aine sekä eristemateriaali ja eristepaksuus. Isometreissä on esitetty

myös liittyvät laitteet mekaanisine mittoineen ja muine tietoineen. Putkilinjaisometrit ovat oleellisia sähkösaattojen tarkan suunnittelun kannalta ja etenkin lämpökaapelin valinnan kannalta. (Ks. esimerkki putki-isometristä, liite 1.)

Asiakkaalla on usein alustavasti tiedossa, mitä putkilinjoja saatetaan ennen kuin putki-suunnittelu rupeaa piirtämään isometrejä. Tämän seurauksena putkisuunnittelu usein lisää isometreihin alustavat tiedot sähkösaatoista. Nämä alustavat tiedot kertovat usein saatettavan putkilinjan osuuden.

2.3 Sähkötekniset tiedot

Kohteessa käytössä oleva jännite U tulee selvittää vaihtelurajoineen. Useat lämmitys-kaapelit toimivat yksivaiheisella 230 V:n jännitteellä, mutta myös kaksivaiheisia 400 V:n kaapeleita on saatavilla. Lämmityskaapelit eivät ole herkkiä jännitteen vaihteluille, mutta lämmityspiirin säätö-, ja mittalaitteet voivat olla.

Esimerkki syöttävästä sähköverkosta selvitettävistä tiedoista

jakelumuuntajan jännite	230/400 V, 50 Hz
syöttävän kojeiston jännitteen vaihtelualue	$\pm 5 \%$ nimellisjännitteestä
suurin oikosulkuvirta syöttävässä kojeistossa	$I_s/I_{1s} = 100/50$ kA
jännitekatkot	0,1 s. [2, s. 7.]

3 Saattolämmityksen tarkoitus

Saattolämmitystä käytetään pääasiassa kolmeen eri tarkoitukseen. Yleisimpiä näistä ovat lämpötilan ylläpito ja sulanapito. Jonkin verran käytetään myös lämpötilan nostoa.

Lämpötilan ylläpito

Lämpötilan ylläpidolla tarkoitetaan prosessiaineen lämpötilan ylläpitämistä tietyllä halutulla lämpötila-alueella. Tavoitteena on korvata lämmityskohteessa esiintyvät

lämpöhäviöt. Esimerkiksi bitumi- tai raskasöljyputkien lämpötilan tulee pysyä jatkuvasti tietyn lämpötilarajan yläpuolella, jotta aineet eivät jäähtyessään jämähdä putkeen. Bitumiputkien ylläpitolämpötilat liikkuvat n. 200 °C:ssa.

Lämpötilan nosto

Joskus halutaan, että prosessiaineen lämpötila on suurempi putken loppupäässä putken alkupäähän verrattuna. Halutaan siis nostaa prosessiaineen lämpötilaa sen kulkies- sa, tai ollessaan paikallaan putkessa. Tällöin puhutaan lämpötilan nostosta.

Sulanapito

Kun tarkoituksena on estää virtaavan aineen jäätyminen esimerkiksi putkien tukkeutu- misen estämiseksi, puhutaan sulanapidosta. Sulanapidettäviä kohteita ovat muun muassa erilaiset vesi- ja viemäriputket, sadevesikourut ja rännit, kulkuväylät, maat, laatat, lattiat, katot ja rampit. [3, s. 15.]

4 Eristys ja eristäminen

Saatettavien kohteiden eristäminen hidastaa lämmön siirtymistä kohdeaineesta ympä- ristöön. Eristeaineella ja eristyskerroksen paksuudella voidaan säädellä lämpöhäviöiden suuruutta ja siten vaikuttaa suoraan tarvittavan lämmitystehon suuruuteen.

Eristemateriaalit ja eristepaksuudet on pääasiassa aina määritelty jo prosessisuunnitte- luvaiheessa yhdessä asiakkaan kanssa. Eristemateriaalit ja eristepaksuudet valitaan saatettavien kohteiden lämpötilojen sekä putkipaksuuden mukaan. Näin ollen säh- kösaattosuunnittelijan ei usein tarvitse ottaa kantaa eristeasioihin.

Eristeen tulisi olla mahdollisimman eheä ja eristeaineiden väliset raot ja saumat tulisi täyttää eristävillä sementeillä tai muulla eristeaineella. Mikäli eristys ei ole tiivis ja siinä on paljon rakoja tai aukkoja, kasvavat lämpöhäviöt huomattavasti, eikä lämmityskaape- li pysty pahimmassa tapauksessa korvaamaan esiintyviä lämpöhäviöitä. [3, s. 18.]

5 Lämmöntarpeen ja lämmitystehon laskenta

5.1 Yleistä lämmöntarpeen ja lämmitystehon laskennasta

Tarvittava lämmitysteho on suoraan verrannollinen lämmitettävän kohteen lämpöhäviöihin. Jotta saattolämmitys toteuttaa tarkoituksensa, tulee lämpökaapelin luovuttaman lämmitysenergian olla samansuuruinen tai suurempi, kuin putkesta ympäristöön siirtyvien lämpöhäviöiden suuruus ympäristön minimilämpötilassa.

Eristämätön metalliputki johtaa lämmön prosessiaineesta ympäröivään ilmaan nopeasti. Tämän vuoksi kuumat putket on hyvä eristää sekä ulkotiloissa, että rakennusten sisällä. Eristeaineen ominaisuudet, eristeen paksuus, prosessiaineessa ylläpidettävä lämpötila, sekä ympäristön matalin suunnittelulämpötila hyvinpitkästi määrittelevät esiintyvien lämpöhäviöiden suuruuden.

Putkilinjaan kiinnitetyt toimilaitteet lisäävät lämpöhäviöiden suuruutta. Näitä laitteita ovat esimerkiksi venttiilit, pumput, mittalaitteet, näytteenottoputket, tarkastuslasit ym. laitteet. Kyseisten laitteiden, sekä eristämättömien tai osittain eristettyjen putkikannakkeiden ja laitteiden aiheuttama lämpöhäviön kasvu tulee ottaa huomioon lämpökaapelia mitoittaessa.

5.2 Putken lämpöhäviöiden laskenta

Putken lämpöhäviöt voidaan laskea standardin SFS-EN 60079-30-2 mukaisesti seuraavalla kaavalla:

$$q = \frac{2\pi K(T_p - T_a)}{\ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)} \quad (1)$$

q on häviö putken pituusyksikköä kohti watteina metrille [W/m],

T_p on toivottu ylläpidettävä lämpötila celsius-asteina ($^{\circ}\text{C}$),

T_a on ympäristön alin suunnittelulämpötila celsius-asteina ($^{\circ}\text{C}$),

D_1 on sisemmän eristyksen sisähalkaisija metreinä (m),

D_2 on ulomman eristyksen ulkohalkaisija metreinä (m),

K on sisemmän eristyksen lämmönjohtavuus keskimääräisessä lämpötilassa [W/(m*K)]. [3, s. 16.]

Ottamalla huomioon eri eristekerrosten parametrit sekä lämmönsiirtymiskertoimet materiaalien välillä voidaan lisätä lämpöhäviöiden tarkkuutta:

$$q = \frac{(T_p - T_a)}{\frac{1}{\pi D_1 h_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)}{2\pi K_1} + \frac{\ln\left(\frac{D_3}{D_2}\right)}{2\pi K_2} + \frac{1}{\pi D_3 h_{co}} + \frac{1}{\pi D_3 h_o}} \quad (2)$$

D_2 on sisemmän eristyksen ulkohalkaisija metreinä (m), (ulomman eristyksen sisähalkaisija, mikäli se on käytössä),

D_3 on ulomman eristyksen ulkohalkaisija metreinä (m), mikäli se on käytössä,

K_1 on sisemmän eristyksen lämmönjohtavuus keskimääräisessä lämpötilassa [W/(m*K)],

K_2 on ulomman eristyksen lämmönjohtavuus keskimääräisessä lämpötilassa [W/(m*K)], mikäli se on käytössä,

h_i on putken ulkopinnan ja sisemmän eristekerroksen, mikäli se on käytössä, sisäpinnan välinen lämmönsiirtymiskerroin [W/(m²*K)],

h_{co} on ulomman eristyskerroksen ja sääsuojan välinen lämmönsiirtymiskerroin [W/(m²*K)], jos sääsuoja on käytössä,

h_o on sääsuojan ja ympäröivän ilman välinen lämmönsiirtymiskerroin [W/(m²*K)] (tämä termi vaihtelee tyypillisesti välillä 5 W/(m²*K) ... 50 W/(m²*K) matalan lämpötilan, alle 50°C sovelluksissa). [3, s. 16...17.]

Lämmönsiirtymiskerroin h [W/(m²*K)] kuvaa, kuinka paljon lämmitystehoa siirtyy materiaalien välillä pinta-alaa kohden, kun materiaalien välillä vallitsee tietty lämpötilaero. Materiaalien väliset lämmönsiirtymiskertoimet selvitetään materiaalikohtaisesti. Lämpöhäviöiden määrittäminen edellisen kaavan 2 avulla menee käytännössä katsoen turhan tarkaksi. Lämpöhäviöiden selvittämiseen riittää kaavan 1 mukainen tarkastelu.

5.3 Säiliön lämpöhäviöiden laskenta

Standardin SFS-EN 60079-30-2, sivun 17 mukaan säiliöiden ja vastaavien laitteiden lämpöhäviöiden selvityksessä on aiheellista turvautua saattotoimittajaan, sillä niiden laskeminen vaatii usein hieman monipuolisempaa tarkastelua. ST-ohjeiston 11 mukaan säiliöiden häviöteho saadaan kuitenkin laskettua seuraavalla kaavalla:

$$P_h = \frac{K * A(t_p - t_a)}{s} \quad (3)$$

P_h on häviöteho (W),

K on eristeen lämmönjohtavuus keskimääräisessä lämpötilassa [W/(m*K)],

A on pinta-ala eristeen päältä laskettuna (m²),

t_p on toivottu ylläpidettävä lämpötila celsius-asteina (°C),

t_a on ympäristön alin suunnittelulämpötila celsius-asteina (°C),

s on eristeen paksuus (m). [2, s. 10.]

Eistemateriaalin lämmönjohtavuuden arvo riippuu oleellisesti eristemateriaalin lämpötilasta. Yleisesti käytettyjen eristeiden lämmönjohtavuuden arvot keskilämpötiloilla 10, 50, 100, 200 ja 300 °C on julkaistu standardin *SFS 3976 Putki-, säiliö-, ja laiteeristykset. Eristeet ja eristys-elementit* taulukossa 1. Taulukossa 2 esitetään vuorivillan lämmönjohtavuuden arvot eri lämpötiloissa.

Taulukko 2. Vuorivillan lämmönjohtavuuden arvot eri lämpötiloissa [2, s. 9]

Lämpötila t/°C	Lämmönjohtavuus W/(m*°C)
10	≤ 0.04
100	≤ 0.05
270	≤ 0.08
370	≤ 0.10

5.4 Toimilaitteiden, laippojen, putkikannakkeiden, eristystukien ym. aiheuttamat lämpöhäviöt

Eristettyjen laippaliitosten ja venttiilien lämpöhäviöt voidaan ottaa huomioon seuraavalla tavalla:

- eristetty laippakotelo vastaa 1...2 m eristettyä putkea
- eristetty venttiilikotelo vastaa 2...5 m eristettyä putkea.

Eristämättömistä laipoista, venttiileistä, sekä erilaisista kannakkeista ja tukirakenteista aiheutuvat lämpöhäviöt voidaan tarkemman tiedon puutteessa arvioida vertaamalla niitä eristämättömän putken lämpöhäviöön käyttämällä seuraavia pituuksia:

- laippaliitos vastaa 0,4...0,6 m eristämättömää putkea
- hitsattu venttiili vastaa 0,8...1,3 m eristämättömää putkea
- laipallinen venttiili vastaa 1,5...2,0 m eristämättömää putkea
- metalliset tukirenkaat 100 kpl vastaavat 0,3...0,5 m eristämättömää putkea
- liukukannakkeet 10 kpl vastaavat 0,2...0,5 m eristämättömää putkea
- riippukannakkeet 10 kpl vastaavat 0,1...0,3 m eristämättömää putkea.

Tasoeristyksessä, kuten säiliön eristyksessä voidaan 100 m²:n alueella olevien eristeen kannatusrautojen ja -piikkien, sekä rakojen aiheuttamaa lämpöhäviötä verrata 0,1...0,2 m²:n eristämättömän tasopinnan aiheuttamaan lämpöhäviöön.

Taulukossa 3 esitetään eristämättömän putken ja tason lämpöhäviöitä eri pintalämpötiloilla pinnan emissiivisyyden arvon ollessa 0,8, ympäristön lämpötilan ollessa 20°C sekä tuulen nopeuden ollessa 0 m/s. [4, s. 7...8.]

Taulukko 3. Eristämättömän putken ja tason lämpöhäviö W/m ja W/m² eri pintalämpötiloilla
[lähteen 4 sivun 8 taulukkoa 1 mukaillen]

Putkikoko DN	Pintalämpötila T/°C								
	50	100	150	200	250	300	350	400	500
50	70	220	430	700	1 030	1 440	1 940	2 550	4 130
80	90	310	610	970	1 460	2 050	2 760	3 640	5 940
100	110	390	760	1 230	1 820	2 560	3 470	4 580	7 510
150	160	550	1 070	1 740	2 590	3 650	4 960	6 560	10 800
200	200	690	1 350	2 210	3 300	4 660	6 340	8 400	13 800
250	250	840	1 646	2 690	4 030	5 700	7 760	10 300	17 100
300	290	980	1 914	3 140	4 670	6 660	9 100	12 100	20 100
400	350	1 200	2 350	3 860	5 790	8 230	11 200	15 000	25 000
500	430	1 470	2 880	4 740	7 120	10 100	13 900	18 500	30 900
600	500	1 720	3 400	5 590	8 410	12 000	16 500	22 000	36 800
800	650	2 240	4 410	7 280	11 000	15 700	21 600	28 800	48 400
Taso	260	1 150	2 240	3 620	5 340	7 460	10 100	13 200	21 600

5.5 Instrumenttikaappien, muiden instrumenttien sekä maastolaattojen vaatima lämmitysteho

Instrumenttikaapin lämpöhäviötehon määrä voidaan laskea luvun 5.3 *Säiliön lämpöhäviöiden laskenta* kaavalla 3. Häviöteho riippuu olennaisesti kaapin tiiveydestä ja eristeen lävistävistä lämpösilloista. Tämän vuoksi on hyvä tehdä koeasennus lämmitystehon riittävyyden toteamiseksi. Tarvittava teho vaihtelee välillä 100...300 W, joka vastaa jäätyksen eston vaatimaa lämpötilan nousua -35...+20 °C ($\Delta t = 55$ °C).

Muiden instrumenttien vaatimat lämmitystekot saadaan koeasennuksista tai käyttämällä kokemusperäisiä tehoja. Laskemalla saatavat tehot ovat vain suuntaa-antavia instrumenttien epätasaisen muodon ja siitä johtuvan eristeen epätasaisen asettelun ja näiden tuomien mahdollisten ilmavuotojen takia. Kokemusperäisiä tehoja:

Näkölasin ja pintalähtetimen jäätyksenesto vaatii noin 60 W/m suuruisen lämmitystehton. Ylläpidettäessä magneettista pintainstrumenttia +50 °C:n lämpötilassa tarvitaan noin 100 W/m suuruisen lämmitysteho, mikäli eristyspelti on hyvin tiivistetty tai pinta-koje on varustettu avattavalla luukulla. Painemittari tarvitsee noin 20...30 W:n lämmitystehton toimiakseen.

Maastolaattojen sulanapitämiseen tarvitaan noin 150...450 W/m² suuruinen lämmitysteho. Tarvittava lämmitysteho riippuu laatan sijainnista, liikenteen määrästä, kaltevuudesta sekä toivotusta sulamisnopeudesta. [2, s. 10.]

5.6 Lämpötilan nostotarpeen huomioon ottaminen

Joskus on tarpeen nostaa virtauksettomassa tilassa olevan prosessiaineen lämpötila annetussa ajassa putken sisällä. Sähkösaatolla lämpötilan nostoon kuluva aika saadaan selvitettyä seuraavien yhtälöiden avulla:

$$t = H \ln \left\{ \frac{q_c - U(T_i - T_a)}{q_c - U(T_f - T_a)} \right\} + \frac{P_1 V_{c1} h_f}{q_c - U(T_{sc} - T_a)} \quad (4)$$

U on lämpöhäviö putken pituusyksikköä ja lämpötilaeron astetta kohden.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\pi D_1 h_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)}{2\pi K_1} + \frac{\ln\left(\frac{D_3}{D_2}\right)}{2\pi K_2} + \frac{1}{\pi D_3 h_{co}} + \frac{1}{\pi D_3 h_o}} \quad (5)$$

H on terminen aikavakio, joka on putken, nesteen ja lämpöeristyksen massoihin sitoutunut kokonaisenergia astetta kohden jaettuna lämpöhäviöllä putken pituusyksikköä ja lämpötilaeron astetta kohden.

$$H = \frac{P_1 C_{p1} V_{c1} + P_2 C_{p2} V_{c2} + 0,5 P_3 C_{p3} V_{c3}}{U} \quad (6)$$

P_1 on putkessa olevan aineen tiheys [kg/m³],

C_{p1} on putkessa olevan aineen ominaislämpö [J/(kg*K)],

V_{c1} on putken sisäinen tilavuus [m³/m],

P_2 on putkimateriaalin tiheys [kg/m³],

C_{p2} on putkimateriaalin ominaislämpö [J/(kg*K)],

V_{c2} on putkimateriaalin tilavuus [m³/m],

P_3 on eristemateriaalin tiheys [kg/m³],

C_{p3} on eristeen ominaislämpö [$J/(kg \cdot K)$],

V_{c3} on eristeen tilavuus [m^3/m],

T_i on putken alkulämpötila celsius-asteina ($^{\circ}C$),

T_f on putken ja siinä olevan aineen loppulämpötila celsius-asteina ($^{\circ}C$),

T_a on ympäristön lämpötila celsius-asteina ($^{\circ}C$),

T_p on haluttu ylläpitolämpötila celsius-asteina ($^{\circ}C$),

t on haluttu lämmitysaika sekunteina (s),

U on lämpöhäviö putken pituusyksikköä ja lämpötilan astetta kohti [$W/(m \cdot K)$],

H on terminen aikavakio sekunneissa (s),

T_{sc} on putkessa olevan aineen olomuodon muutoslämpötila celsius-asteina ($^{\circ}C$),

h_f on putkessa olevaan aineeseen sitoutunut sulamislämpö [J/kg],

q_c on sähkösaaton teho putkimetrille [W/m].

Edellä oleva tarkastelu olettaa niin ikään järjestelmän tiheydet, tilavuudet, lämmönjohtavuudet ja lämpöhäviöt vakioiksi ko. lämpötila-alueella. On myös huomattava, että kaikilla aineilla ei esiinny olomuodon muutosta lämpötilan noston aikana. Vaikka laskentamalli soveltuu putkiosuiksille, se ei huomioi laitteita, kuten pumppuja ja venttiileitä. [3, s. 17...18.]

5.7 Lämpöhäviöiden varmuuskerroin

Lämpökaapeli- ja eristeasennuksia ei aina välttämättä pystytä täysin toteuttamaan suunnitellulla tavalla. Muun muassa tästä johtuen kohteen lämmitystarve-/lämpöhäviölaskut on hyvä kertoa varmuuskertoimella. Varmuuskertoimella kompensoidaan asennuksesta ja muista kohteessa esiintyvistä ilmiöistä aiheutuvaa lämmitystarpeen kasvua. Varmuuskertoimen arvot vaihtelevat tyypillisesti välillä 1,1...1,25. Varmuuskertoimen suuruus määräytyy kokemuspäisestä tiedosta ja sen arvioinnissa tulisi huomioida seuraavia asioita:

- Eriste- ja lämmityskaapeliasennuksien laatu.
- Lämpöeristemateriaalin ominaisuuksien mahdollinen ikääntymisestä ja/tai kas-
tumisesta aiheutuva huononeminen.
- Korkealämpöisten saattosovellusten suuret säteily- ja johtumislämpöhäviöt.
- Syöttöjännitteen arvon vaihtelu, sekä pitkistä piireistä aiheutuva jännit-
teenalenema.
- Pitkien rinnakkaisresistanssikaapeleiden jännitteenalenema lämmityskaapelin
lopussa. [3, s. 18.]

5.8 Lämpöhäviötaulukon käyttäminen

Sähkösaattotoimittajat julkaisevat lämpöhäviötaulukoita, jotka helpottavat lämpöhävi-
öiden määritystä. Nämä taulukot sisältävät myös usein korjauskertoimia. (*Ks. esimerkki
lämpöhäviötaulukosta, liite 2.*) Lämpöhäviötaulukon käyttöä varten on saatettavasta
putkesta tiedettävä seuraavat asiat:

- eristekerroksen paksuus
- putkikoko
- ylläpidettävä lämpötila T_m
- ympäristön minimilämpötila T_a
- putken sijainti [ulkona/sisällä].
- eristeen materiaali

Kun on selvitetty ylläpidettävän lämpötilan T_m ja ympäristön minimilämpötilan T_a väli-
nen lämpötilaero $\Delta T = T_m - T_a$, etsitään taulukosta parametreja vastaava nimellinen
lämpöhäviöarvo Q_n .

Kun taulukosta on selvitetty nimellinen lämpöhäviöarvo Q_n , tulee arvo kertoa vielä kahdella korjauskertoimella. Ensimmäinen korjauskerroin ottaa huomioon eristemateriaalin lämpöominaisuudet. Toisen korjauskertoimen arvo riippuu saatettavan putken sijainnista. Mikäli putki on sisätilassa, käytetään korjauskerrointa 0,9. Mikäli putki on tuulettomassa ulkotilassa, käytetään korjauskerrointa 1. Mikäli putki on alttiina tuulelle, kerrotaan lämpöhäviöt tuulennopeudesta riippuvalla kokemusperäisellä kertoimella, joka vaihtelee välillä 1,1...1,5.

Näin on saatu laskettua putken lämpöhäviö Q , joka lämpökaapelin tulee pystyä kompensoimaan. Tämä menetelmä on suuntaa-antava, eikä se ota huomioon putkilinjan varrella sijaitsevien laitteiden, kuten venttiilien ja laippojen aiheuttamia lämpöhäviöitä. [5.]

5.9 Kaapelin maksimipintalämpötilan määrittäminen

5.9.1 Yleistä maksimipintalämpötilan määrittämisen tärkeydestä

Räjähdyksvaarallisissa tiloissa on tärkeää varmistaa, että lämmityskaapelin ja muiden sähkölaitteiden pintalämpötilat eivät saavuta räjähdysvaarallisten kaasujen tai aineiden syttymislämpötilaa. Kaapelin maksimipintalämpötila riippuu lämmityskaapelin tehosta, lämmönsiirtymiskertoimista sekä lämmityskohteessa esiintyvistä suurimmasta mahdollisesta pintalämpötilasta. Sallittu pintalämpötila määräytyy kohteessa esiintyvien räjähdysvaarallisten aineiden syttymislämpötilojen mukaan tai kohteeseen määritellyn lämpötilaluokan mukaan. (*Ks. lämpötilaluokat, liite 3.*)

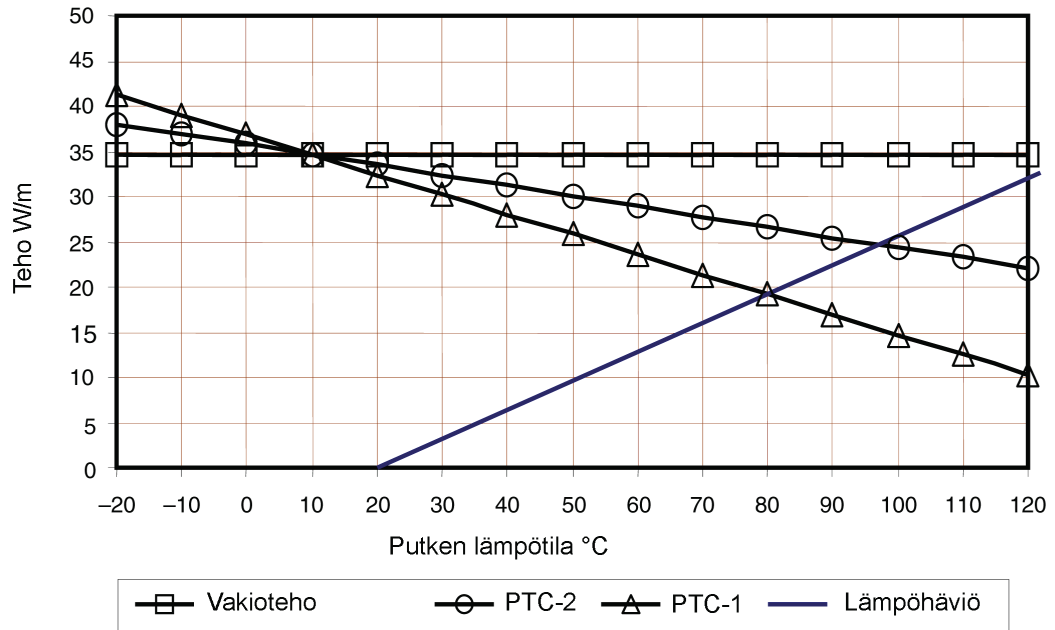
Myös muoviputkien saatoissa on tärkeää, ettei lämmityskaapelin pintalämpötila saavuta lämpötilaa, jossa putki sulaa tai vahingoittuu. Pintalämpötilan rajoituksen voi toteuttaa kolmella tavalla: lämmityskaapelin PTC-ominaisuus eli käyttämällä itserajoittuvaa lämmityskaapelia, turvalliseksi mitoittaminen tai lämpötilan rajoitus- tai säätölaitteen käyttäminen.

Valitsemalla itserajoittuva lämmityskaapeli lämmityskohteen lämpötilaluokkaa alemmasta lämpötilaluokasta, ei muita lämpötilan rajoitus tai säätöjärjestelmiä edellytetä. Lämpötilan rajoitus- tai säätölaitteen pitää estää lämmityselementtiä ylittämästä ylintä sallittua lämpötilaa. Rajoitus- tai säätölaitteen tulee myös katkaista lämmityselementin sähkönsyöttö, mikäli lämpötila-anturissa tai rajoitus- tai säätölaitteessa tapahtuu virhe-toiminto. [3, s. 22...23.]

5.9.2 Turvalliseksi mitoitus

Turvalliseksi mitoittamisen laskelmissa määritetään lämmitettävän kohteen maksimipin-tälämpötila epäedullisimmassa mahdollisessa tilanteessa. Tämän jälkeen voidaan valita lämmityskaapeli niin, ettei räjähdysvaarallisten aineiden syttymislämpötilaa ylitetä lämmityskaapelin luovuttaman lämmitysenergian johdosta. Standardin SFS-EN 60079-30-2 mukaisesti epäedullisimmat olosuhteet sisältävät seuraavat tekijät:

- maksimiulkolämpötila; ellei sitä ole määritelty, oletetaan sen olevan 40 °C
- kohteessa ei esiinny lämpöä pois kuljettavaa ilmapvirtausta; ilma pysyy paikallaan; ei tuulta
- käytetään minimiarvoa lämpöeristeen lämmönjohtavuudelle tai käytetään varovaisesti arvioitua arvoa
- saattopiiristä ei löydy lämpötilan rajoituslaitetta tai oletetaan, ettei rajoituslaite toimi
- saattolämmitystä syöttävän käyttöjännitteen arvossa esiintyy 10 % ylitys
- oletetaan, että lämmityskaapeleiden tehot ovat valmistustoleranssien ylärajalla, tai sarjaresistanssikaapelin ominaisresistanssi valmistustoleranssin alarajalla.



IEC 2332/06

Kuva 2. Tasapainotilan ehdot lämmitettävän kohteen lämpötilan ylläpitoon [3, s. 21]

Kuvasta 2 voitiin havaita tasapainotilan ehdot ylimpien raja-arvojen (maksimipintalämpötilan) arvioimiseksi. Kuvassa on esitetty mustilla viivoilla vakiotehokaapelin (vakioteho) ja kahden itserajoittuvan kaapelin (PTC-1 ja PTC-2) tehonluovutuskäyrät eri ympäristön lämpötiloissa. Sininen lämpöhäviöviiva edustaa lämpöhäviöitä ympäristön maksimilämpötilassa, mikä tässä tapauksessa on 20 °C (sinisen käyrän alkukohta).

Lämmityskaapeleiden tehonluovutuskäyrät pysyvät muuttumattomina ulkoilman lämpötilan muutoksesta huolimatta. Lämpöhäviökäyrä sen sijaan käyttäytyy niin, että sen kulmakerroin pysyy muuttumattomana, mutta sen alkukohta, eli vaak akselin (putken lämpötilan) leikkaava kohta liikkuu ulkolämpötilan muutoksen mukaan oikealle tai vasemmalle. Saatettavan kohteen lämpöhäviöt pienenevät ympäristön lämpötila kasvaessa, koska ympäristön ja saatettavan kohteen välinen lämpötilaero pienenee (lämpöhäviökäyrä liikkuu oikealle). Vastaavasti lämpöhäviöt kasvavat ympäristön lämpötila laskiessa, koska ympäristön ja saatettavan kohteen välinen lämpötilaero kasvaa (lämpöhäviökäyrä liikkuu vasemmalle).

Lämpöhäviökäyrän ja lämmityskaapelin tehokäyrän leikkauskohdassa vallitsee tasapainotila, jossa lämmityskaapelin luovuttama teho ja putken lämpöhäviöteho ovat

samansuuruiset. Kun selvitetään yllä olevan luettelman mukaan putkessa esiintyvien lämpöhäviöiden suuruudet epäedullisimmissa olosuhteissa, sekä lämmityskaapelin luovuttama lämmitysteho, voidaan tiedoista koota kuvan 2 mukainen kuva ja sen avulla hakea tasapainotila lämpötilalle. Tämä on samalla kyseisen saaton saattokaapelissa esiintyvä korkein pintalämpötila.

Saattolämmityskaapelien maksimipintalämpötilat voidaan laskea käyttäen standardin SFS-EN 60079-30-2 lukujen *6.7.4 Kaapelin pintalämpötilan teoreettiset laskelmat - Metalliputket* ja *6.7.5 Kaapelin pintalämpötilan teoreettiset laskelmat - Ei-metalliset putket* teoreettisia laskelmia. Tyypillisesti saattolämmityskaapeleiden maksimipintalämpötilat lasketaan kuitenkin kokemusperäisistä tiedoista arvioituilla kaavoilla. Laskuihin voidaan käyttää myös suunnitteluohjelmia, jotka laskevat maksimipintalämpötilat epäedullisimpien käyttöolosuhteiden mukaisilla muuttujilla (*ks. luku 11.4 Laskentaohjelman käyttö suunnittelun apuna*). Lämmityskaapelin toimittajan tulisi myös pyynnöstä antaa kokonaislämmönsiirtokertoimen arvoja kuvattuihin käyttösovelluksiin tai mahdollisesti jo valmiiksi lasketut tai kokeellisesti määritetyt pintalämpötilat. [3, s. 20...21, 23 ja 24.]

6 Lämmityskaapelit

Lämmityskaapelimalleja on valmistettu erilaisia erilaisiin tarkoituksiin. Käytettävä lämmityskaapelityyppi valitaan lämmitettävän kohteen mukaan. Kaapelin valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat mm. kaapelin käyttötarkoitus, lämpötilakestoisuus, toimintavarmuus, sekä asennusympäristön kemialliset ja mekaaniset rasitukset. Lämmityskaapelin eriste- ja vaippamateriaalit määräävät pääasiassa kaapelin lämpötilakestoisuuden sekä kestävyden vaikeissa ympäristöolosuhteissa, jotka sisältävät esimerkiksi korrodoivia ja syövyttäviä aineita. Kaapeleita valittaessa tulee muistaa ottaa huomioon niiden kuormitettavuus. Valintaan vaikuttaa myös räjähdysvaarallisten tilojen vaatimukset, sekä taloudelliset tekijät. (*Ks. luvut 9 Räjähdyksivaarallisten tilojen vaatimukset (ATEX, Ex) ja 12 Sähkösaattotyön taloudellisuus.*)

6.1 Sarjaresistanssikaapelit

Sarjaresistanssikaapelit ovat korkeavastuksista langasta valmistettuja vakiovastuskaapeleita. Kaapelin resistanssi synnyttää tietyn lämpötilan tietyllä syöttöjännitteellä.

Muovieristeiset kaapelit, joita käytetään matalissa lämpötiloissa (aina + 90 °C saakka), ovat suhteellisen edullisia. Metallivaippaisten mineraalieristeisten kaapelien ehdottomana vahvuutena voidaan pitää niiden korkeaa lämpötilakestoa (jopa 600 °C). [6.]

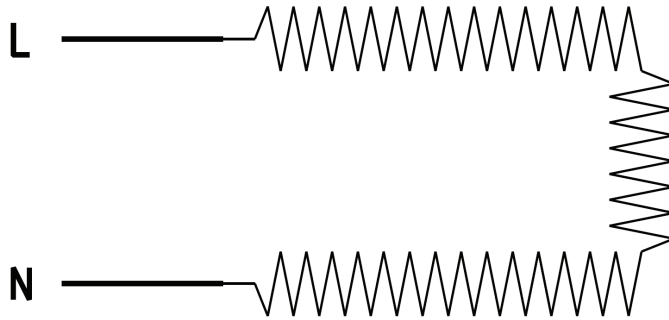
Sarjaresistanssikaapeleiden haittoina voidaan pitää seuraavia asioita. Kaapeleita ei voida asentaa kiinni toisiinsa, eikä niitä voi risteyttää. Jos näin tehdään, kaapeli lämpeenee liikaa ja pahimmassa tapauksessa palaa poikki. Kaapelit ovat määrämittäisiä, eikä niitä voi lyhentää niiden ominaisuuksien muuttumatta. Katkos tai vika kaapelin missä tahansa kohdassa turmelee koko kaapelin.

Mineraalieristeisiä sarjaresistanssikaapeleita käytetään saatoissa, joissa vaaditaan korkea ylläpitolämpötila. Kyseisiä kaapeleita käytetään myös paikoissa, joissa saavutetaan hetkellisesti korkea lämpötila, vaikka ylläpidettävä lämpötila olisikin matalampi. Esimerkiksi putkilinjaa pestäessä kuumalla höyryllä linjan hetkellinen lämpötila saattaa nousta merkittävästi sen normaalikäyttölämpötilaan verrattuna.

Sarjaresistanssikaapeleista voidaan valmistaa pitkiä, minkä vuoksi niitä käytetään pitkien putkilinjojen lämmitykseen. Teflon- ja silikonikumivaippaiset kaapelit kestävät hyvin korrodoivia ja syövyttäviä aineita.

Sarjaresistanssikaapelit jaetaan eristysmateriaalin mukaan kolmeen pääryhmään:

1. MI-kaapelit (mineraalieristeiset ja metallivaippaiset, korkeisiin lämpötiloihin aina n. 600 °C saakka, sekä pitkiin vetoihin)
2. teflon- ja silikonikumivaippaiset kaapelit (teollisuuden sovelluksiin, teflonkaapeli noin +260 °C saakka)
3. matalan lämpötilan kaapelit (PVC- muovivaippaiset, noin +90 °C saakka, lähinnä sulanapitotarkoituksiin, sekä asuinrakennusten lämmityksiin). [2, s. 8; 6.]



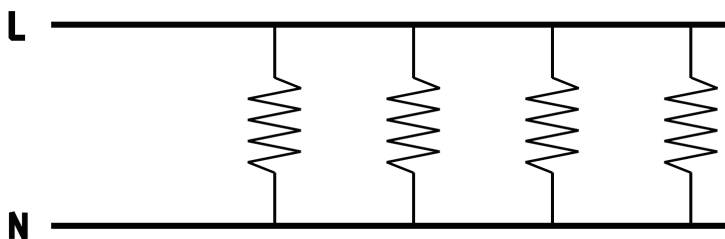
Kuva 3. Sarjaresistanssikaapelin toimintaperiaate

Kuvassa 3 on esitetty sarjaresistanssikaapelin toimintaperiaate. Kaapelin korkearesistanssinen johdin toimii vastuksena, joka lämpenee sen läpi kulkevan virran vaikutuksesta. Sarjaresistanssikaapeleista voidaan valmistaa yksi- tai kaksijohtimisia. Yksijohtimisen kaapelin molemmat päät pitää tuoda samaan syöttöpisteeseen, jolloin kaapeli muodostaa aina lenkin. Kaksijohtimisessa kaapelissa riittää, että kaapelin toinen pää tuodaan syöttöpisteeseen. (Ks. esimerkki sarjaresistanssikaapelin datalehdessä, liite 4.) [2; 3, s. 19; 7.]

6.2 Rinnakkaisresistanssikaapelit

6.2.1 Yleistä rinnakkaisresistanssikaapeleista

Kuvassa 4 esitetään rinnakkaisresistanssikaapelin toimintaperiaate. Äärijohtimien välissä sijaitsee lukuisia vastuksia, jotka tuottavat lämpöä sähkövirran vaikutuksesta. Rinnakkaisresistanssikaapelin ominaisteho pysyy muuttumattomana lämmityskaapelin pituudesta riippumatta ja niille ilmoitetaan tietty teho kaapelimetriä kohden. Rinnakkaisrakenteen ansiosta kaapeli voidaan katkaista haluttuun pituuteen.



Kuva 4. Rinnakkaisresistanssikaapelin toimintaperiaate

Rinnakkaisresistanssikaapelin lämmityselementtinä toimii tyypillisesti äärijohtimien välissä sijaitseva polymeerimuovi tai äärijohtimien välityksellä toisiinsa kytkeytyvät metalliset lämmityselementit. Vakiotehotyypisessä rinnakkaisresistanssikaapelissa lämmityselementtinä toimii tyypillisesti äärijohtimien ympärille spiraalin muotoon pyöritetty metallinen lämmityselementti. [3, s. 19.]

Rinnakkaisresistanssikaapeleita käytetään usein lämpötilan ylläpidossa keskisuurissa lämpötiloissa. Esimerkiksi alumiinivaippaisen IPS-vakiotehokaapelin lämpötilakesto kuormitettuna on 340 °C ja kuormittamattomana 425 °C. [8.]

Rinnakkaisresistanssikaapeleiden hyötynä voidaan pitää sitä, että ne voidaan usein katkaista kentällä haluttuun pituuteen. Tämä mahdollistaa sen, että asennustyö voidaan aloittaa, vaikkei tiedetä tarkkaan tarvittavaa lämmityskaapelin pituutta. Rinnakkaisresistanssikaapeleiden haittana voidaan pitää pitkien saattopiirien loppupäässä esiintyvää jännitehäviöstä johtuvaa lämmitystehon alenemaa, joka tulisi huomioida valittaessa lämmityskaapelin nimellistehoja sekä mietittäessä lämpötila-anturien sijoitusta. Vakiotehorinnakkaisresistanssikaapeleita ei voida asentaa liian lähelle toisiaan, eikä risteyttää. Jos näin tehdään kaapelit lämpenevät liikaa ja tuhoutuvat. *(Ks. esimerkki rinnakkaisresistanssikaapelin datalehdessä, liite 5.)* [3, s. 27; 7.]

6.2.2 Itsesäätyvät/itserajoittuvat kaapelit

Itsesäätyvän kaapelin tuottama lämmitysteho kasvaa ympäristön lämpötilan pienetessä. Vastaavasti lämmitysteho pienenee ympäristön lämpötilan kasvaessa.

Lämpö syntyy, kun sähkövirta kulkee johtavan polymeerin läpi äärijohtinten välillä. Kun ympäristön lämpötila laskee, sähkövirralle avautuu useampia kulkuväyliä johdinten väliseen polymeeriin. Mitä enemmän kulkuväyliä aukeaa, sitä enemmän sähkövirtaa pääsee kulkemaan ja synnyttämään enemmän lämpöenergiaa. Ympäristön lämpötilan noustessa kulkuväylät vähitellen sulkeutuvat, joka johtaa lämmitystehon pieneneeseen.

Itsesäätyvän kaapelin etuna voidaan pitää seuraavia asioita. Kaapeli ei omatoimisesti lämpene liikaa. Kaapelit voi asentaa lähelle toisiaan, ja kaapeli voi risteytyä itsensä ja muiden itsesäätyvien kaapeleiden kanssa. Kaapelit pystytään lyhentämään kentällä

haluttuun pituuteen. Jos kaapelin jokin kohta vaurioituu, se ei välttämättä tarkoita koko kaapelin tuhoutumista.

Itsesäätyvän lämmityskaapelin haittana voidaan pitää sen suurehkoa käynnistysvirtaa, mikäli kaapeli on riittävän kylmä virrankytkentähetkellä. Tämä tulee ottaa huomioon lämmityspiirin suojauksia mietittäessä, jotteivät suojalaitteet laukea virrankytkentävaiheessa aiheutuvasta kytkentävirran suurehkoista arvosta. Itsesäätyvän lämmityskaapelin toimintaperiaate esitetään kuvassa 5. [3, s. 20; 7.]



Kuva 5. Itsesäätyvän lämmityskaapelin toiminta [9]

- A: Kylmä ympäristö. Ydin on kutistunut mikroskooppisesti, jolloin polymeeriin on avautunut virralle (keltainen) useita kulkuväyliä.
- B: Lämmin ympäristö. Ydin on laajentunut mikroskooppisesti. Virran kulkuväylät ovat vähentyneet.
- C: Kuuma ympäristö. Ydin on laajentunut niin paljon, että virran kulkuväylät ovat sulkeutuneet. [9.]

(Ks. esimerkki itsesäätyvän lämmityskaapelin datalehdestä, liite 6.)

6.3 Lämmityskaapelin valinta

Kun saatettavan putkilinjan tai säiliön lämpöhäviöt on saatu laskettua, päästään kaapelin valintaan. Itsesäätyviä kaapeleita käytetään pääsääntöisesti sulanapitosaatissa ja ylläpitosaatissa matalilla lämpötiloilla. Rinnakkaisresistanssikaapeleita käytetään ylläpitosaatissa, jotka vaativat korkeampaa lämpötilaa. Sarjaresistanssikaapeleita ja etenkin mineraalieristeisiä sarjaresistanssikaapeleita käytetään korkeata ylläpitolämpötilaa vaativissa saatoissa ja saatoissa, jossa saatettavan putken pituus on suuri.

Lämpökaapelin valinnassa tulee ottaa huomioon seuraavia asioita:

- *Lämmitettävän kohteen kokonaislämpöhäviöt.* Selvitetään saatettavan putkilinjan kokonaislämpöhäviöt kaikkine putkilinjalla sijaitsevine laitteineen, jonka jälkeen tiedetään lämmityskaapelilta vaadittava lämmitysteho. Valitaan lämmityskaapeli, joka vastaa teholtaan putkilinjan lämpöhäviötehoja.
- *Saatettavan putkilinjan paksuus.* Jos saatettava putkilinja on riittävän paksu, käytetään useampaa lämmityskaapelia lämmityskaapeleista putkeen siirtyvän lämmön tasaisen jakautumisen takaamiseksi. Putkilinjan lämpöhäviöt jaetaan tasan lämmityskaapeleiden kesken. Käytä useampaa lämmityskaapelia yli DN150 -paksuisilla putkilla.
- *Lämmityskohteen lämpötilat.* Lämmityskaapelin tulee kestää kaikki lämmityskohteessa esiintyvät lämpötilat. Normaalin käyttötilanteen lämpötilojen lisäksi lämmityskaapeleiden tulee tietyissä tilanteissa kestää esimerkiksi putkilinjan kuumahöyrypesun aiheuttama normaalitilannetta korkeampi lämpötila.
- *Mekaaniset ja kemialliset olosuhteet.* Lämmityskaapelin tulee kestää lämmityskohteessa esiintyvät mekaaniset ja kemialliset rasitukset. Lämmityskaapelimateriaalit tulee valita asennuskohteisiin sopiviksi. Esimerkiksi tietty metallivaippainen lämmityskaapeli ei välttämättä sovi saattamaan tiettyä metalliputkea metallien keskinäisistä kemiallisista ominaisuuksista johtuen.
- *ATEX-vaatimukset.* Asennuskohteen ATEX-vaatimukset tulee selvittää ennen sähkösaaton suunnittelua. Lämmityskaapeleiden ja lämmityspiirin laitteiden tulee olla sertifioituja käytettäväksi kyseisissä räjähdysvaarallisissa tiloissa. Pintalämpötilat eivät saa ylittää kohteen lämpötilaluokkaa, eikä esiintyvien aineiden leimahtamislämpötilaa. Mikäli suunnittelussa näyttää siltä, että maksimipintalämpötilat ylittyvät, jaetaan teho useammalle lämmityskaapelille. (Ks. luku 9 *Räjähdysvaarallisten tilojen vaatimukset (ATEX, Ex).*)
- *Taloudellisuus.* (Ks. luku 12 *Sähkösaattotyön taloudellisuus.*)

Muun muassa edellä mainittujen lämpökaapelin valinnassa huomioonotettavien asioiden perusteella on muodostunut seuraavanlaisia ns. nyrkkisääntöjä lämpökaapelin valinnalle:

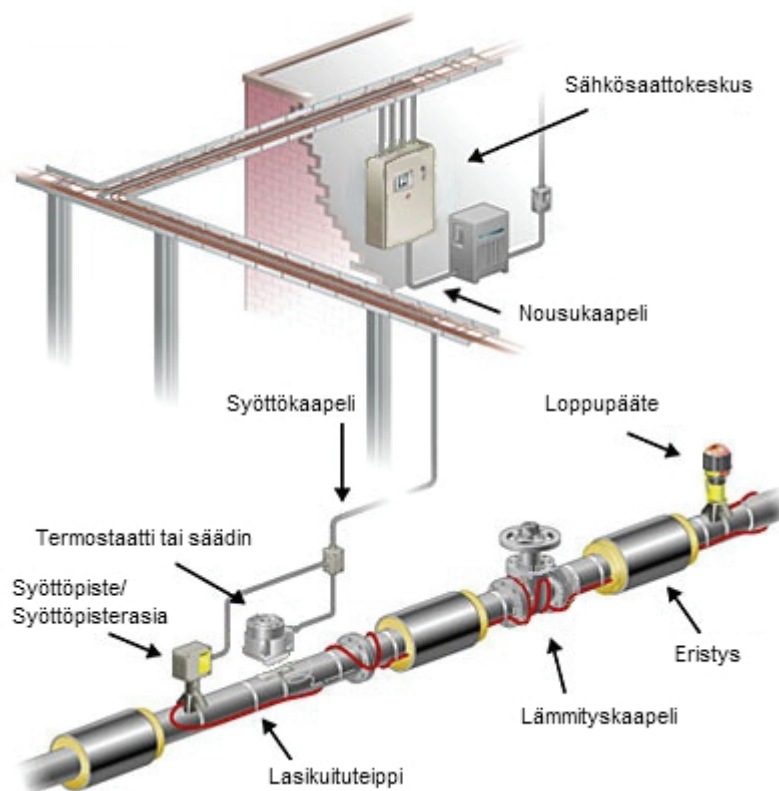
- Lämpötilan salliessa käytetään muovieristeistä tai tefloneristeistä lämpökaapelia.
- Käytetään itserajoittavaa lämpökaapelia
 - o lyhyiden putkien lämmitykseen
 - o lyhyehköjen putkien lämmitykseen, kuten instrumenttien tyhjennysputket, joiden pituus määräytyy tarkemmin asennuspaikalla
 - o instrumenttien ja instrumentti-impulssiputkien lämmitykseen
 - o kerroseristyslämmityksissä, joissa lämmityskaapeli tulee eristyskerrosten väliin.
- Metallivaippaisen lämmityskaapelin minimihalkaisijan tulee olla 2 mm.
- Bitumiputkien ylläpitosäatoissa käytetään kupari- nikkeli-vaippaista lämpökaapelia n. 200 °C:n lämpötilaan asti.
- Huomattavasti yli 200 °C:n lämpötilan ylläpitosäatoissa käytetään ruostumattomalla teräs-vaipalla varustettua lämpökaapelia.
- Kun on todennäköistä, että eristeaine pääsee kostumaan aika-ajoin ja käytetään metallivaippaista lämmityskaapelia, on käytettävä AISI 800 tai AISI 600 -vaippaista lämpökaapelia.
- Lämpökaapelin halkaisijan ja vaipan paksuuden kasvattaminen parantaa korroosion kestoa ja mekaanista lujuutta.
- Resistanssi ja tehovalikoiman tulisi olla mahdollisimman pieni.

- Kaapelin kuormitettavuus ei saa ylittää kaapelin asennusohjeen mukaisia arvoja.
- Lämpökaapelin tulee kestää muiden läheisten lämpökaapeleiden aiheuttamat lämpötilat. [2, s. 12; 3, s. 18...19.]

7 Lämmityspiirin laitteet

7.1 Lämmityspiirin perushahmottelu

Kuvassa 6 esitetään sähkösaattopiirin perusrakenne. Kuvassa näkyy saattopiirin komponentteja selityksineen.



Kuva 6. Sähkösaattopiirin komponentit [10]

Yksinkertaisimmillaan sähkösaattopiiri on kuvan 6 mukainen. Syöttävästä verkosta lämmityskaapelille päin ajateltuna lämmityspiiri sisältää usein seuraavanlaisia komponentteja:

Sähkösaattokeskus/sähkölämmityskeskus

Sähkösaattolähtöjä sisältävä keskus. Sisältää vain sähkösaattopiireihin liittyviä laitteita. Keskuksessa sijaitsee usein saattopiirin suojalaitteet, kuten vikavirtasuojat ja yhdistelmäautomaatit.

Tehonsäädin

Yhtä ryhmää tai ryhmiä syöttävä laite, joka luovuttaa tehoa ulkopuolisen ohjauksen mukaan. Usein tyristoritekniikalla toteutettu, jossa ohjaavana tekijänä on ulkoilman lämpötila.

Syöttökaapeli

Sähkösaattokeskukselta lähtevä kaapeli. Päätyy syöttöpisteeseen tai haaroituskoteloon. Mikäli syöttökaapelin perään on kytketty vain yksi lämpökaapelipiiri, syöttökaapeli päätyy syöttöpisteeseen. Mikäli kyseinen kaapeli syöttää useita lämpökaapelipiirejä, kaapeli päätyy haaroituskoteloon.

Haaroituskotelo

Haaroituskotelossa syöttökaapeli haarautuu usealle syöttöpisteelle, ja sitä kautta eri sähkösaattoryhmille. Haaroituskotelossa voi sijaita sähkösaattopiirin suojalaitteita. Haaroituskotelosta lähtee ketjutuskaapeli, joka päätyy syöttöpisterasiaan.

Lähtöryhmä

Lähtöryhmä voi sisältää useita sähkölämmityspiirejä, jotka ovat saman keskukselta tulevan syöttökaapelin perässä.

Ketjutuskaapeli

Haaroituskotelon ja syöttöpisteen välinen kaapeli tai syöttöpisteiden välinen kaapeli.

Syöttöpiste/Syöttöpisterasia

Kytkentärasia, jossa syöttökaapeli kytkeytyy kylmäkaapeliin tai lämmityskaapeliin.

Lämpökaapelipiiri

Lämpökaapelipiiri sisältää kylmäkaapelit, lämmityskaapelit, kaapeleiden väliset liittimet ja jatkokset sekä kaapelipäätteet. Piiri kytkeytyy syöttöpisteeseen.

Kylmäkaapeli

Kaapeli, jolla lämmityselementti tai lämmityskaapeli kytkeytyy syöttöpisteeseen. Tarkoituksena on estää syöttöpisterasian ja eristyksen läpi asennettavan kaapelin liiallinen lämpeneminen. Yleensä lyhyt n. 1 metrin pituinen lämpenemätön kaapeli.

Lämpökaapeli

Kaapeli, joka tuottaa ja luovuttaa halutunsuuruisen lämpöenergian saatettavaan kohteeseen.

Termostaatti tai säädin

Laite, joka katkaisee lämmityskaapelin sähkönsyötön lämpötilan noustessa tietyn raja-arvon yläpuolelle ja joka kytkee sähkönsyötön lämpötilan laskiessa tietyn raja-arvon alapuolelle. Voi myös olla laite, joka säätelee lämmityskaapelin tehoa portaattomasti.

lämpötila-anturi

Lämpötilaa mittaava laite, joka kertoo lämmityskohteen lämpötilatiedon säätölaitteille. Esim. PT100. [2, s. 7...8; 11, s. 2...3.]

7.2 Sähkösaattolähdöt

Sähkösaattolähdöt voidaan jaotella säätötavan mukaan. Karkeasti ne voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

1. säätämättömät lähdöt
2. ympäristön lämpötilan mukaan säädetyt lähdöt
3. saatettavan kohteen lämpötilan mukaan säädetyt lähdöt.

Säätämättömät lähdöt

Säätämättömiä lähtöjä voidaan käyttää yksittäisten laitteiden lämmittämiseen käyttämällä itserajoittavaa lämmityskaapelia, jolloin kaapeli toimii itsessään lämpötilan säätimenä. Pyrittäessä edulliseen ratkaisuun, säätämätöntä lähtöä voidaan myös käyttää päävirtatermostaattillisten laitteiden lämmitykseen, kuten instrumenttisuojakaappien lämmittämiseen. Säätämättömät lähdöt voidaan sijoittaa 400 V:n pääkeskukseen.

Ympäristön lämpötilan mukaan säädetyt lähdöt

Ympäristön lämpötilan mukaan säädetyt lähdöt voidaan rakentaa keskuksittain. Keskuksessa on normaalisti yksi tyristorisäädin, joka säätää kaikkia lähtöjä ympäristön lämpötilan mukaisesti. Tämän johdosta lähdöt sopivat hyvin sulanapitosaatteihin, joissa ei vaadita tarkkaa lämpötilan säätöä.

Saatettavan kohteen lämpötilan mukaan säädetyt lähdöt

Saatettavan kohteen lämpötilan mukaan säädettyjä lähtöjä voidaan säätää omalla säätimellä. Tämä edellyttää usein putkilinjakohtaisten mitta- ja säätölaitteiden käyttöä, jolloin kustannukset nousevat suuriksi. Jos lähtöjä tarvitaan enemmän, niin säätämistä varten voi hankkia säätöjärjestelmän. [12.]

7.3 Lämmityspiirin muut laitteet

Liittimet ja jatkot

Lämmityskaapeleiden tai lämmityskaapelin ja kylmäkaapelin väliset liitokset putken pinnalla eristeen sisällä tehdään käyttämällä asianmukaisia liittimiä tai haaroittimia. Kaapelityypistä riippuen kaapelin voi päättää pääteliitimeen. Pääteliittimessä on usein lamppu, joka kertoo palaessaan sen, että kaapeli on kunnossa. Kaapelin toimittajalta saa kyseisiin kaapeleihin parhaiten soveltuvat liittimet. Kaapeleiden väliset liittimet, jatkokset ja päätteet voivat rajoittaa lämpökaapelipiirin kestämän maksimilämpötilan lämmityskaapelin maksimilämpötilankestoarvojen alapuolelle.

Kiinnitystarvikkeet

Kaapelit kiinnitetään lämmitettävän putken pintaan usein käyttäen lasikuituteippiä, alumiiniteippiä, metalliverkkoa tai metallivanteita. Lasikuituteipit asennetaan putken ympäri määrätyn välein, esim. 300 mm:n välein. Alumiiniteippi asennetaan lämmityskaapelin päälle kaapelin pituussuuntaisesti niin, että teippi peittää kaapelin. Alumiiniteippi parantaa lämmönjohtavuutta lämmityskaapelin ja lämmitettävän kohteen välillä. Vaivaton kiinnitystapa säiliöitä ja tankkeja saatettaessa on käyttää alumiiniteippiä.

Metalliverkkoja käytetään usein lasikuituteippien rinnalla parantamaan kaapelin kiinnityvyyttä esimerkiksi venttiilien ja toimilaitteiden kohdalla. Verkko voidaan myös pyörittää spiraalimaisesti putken ympärille. Metallivanteita käytetään lasikuituteipin tavoin asentamalla vanteet putken ympäri esim. 300 mm:n välein. [2, s. 18.]

8 Säätö-, ohjaus-, suojaus- ja mittauslaitteet

Säätö-, ohjaus-, suojaus-, ja mittauslaitteilla varmistetaan, että sähkösaatto, sekä saatettava aine ja esimerkiksi saatettava putki pysyy halutussa tilassa. Mittalaitteet mittaavat prosessin tilaa ja ilmoittavat tarvittaessa säätö-, ja ohjauslaitteille muutoksista prosessissa. Säätölaitteet säätävät prosessin haluttuun tilaan ja suojalaitteet suojelevat prosessia vika- ja virhetilanteissa.

8.1 Lämpötila-anturit

Antureiden sijainti ja lukumäärä määräytyy tapauskohtaisesti suunnittelukriteereiden sekä tilaluokkavaatimusten perusteella. Anturit sijoitetaan suunnittelussa mitoitettuun paikkaan. Monimutkaisissa ja monihaaraisissa putkistoissa anturin sijoittamisessa tulee ottaa huomioon virtausvaihtoehtojen arviointi kaikkien mahdollisten olosuhteiden osalta.

Tietyissä tilanteissa esimerkiksi prosessimateriaalin lämpötila-arkuudesta johtuen saattaa olla aiheellista käyttää sekä säätö-, että rajoitustermostaattia ja -anturia. Myös putkimateriaali (esim. muoviputki) voi vaikuttaa puoltavasti sekä säätö-, että rajoitustermostaatin ja -anturin käyttöön. Anturisijoittelua on hyvä miettiä yhdessä prosessisuunnittelun kanssa prosessin toiminnan kannalta kriittisissä kohteissa. Saattosuunnittelun kannalta ehkäpä tärkein ja haastavin asia on yksikköohjattujen lähtöjen lämpötila-antureiden sijoittelu.

Ohjeita lämpötila-antureiden sijoittamiseen:

- Anturit tulisi sijoittaa tarkoitusta parhaiten palvelemaan paikkaan.
- Anturit on sijoitettava riittävän kauas putkihaaroista, jotta haaran virtaus ei pääse vaikuttamaan anturiin liiaksi. Etäisyys vaihtelee putkien koosta ja lämpötiloista riippuen.
- Anturit sijoitetaan mielellään putken vaakaosaan (vaakaputkeen). Lämpötila pysyy putken vaakaosassa stabiilimpana putken pystyosaan verrattuna.
- Mikäli saatettavan putkilinjan sähkösaattopiirin alueella esiintyy erilaisia ympäristön lämpötiloja, saattaa putken lämpötilan kunnollinen hallinta edellyttää kahden säätimen ja lämpötila-anturin käyttämistä. Esimerkiksi kohteissa joissa putkilinja jatkuu sisätilasta ulkotilaan.
- Anturit tulisi sijoittaa riittävän etäälle (1...1,5 m) saattopiirin varrella esiintyvistä kylmäsilloista, epäjatkuuskohdista, sekä lämmönlähteistä.

- Anturit tulisi sijoittaa 1...1,5 m:n päähän lämmityskaapeleiden jatkoskohdasta, tai kohdasta, jossa yksi lämmityskaapeli loppuu ja toinen alkaa.
- Antureita ei tulisi sijoittaa suoraan putken alapuolelle vaan noin 10° vaakaputken alimmasta kohdasta pois tihkuvasta/valuvasta kosteudesta johtuen.

Ohjeita säätöantureiden sijoittamiseen:

- Säätöanturi tulisi sijoittaa riittävän etäälle lämmityskaapelista, jotta se jäisi lämmityskaapelin suoran lämpövaikutuksen ulkopuolelle.
- Säätöanturi sijoitetaan virtaussuunnan kannalta putken loppuun olettaen, että se on putken viilein kohta.
- Säätöanturi tulisi sijoittaa vähintään 90° päähän lämmityskaapeleista putken kehältä katsottuna, mikäli mahdollista.
- Mikäli anturi joudutaan sijoittamaan putken pystyosaan, sijoitetaan se pystyputken alaosaan olettaen, että se on putken viilein kohta.

Ohjeita rajoitusanturin sijoittamiseen:

- Kuumimpaan kohtaan. Eniten lämpenevään kohtaan.
- Mikäli anturi joudutaan sijoittamaan putken pystyosaan, sijoitetaan se pystyputken yläosaan olettaen, että se on putken kuumin kohta.
- Rajoitusanturi voidaan sijoittaa kiinni lämmityskaapeliin tai lämmityskaapelin välittömään läheisyyteen.
- Putkessa tai säiliössä rajoitusanturi sijoitetaan ylimpään lämpökaapeliin tai sen läheisyyteen, olettaen, että se on kuumin kohta.

Rajoitusanturin asetusarvo määräytyy joko prosessin tai vaikutuspiirissä olevien materiaalien mukaan alennettuna turvallisuusmarginaalin mukaisella arvolla. Jos

rajoitusanturia käytetään rajoittamaan lämmityskaapelin pintalämpötilaa räjähdysvaarallisissa tiloissa, voidaan anturi sijoittaa kiinni kaapelin pintaan tai eroon kaapelin pinnasta, jos ajatellaan, että se toimii mahdollisena kylmäsiltnä. Jos anturi sijoitetaan eroon kaapelin pinnasta, tulee rajoitusanturin asetusarvon olla kaapelin rajalämpötilaa pienempi. Näin saadaan kompensoitua anturin ja lämmityskaapelin välinen lämpötilaero. [2, s. 19; 3, s. 30...31.]

8.2 Lämpötilan säätimet

Lämpötilan säädin koostuu usein erillisestä anturista ja itse säätölaitteesta. Säätölaitteita on sekä sähkömekaanisia, että elektronisia. Sähkömekaaniset säätimet ovat usein termostaatteja, jotka vain kytkevät ja katkaisevat virran virtapiiristä. Elektroniset säätimet käsittelevät anturilta saadun lämpötilatiedon elektronisesti ja voivat ohjata sähkösaattopiiriä monipuolisesti saadun lämpötilatiedon perusteella.

Sähkömekaaniset säätimet

Termostaatin toiminta perustuu kahteen vaihtoehtoiseen periaatteeseen: nesteen tilavuuden muuttumiseen suljetussa tilassa tai bi-metalliosan muodon muutokseen. Lämpötilan muutoksen aiheuttama mekaaninen liike ohjaa sähköisiä koskettimia. Sähköiset koskettimet aukeavat ja sulkeutuvat tietyllä lämpötila-alueella ja näin ohjaavat saattopiiriä joko kytkien tai katkaisten saattopiirin virran.

Sähkömekaanisen säätimen toimintaperiaatteesta johtuen anturin ja säätölaitteen etäisyyttä ei voi kasvattaa kovin suureksi, joten se on asennettava kentälle. Tämän johdosta tulee kiinnittää huomiota termostaatin ja anturin sekä lämpötila-, että korrosiokestävyyteen. Säätimet ovat mekaanisesti kestäviä, mutta niiden kalibrointi kentällä on vaivalloista. Asennettaessa termostaatteja kentälle tulee muistaa ottaa huomioon asennuspaikan tilaluokitus ja valita termostaatin kotelorakenne sen mukaisesti.

Elektroniset säätimet

Elektronisten säädinten antureiden virta, jännite tai resistanssi muuttuu lämpötilan muutoksen mukaisesti. Näitä arvoja mittaamalla saadaan selville mitattavan kohteen

lämpötila. Tämän johdosta säätimet voivat sijaita kaukana antureista ja ne asennetaan usein sähkökeskuksiin, joissa niiden säätö ja kalibrointi on helppoa ja jossa ne ovat räjähdysvaarallisen tilan ulkopuolella. Elektroniset lämpötila-anturit ovat tyypillisesti vastusantureita, platina-vastusantureita, termistoreja tai termopareja. Elektroniset säätimet ohjaavat lämpötila-anturilta saamansa elektronisen viestin pohjalta esimerkiksi kontaktorin tai puolijohdereleen avulla saattopiirin päällä oloa joko päällä/pois-tyypisesti tai portaattomasti.

Tyristorisäädin

Tyristorisäätimet on toteutettu tyristoritekniikalla. Tyristorisäätimellä pystytään vaikuttamaan lämmityskaapelia syöttävän jännitteen tehollisarvon suuruuteen, jolloin säädöstä saadaan portaaton. Tyristorisäädintä käytetään yleensä sulanapitosaatissa keskuskohtaisesti niin, että säätimen syöttämä teho muuttuu ulkoilman lämpötilan mukaisesti. [3, s. 29...30.]

8.3 Säätötavan valinta

Sulanapitosaatissa, joissa lämpötilan tarkkuusvaatimus ei ole tarkka, käytetään yleensä ulkoilman lämpötilaa mittaavaa säätöjärjestelmää, joka on usein toteutettu tyristorisäätimellä. Kun on tärkeää, että prosessiaine pysyy tietyllä väljällä lämpötila-alueella, on aiheellista käyttää putken lämpötilaa mittaavaa järjestelmää, kuten mekaanista termostaattia.

Prosessin ja/tai turvallisuuden kannalta tärkeissä kohteissa, tai kun on muusta syystä tärkeää, että prosessi pysyy tietyllä kapealla lämpötila-alueella, on aiheellista käyttää elektronisia säätimiä sekä putken lämpötilaa mittaavia elektronisia lämpötila-antureita. Tällaisissa kohteissa valvontajärjestelmiin kuuluu usein myös saattopiirin eristystason, eheyden ja yleiskunnon valvontaa hälytyksineen, sekä ylläampöläukaisut. Elektronisten säätimien ja anturien signaalit on helposti muunnettavissa hälytyksiksi ja muiksi erilaisiksi signaaleiksi. Yllämainittujen asioiden takia elektronisia säätimiä ja -antureita suositetaan käytettäväksi tarkkaa lämpötilan säätöä vaativissa kohteissa.

Lämmityksen ohjaus sokkohaaran avulla

Monimutkaisten ja mutkikkaiden putkistojen lämmittämisen apuna käytetään joskus ns. sokkohaaraa. Tämä tehdään niin että valitaan putkistosta putkihaara, jossa virtaus on kokoajan pysähdyksissä tai hitsataan putkistoon ylimääräinen sokkohaara tätä varten. Sokkohaaran lämpöhäviöiden tulee olla samansuuruiset saatettavan putkiston lämpöhäviöiden kanssa. Tämä tarkoittaa sitä, että putkikoon ja eristemateriaalien sekä eriste-paksuuden tulee olla samanlaiset.

Lämpötila-anturit asennetaan sokkohaaraan, jossa virtaus on nolla. Näin koko saatettava putkistoa ohjataan sokkohaaran lämpötilan mukaan riippumatta siitä onko putkiston muissa osuuksissa virtausta vai ei. Tämä saattaa joissakin tilanteissa johtaa siihen, että tiettyjä saattopiirin vaikutuspiirissä olevia putkiosuuksia lämmitetään turhaan. Sokkohaarasta tulee tehdä riittävän pitkä, jotta liittyvän putken virtaus ei pääse häiritsemään liiaksi sokkohaaran lämpötilaa. Sokkohaaran lämpötila-anturi pitää myös sijoittaa paikkaan, jossa virtaukset eivät pääse siihen liiaksi vaikuttamaan.

Sokkohaaralämmitystä käyttämällä päästään yksinkertaiseen toteutukseen, jossa lämpötilan säätimien lukumäärä saadaan pidettyä pienenä. Menetelmän hyöty selviää pääosin energiakustannuksia ja hankintakustannuksia vertailemalla. Saatettaessa lämpötilalle arkoja aineita tulee sokkohaaratekniikkaa käyttää varoen. [3, s. 29...30.]

8.4 Muut suojalaitteet

Säätö- ja valvontajärjestelmä sisältää lämpötilansäädön lisäksi usein saattopiirin vikavalvonnan, ylivirtasuojauksen, vikavirtasuojauksen ja sähköisen eristystason valvonnan. Lämmityspiiri tulee varustaa vikavirta- ja oikosulkusuojalla ja lämmityspiirin viasta tulee saada hälytys käyttäjälle. Vikavirta-/yhdistelmäautomaattikeskus on sähkölämmitysten syöttämiseen tarkoitettu keskus, josta löytyy vikavirtasuojakytkimet ja yhdistelmäautomaatit, ja se sijoitetaan usein kentälle lähelle sähkölämmityskohteita. Yhdistelmäautomaatti käsittää johdonsuoja-automaatin, vikavirtasuojakytkimen ja hälytyskoskettimen, joka toimii vikatapauksessa. Käytettäessä itserajoittavia kaapeleita tulee muistaa valita ylivirta- ja oikosulkusuojien laukaisukäyrät niin, että ne kestävät kaapelin käynnistysvirran. [2, s. 7...9 ja 15.]

Kaasuräjähdyksvaarallisissa tiloissa minimivaatimukset sähkösaattojen syöttöpiirien suojausvaatimuksille ovat seuraavanlaiset:

- Suojalaitteiden tulee sisältää laitteet kaikkien äärijohtimien erottamiseksi syöttöstä.
- Jokainen syöttöpiiri tulee varustaa ylivirtasuojauksella.
- Järjestelmässä on oltava maasulkusuojaus. Maasulkusuojauksen toteutustapa riippuu järjestelmän maadoitustavasta. (Määritelmät standardin IEC 60364-5-55 mukaisesti.)
- TT- ja TN- järjestelmissä käytettäessä maasululta suojaavia laitteita tulee lämmityskaapelin syöttöpiiriin suojalaitteiden pystyä katkaisemaan suurimpedanssiset maasulut ja oikosulut. Tämä toteutetaan maasulkusuojalaitteella, tai maasulkusuojauksella varustetulla säätimellä yhdessä sopivan piirin suojaamisen kanssa. Lämmityskaapelivalmistajat ilmoittavat lämmityskaapelin luonnollisen kapasitiivisen vuotovirran. Suojalaitteeseen asetettava suositeltava toimintavirta on lämmityskaapelin kapasitiivinen vuotovirta + 30 mA.

Maasulun valvontaa ilman automaattista poiskytkentää on hyväksyttävää käyttää, mikäli järjestelmää huoltavat vain ammattitaitoiset henkilöt ja jos laitteen tai prosessin turvallinen toiminta edellyttää, ettei saattopiirin toiminta saa keskeytyä. Tässä tapauksessa edellytetään maasululta hälytystä, joka johtaa asianmukaisiin toimenpiteisiin.

- IT-järjestelmissä syöttöpiirissä on oltava saattopiirin eristystilaa mittaava laite. Mikäli piirin eristysresistanssi laskee alle 50 Ω/V tulee laitteen erottaa piiri verkosta. [13, s. 11.]

8.5 Hälytykset

Hälytysjärjestelmän tarkoitus on ilmoittaa käyttöhenkilökunnalle, ettei saattolämmityksen tila vastaa sille suunniteltua tilaa ja että asiaan tulisi mahdollisesti puuttua ja

toimenpiteitä tehdä tilanteen korjaamiseksi. Hälytyslaitteet vahtivat lämpötilojen lisäksi ainakin saattopiirin sähköisiä suureita, sekä hälytyskosketintietoja.

Sähkötekniset hälytykset

Sähkötekniset hälytyslaitteet mittaavat saattopiirin jännitettä, virtaa sekä resistanssia. Kun saattopiiri on kytkettynä verkkoon, jännite- ja virtamittarit mittaavat suureiden tasoa ja ilmoittavat eli antavat hälytyksen mikäli piirin jännite tai virta poikkeaa sallituista arvoista. Jännitettä mittaava laite sijaitsee usein rinnakkaisresistanssikaapelin loppupäässä ja sarjaresistanssikaapelin alkupäässä. Piirin ollessa jännitteetön resistanssia mittaava laite vahtii piirin resistanssia, tai katkeamisen havaitseva laite ns. haistelee piirin ehjyyttä ja hälyttää, mikäli piirissä tapahtuu muutos.

Lämpötilahälytykset

Lämpötilahälytykset ilmoittavat, mikäli saatettavan kohteen lämpötila on saavuttanut hälytyksen ylä- tai alarajan. Näin käyttökäyttökunta saa tiedon että mikäli asiaan ei puututa, saattaa saatettavan aineen hyväksyttävät rajalämpötilat ylittyä (tai alittua).

Muut hälytykset

Muita hälytyksiä voivat olla esimerkiksi kontaktorien kytkinten tilatiedot, vikavirtakytkinten ja muiden suojalaitteiden kytkinten tilatiedot, lämpötilan säätölaitteen apukoskettimien tilatiedot tai elektronisten säädinten sisäiset ns. vahtikoiraapiiri-hälytykset, jotka ilmaisevat sisäisen vian säätimessä. [3, s. 31...32.]

9 Räjähdyksvaarallisten tilojen vaatimukset (ATEX, Ex)

9.1 Yleistä räjähdysvaarallisten tilojen vaatimuksista

ATEX-nimitystä (ATmospheres EXplosibles) käytetään Euroopan parlamentin ja neuvoston Ex-laitteita (Ex=räjähdyksvaarallinen) ja -suojarjestelmiä koskevasta direktiivistä 94/9/EY ja työntekijöiden turvallisuutta Ex-tiloissa koskevasta direktiivistä 1999/92/EY. ATEX-tilojen asennusten ja laitteiden tulisi noudattaa edellä mainittuja direktiivejä.

Seuraavaksi esitetään joitakin oleellisia huomioonotettavia asioita räjähdysvaarallisten tilojen sähkösaattoasennuksiin liittyen.

Jos lämmityspiirin jokin osa sijaitsee räjähdysvaarallisessa tilassa, tulee kyseisen piirin kaikkien komponenttien olla vaativimman tilaluokan vaatiman laiteluokan mukaisia. Vaihtoehtoisesti tulee samassa virtapiirissä olevien räjähdysvaarallisessa tilassa sijaitsevan Ex-laitteen ja ei-räjähdysvaarallisessa tilassa sijaitsevan ei-Ex-laitteen välissä käyttää Ex-barrieria. Vaativamman Ex-luokan laitetta saa käyttää alemmassa Ex-luokassa.

Laitteet ja materiaalit tulee suunnitella ja asentaa niin, että niiden kunnossapito ja tarkastaminen olisi helppoa ja vaivatonta. Jos laitetta ei ole pakko sijoittaa räjähdysvaaralliseen tilaan, kannattaa se sijoittaa räjähdysvaarattomaan tilaan. Mikäli laite on pakko sijoittaa räjähdysvaaralliseen tilaan, se tulee sijoittaa tilan vähiten vaaralliseen paikkaan.

Kaapelien jatkamista Ex-alueella tulisi välttää.

Sähkölaitteen pintalämpötila ei saa missään tilanteessa saavuttaa minkään sen vaikutuspiirissä olevan aineen syttymislämpötilaa. Tämän takia suositetaan itserajoittuvien lämpökaapeleiden käyttöä tai rajoitustermostaatin käyttöä.

Kohdealueen tilaluokituksista tulee olla käytettävissä täydelliset tiedot asennettaessa sähkösaattoja räjähdysvaarallisiin olosuhteisiin. [3, s. 8.]

Räjähdysvaarallisissa tiloissa sähkösaatto on suunniteltava siten, että kaikissa kohtuudella ennakoitavissa olevissa tilanteissa lämmityselementin pintalämpötila rajautuu 5 °K lämpötilaluokan tai aineiden syttymislämpötilojen alapuolelle lämpötila-alueilla 'alle 200 °C'. Vastaava lämpötilamarginaali lämpötila-alueella 'yli 200 °C' on 10 °K. [13, s. 11.]

Kun asennustyö on valmis, laitteet ja asennustyö tulee tarkastaa ennen käyttöönottoa. [3; 14, liite 2; 15.]

Liitteessä 3 esitetään tärkeitä räjähdysvaarallisiin tiloihin liittyviä käsitteitä, merkintöjä ja nimityksiä. Liitteestä löytyy mm. tilaluokkajaottelu, lämpötilaluokat sekä ATEX-laitteiden ryhmittely, luokittelu ja merkinnät. *(Ks. tiivistelmä ATEX-asioista, liite 3.)*

9.2 Laitteiden merkintä

Alla on esitetty oleellisimpia tietoja, joita räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävistä laitteista ja suojajärjestelmistä tulee löytyä. Lisää vaatimuksista löytyy Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivistä 94/9/EY. Seuraavassa on lainaus kyseisestä direktiivistä:

Kussakin laitteessa ja suojajärjestelmässä on oltava luettavalla ja pysyvällä tavalla vähintään seuraavat tiedot:

- valmistajan nimi ja osoite
- CE-merkintä (ks. liitteessä X oleva A kohta)
- sarja- tai tyyppimerkintä
- mahdollinen sarjanumero
- valmistusvuosi
- räjähdysuojelun erityismerkintä ja laitteiden ryhmän ja luokan tunnus
- ryhmään II kuuluvien laitteiden osalta kirjain "G" (kaasujen, höyryjen tai sumujen aiheuttamien räjähdystilojen osalta) ja/tai kirjain "D" pölyn aiheuttamien räjähdystilojen osalta.

Lisäksi niissä on myös oltava, jos katsotaan tarpeelliseksi, kaikki käyttöturvallisuutta koskevat välttämättömät tiedot. [14, liite 2.]

Jokaisen laitteen ja suojajärjestelmän mukana on oltava ohjeet, joista selviää muun muassa laitteen tai suojajärjestelmän vaaraton: kokoonpano, asennus, käyttöönotto, käyttö, kunnossapito, säätö sekä purkaminen. [3; 14, liite 2; 15.]

10 Asennuksessa suunnittelun kannalta huomioitavia asioita

10.1 Yleistä asennuksiin liittyen huomioitavista asioista

Suunnittelussa tulisi kiinnittää huomiota myös laitteiden sijoitteluun kentällä. Seuraavassa luetelmassa on esitetty joitakin huomioonotettavia asioita:

- Saattopiirin laitteet on suunniteltava asennettaviksi sellaisiin paikkoihin, jossa ne eivät hankaloita muun prosessin käyttö- sekä huoltotoimenpiteitä.
- KytKentäkotelot, termostaatit, vikavirtakytkinkeskukset, rasiat ja muut vastaavat lämmityspiirin laitteet tulee suunnitella asennettaviksi helposti luokse päästäviin paikkoihin.
- Keskukset, suuret kytKentäkotelot, sekä suuret haaroitusrasiat tulisi suojata suojalipalla tai asentaa suojaan satavalta tai tippuvalta nesteeltä tai muilta aineilta.
- Kaapelivaurioiden ehkäisemiseksi lämmityskaapeli tai kylmäkaapeli tulisi suojata metallisella suojaletkulla eristeläpivientien kohdista.
- Lämpökaapeliin jatkosten ja päätteiden tulee kestää samat olosuhteet, kuin lämpökaapelin sekä niiden tulee olla lämpökaapelin valmistajan hyväksymiä.
- Mineraalieristeisten lämpökaapeleiden (MI-kaapelit) jatkosten täyteaineena tulee käyttää magnesiumoksidia.
- Asennettaessa lämmityskaapelia betonin sisään, tulee sen resistanssia ja eristysresistanssia valvoa koko valuvaiheen ajan. [2, s. 17...19.]

10.2 Eristysresistanssi

Asennuksen eri vaiheissa tulee seurata lämmityskaapelin eristysresistanssia joka kertoo, ovatko kaapelin eristysominaisuudet muuttuneet asennuksen aikana. Standardi

SFS-EN 60079-30-2 ohjeistaa suorittamaan eristysresistanssimittaukset seuraavalla tavalla:

Eristysresistanssi tulee mitata:

- johtimien ja metallisen vaipan väliltä
- johtimien ja metallisen suojausnauhan väliltä
- johtimien ja muun yhtä hyvin johtavan materiaalin väliltä.

Eristysresistanssimittaukseen tulee käyttää vähintään 500 V d.c. mittausjännitettä. Mineraalieristeiset lämmityskaapelit suositetaan mitattavaksi 1000 V d.c. mittausjännitteellä. Muovieristeiset lämmityskaapelit suositetaan mitattavaksi 2500 V d.c. mittausjännitteellä. Lämmityskaapelin eristysresistanssin tulee olla vähintään 20 M Ω .

Eristysresistanssimittaukset tulee tehdä kaikille lämmityskaapeleille ennen asennusta sekä asennuksen jälkeen. Kaikkien saattopiirien eristysresistanssit tulee testata yllä olevien ohjeiden mukaisesti saattopiirien asennuksien jälkeen. Kaikille saattopiireille tehdään eristysresistanssimittaus yllä olevien ohjeiden mukaisesti myös eristystyön jälkeen, jolloin eristysresistanssin tulee olla vähintään 5 M Ω . [3, s. 34, 37, 39 ja 46.]

11 Muita huomioitavia asioita

11.1 Kylmäkaapeli

Kylmäkaapelin tulee kestää lämmityskohteen olosuhteet. Tämä tarkoittaa usein sitä, että kylmäkaapeli on järkevää valita vaippa- ja eristemateriaaleiltaan vastaamaan lämmityskaapelin vaippa- ja eristemateriaaleja. Kylmäkaapelista tulee löytyä oma erillinen maadoitusjohdin. [2, s. 14.]

Kylmäkaapeleita ei välttämättä tarvitse käyttää matalan lämpötilan saatoissa käytettäessä muovi- tai teflonvaippaisia lämmityskaapeleita (esim. sulanapitosaatot). Korkean lämpötilan saatoissa kylmäkaapelin käyttö on suositeltavaa. Jos kylmäkaapelia ei

käytetä, menee lämmitysenergiaa hukkaan, sekä eristeen läpi tuleva kuuma lämmitys-kaapeli saattaa vaarantaa henkilöturvallisuuden. Kylmäkaapeleita tulee käyttää aina käytettäessä metallivaippaisia lämmityskaapeleita.

Kylmäkaapelin käyttö tai käyttämättömyys tulee muistaa ottaa huomioon lämmityskaapelin pituutta mietittäessä. Mikäli kylmäkaapelia ei käytetä, tulee lämmityskaapelille muistaa varata noin metri lisäpituutta eristeläpiviennistä ja kytkentärasialle/syöttöpisterasialle viennistä johtuen.

11.2 Keskuksiin jätettävä laajennusvara

Kentälle asennettaviin keskuksiin ja koteloihin on hyvä jättää jonkin verran laajennusvaraa. Tämä tarkoittaa sitä, että keskuksen koko kapasiteettia ei oteta heti käyttöön. Näin varaudutaan tulevaisuuden sähkösaattotarpeisiin. Jossain vaiheessa saattaa tulla tilanne jossa huomataan, että jotakin tiettyä putkilinjaa tarvitseekin saattaa, vaikka alun perin tätä ei osattu ottaa huomioon. Jos tällaisessa tilanteessa keskuksat ovat tupaten täynnä, joudutaan saattolämmityksen syöttökaapelointi vetämään lähimmästä sähkötilasta asti, jolloin kustannukset nousevat suhteettoman suuriksi. Laajennusvaran määrä kannattaa miettiä tapauskohtaisesti.

11.3 Sähkösaattojen toimintavarmuus

Tietyissä tilanteissa on hyvä asentaa kohteeseen kahdennettu sähkösaatto eri syötöillä. Tämä tarkoittaa sitä että sähkösaattokaapeleita syötetään eri lähteistä, ja niitä vahtivat eri säätö-, ja suojalaitteet. Näin saadaan varmennettua sähkösaaton toimintaa. Vaikka toinen saatto jostain syystä lakkaisi toimimasta, niin toinen lämmittää edelleen saatettavaa ainetta.

Kahdennettuja saattoja kannatta käyttää prosessin toiminnan kannalta kriittisissä kohteissa kuten kohteissa, joissa prosessimateriaali tai tuotettava tuote voi mennä pilalle, mikäli saattolämmityspiirin toiminta keskeytyy. Myös kohteissa joissa ihmisten turvallisuuden kannalta on tärkeää, että saatettavat aineet pysyvät tietyssä lämpötilassa, tulee käyttää useaa rinnakkaista lämmityskaapelia, joita jokaista syötetään omalla syötöllä.

11.4 Laskentaohjelman käyttö suunnittelun apuna

Sähkösaattosuunnittelun apuna voidaan käyttää kaapelivalmistajien suunnittelemaa laskentaohjelmia, kuten Tyco Thermal Controlsin TraceCalc Pro- ohjelmaa. Ohjelmaan syötetään tiedot saatettavasta putkilinjasta, jonka jälkeen ohjelma muun muassa laskee putkilinjan lämpöhäviöt, tarvittavien lämmityskaapelipiirien määrän, sähköiset kuormitukset, sekä kaapeleiden pintalämpötilat, ym.. Tämän jälkeen ohjelma ehdottaa lämmityskaapeleita ja lämpökaapelipiirin komponentteja käytettäväksi kyseiseen saattoon.

Ohjelma sisältää kattavat tiedot eri kaapelivalmistajien saattokaapeleista ja muista materiaaleista. Ohjelma ehdottaa myös tarpeelliset säätö- ja valvontalaitteet automaattisesti. Ohjelmasta saa ajettua kattavat listat saatettavan putkilinjan tiedoista, sekä saattopiirin tiedoista ja materiaaleista. [16.]

12 Sähkösaattotyön taloudellisuus

Sähkösaattoja suunniteltaessa, niin kuin kaikessa muussakin suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota projektin taloudellisuuteen. Projektin kustannukset määrittelevät usein sen, kuinka monipuolisesti projekti päästään toteuttamaan. Projektin kustannusten tarkka arviointi on myös tärkeää kilpailutusvaiheessa, jossa asiakas päättää kuka saa toteuttaa tulevan projektin. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, ettei kustannuksia tulisi arvioida totuudenmukaisesti. Saattoprosessin taloudellisessa arvioinnissa tulee ottaa huomioon seuraavia asioita:

- lämpökaapeleiden, lämpökaapelijatkosten ja -päätteiden ym. kustannukset
- asennuskustannukset
- syöttö- ja ohjauskaapelointi, ja niiden kustannukset
- lämpötilan rajoitus- ja säätölaitteet, ja niiden kustannukset
- keskuslähdöt, ja niiden kustannukset

- käyttöikä ja huollon tarve
- standardisointi
- käyttövarmuus
- tilaluokitukset. [2, s. 12.]

13 Tyypilliset sähkösaattotyössä tapahtuvat suunnitteluvirheet

Seuraavaan luetelmaan on kasattu tyypillisimpiä sähkösaattotyössä tapahtuvia suunnitteluvirheitä, joista johtuen saattolämmitys ei toimi ollenkaan, tai se ei toimi halutulla tavalla. Näitä suunnitteluvirheitä tulisi välttää.

- Häviöteho on laskettu tai arvioitu väärin. Saattolämmityksen lämmitysteho ei ole riittävän suuri ja se jää vajaaksi aiheuttaen saatettavan aineen jähmettymistä, kovettumista, liiallista jäähtymistä tai laadun heikkenemistä. Saattolämmityksen lämmitysteho on liian suuri aiheuttaen aineen ylikuumenemista, kiehumista, höyrystymistä tai laadun heikkenemistä.
- Käytettäessä itserajoittavaa kaapelia on valittu kaapelin tehokäyrä väärin (valittu väärä kaapeli), tai kaapelin lämmitystehon muuttumista ei ole otettu huomioon. Kaapelin tehonluovutus putoaa liikaa lämpötilan noustessa johtaen riittämättömään lämmitystehoon.
- Kuparijohtimisella lämmityskaapelilla ei ole huomioitu kuparin resistanssin muutoksen riippuvuutta lämpötilan muutoksesta. Haluttua lämpötilaa ei saavuteta.
- Lämmityskaapeli ei kestä kohteessa esiintyvää suurinta tai pienintä lämpötilaa johtaen lämpökaapelin vaurioitumiseen.
- Lämmityskaapeli ei kestä vallitsevia ympäristöolosuhteita tai mekaanisia rasituksia ja vaurioituu. (Esim. kemialliset rasitteet ja korroosio, mekaaniset väännöt, venytykset ym..)

- Suunnitellaan liian suuria piirejä, jolloin piirin vikaantuessa saattolämmitys katkeaa suurelta alueelta.
- Lämpötila-anturit on suunniteltu asennettavaksi epäedulliseen paikkaan, jolloin anturin lämpötila ei vastaa saatettavan putkilinjan lämpötilaa. Esim. lämpötilan epäjatkuvuuskohtaan, liian lähelle lämmityskaapelia tai liian lähelle liittyvää putkihaaraa, jolloin haaran virtaus vaikuttaa liiaksi anturiin. [2, s. 23...24.]

14 Sähkösaattotyön dokumentointi

Sähkösaattojen dokumentointi, niin kuin kaikki muukin dokumentointi, tulisi tehdä mahdollisimman yhdenmukaisella ja selkeällä tavalla. Tämä helpottaa ja nopeuttaa myöhempien huolto, ja muutostöiden tekoa. Dokumentoinnissa on hyvä noudattaa laitoskohtaista piirustustapaa. Tehtäessä olemassa olevalle laitokselle uusia sähkösaattoja tai sähkösaattojen muutostöitä, tulisi jatkaa aiempaa dokumentointitapaa.

Sähkösaattotyön valmistuttua tulee asiakkaalle luovuttaa ainakin seuraavat dokumentit:

- *Sähkösaattotaulukko.* Sähkösaattotaulukossa esitetään tiedot muun muassa saattopiirin piiritunnuksesta, saatettavasta putkesta/laitteesta, lämpökaapelista, toiminta-arvoista, termostaatin tiedoista, piirityypistä, kohteen tilaluokasta, huomioitavista asioista, liittyvistä piirustuksista, sekä revision versiosta. (Ks. PSK 8101-standardin mukainen sähkösaattotaulukko, liite 7.)
- *Sähkösaattoisometri, tai vastaava asennuspiirustus.* Suunnittelijan tulee laatia asennuspiirustus lämmityskaapelipiiristä. Piirustuksessa esitetään lämmityskohteen saattolämmityskaapeleiden, lämpötila-antureiden, termostaattien sekä näiden kytkentärasioiden sijoittelu. Myös kaapelijatkokset, -liitokset ja -haarautukset, sekä loppupäätteet merkataan kyseiseen piirustukseen. Asennuspiirustus piirretään usein putki-isometrikuvaan. Piirustuksesta tulee ilmetä myös kaapelinumerointi, kaapelitunnukset, ryhmätunnukset, piirin sijainti mitoitettuna jostain kiintopisteestä, sekä mahdolliset erityishuomautukset ja tarvittaessa lämmityskaapelin asennusmitoitus. Jos asennuspiirustus tehdään

putki-isometrikuvaan, voidaan piirustuksen numerointi toteuttaa niin, että putki-isometrin piirustusnumeron eteen lisätään kirjainyhdistelmä ELT. Näin tiedetään helposti mitä putki-isometriä sähkösaattoisometri vastaa. *(Ks. esimerkit putki- ja säiliöisometrikuvaan lisätyistä asennuspiirustuksista, liittet 8 ja 9.) (Ks. PSK 8101-standardin mukainen esimerkki tasopiirustuksen pohjalle rakennetusta saattolämmityksen asennuspiirustuksesta, liite 10.)*

- *Sijoituspiirustus/tasopiirustus.* Piirustus, josta selviää kenttäkoteloiden, jakorasioiden, lämmityskaapelipiirin kytkentärasian, termostaattien, sekä lämpötilantureiden sijainnit ja niiden väliset kaapeloinnit. Kuvasta selviää myös sähkölämmitysryhmien sijainnit, sekä koteloille tulevat kaapeloinnit. Piirustukseen merkataan myös kaapelireitit, kaapelinumerointi, sekä piiri- ja ryhmätunnukset. Kuvapohjana voidaan käyttää rakennuspiirustus-, aluepiirustus-, tai hyllypiirustus pohjaa.
- *Virtapiiri- ja johdotuskaavio.* Sähkösaattolähdöistä, kenttäkoteloista, vikavirta-kytkinkeskuksista, sekä muista sähkösaattoihin liittyvistä järjestelmistä tulee tehdä virtapiiri- ja johdotuskaaviot. Kaavioista tulee selvittää saattolämmityksen: pääpiirin kytkentä ja pääpiirin kojeet, ohjauksen toiminta, hälytysten kytkentä, ryhmä- ja lähtötunnukset, sekä kaapeleiden kytkentä ja numerointi. Kyseiset kaaviot tehdään usein saattolämmitystyön sijasta kojeisto-, ja keskussuunnittelun yhteydessä. *(Ks. PSK 8101-standardin mukaisia johdotus- ja piirikaavioita, liite 11.)*
- *Kaapeliluettelo.* Sähkölämmityksen syöttö ja ohjauskaapelit lisätään muun sähkösuunnittelun kaapeliluetteloon. Lämmityskaapelit löytyvät sähkösaattotaulukosta, joten niistä ei tarvitse tehdä erillistä luetteloa.
- *Koestuspöytäkirja.* Sähkösaattourakoitsijan asennusten yhteydessä tekemien mittausten perusteella laaditaan koestuspöytäkirja. Koestuspöytäkirjaan kerätään liitteen 12 mukaiset tiedot. *(Ks. PSK 8101-standardin mukainen koestuspöytäkirja, liite 12.)*
- *Loppupiirustukset.* Kentällä asennuksia ei välttämättä pystytä tekemään täysin suunnitelmien mukaisesti. Urakoitsija merkkää mahdollisesti tekemänsä

muutokset piirustuksiin, jonka jälkeen suunnittelija tai urakoitsija itse (urakkasopimuksen mukaisesti) piirtää kuvat puhtaiksi. Lopulliset piirustukset luovutetaan tilaajalle.

- *Räjähdyksivaarallisten tilojen vaatimat asiakirjat.* Räjähdyksivaarallisista tiloista, niissä sijaitsevista sähkölaitteista sekä saatettavista aineista tulee tehdä tietyt dokumentit. Sähköpiirustusten ja koestuspöytäkirjojen lisäksi tulee laatia:
 - o *Tilaluokkapiirustus.* Kuva, josta selviää alueen tilaluokat, tilaluokkien rajat, sekä saatettavien ja ympäröivien aineiden ominaisuudet.
 - o Kartta maadoituksista ja maakaapeleista. Kaavio maadoitusjärjestelmästä ja potentiaalintasausjärjestelmästä, sekä näiden mittauspöytäkirjat.
 - o Ex- laitteiden sertifikaatit, sekä luettelo räjähdysuojatuista sähkölaitteista.

Räjähdyksivaarallisten tilojen dokumentit tehdään usein muun sähkösuunnittelun/sähköistyksen yhteydessä. Sähkölämmityssuunnittelijan tai -urakoitsijan (urakointisopimuksen mukaan) tulee kuitenkin varmistaa, että kyseiset dokumentit löytyvät, ja että ne ovat ajan tasalla. Dokumentit tulee liittää sähkösaattotyön luovutuspiirustuksiin. [2, s. 20...22; 3, s. 48...49.]

15 Sähkösaattotyön prosessikuvaus

Seuraavaksi käsitellään sähkösaattosuunnittelutyön työvaiheita loogisessa järjestyksessä. Työvaiheissa viitataan kyseiseen työvaiheeseen liittyvään teoriaan, joka on käsitelty aiemmin. Sähkösaattotyön prosessikuvauksen työvaiheet esitetään myös vuokaavion muodossa. (*Ks. Sähkösaattotyön prosessikuvauksen vuokaavio, liite 13.*)

15.1 Esisuunnittelu

Projektin esisuunnitteluvaiheessa asiakas määrittelee pääpiirteittäin haluamansa laitoksen ja laitoksen rakenteen. Esisuunnitteluvaiheessa arvioidaan paras vaihtoehto

projektin tekniselle toteutukselle ja laajuudelle. Tavoitteena on tuottaa kustannusarvio projektista. Esisuunnitteluvaiheessa sähkösaattosuunnittelijalla on käytettävänä melko vajavaiset ja suurpiirteiset tiedot kohteesta.

Lähtötietojen pohjalta saadaan alustavasti arvioitua tilavaraukset muuntajille ja muuntamokojeistoille, sähkötilojen tilavaraukset, kenttäkaapelointi ja kaapelireitit, kenttäkotelot sekä muut sähkösaattomateriaalit. Näiden arvioiden avulla päästään tekemään alustava kustannusarvio. Esisuunnitteluvaiheen synnyttämän toteutusmallin pohjalta syntyvän kustannusarvion jälkeen arvioidaan hankkeen kannattavuutta ja tehdään investointipäätös. [17.]

Esisuunnitteluvaiheessa tulee ottaa huomioon ainakin luvussa 2 *Sähkösaattosuunniteluun tarvittavat lähtötiedot*, luvussa 3 *Saattolämmityksen tarkoitus* sekä luvussa 12 *Sähkösaattotyön taloudellisuus* mainitut asiat.

15.2 Perussuunnittelu

Perussuunnitteluvaiheessa päätetään projektin tekniset perusratkaisut ja valmistellaan tulevia hankintoja. Perussuunnitteluvaiheessa rakennettavan laitoksen prosessi ja toiminta tarkentuu, sekä siinä pyritään kentän ja muuntamon yhteensovittamiseen kustannuksia silmälläpitäen. Saattosuunnittelun perussuunnitteluvaiheeseen kuuluu mm.:

- valinta sähkösaaton ja muiden saattomuotojen välillä
- muuntamojen tilavarausten tarkempi suunnitleminen
- sähkösaattojen ohjauseriaatteiden päättäminen (ks. luvut 7.2 *Sähkösaattolähdöt ja 8 Säättö-, ohjaus- suojaus-, ja mittauslaitteet*)
- sähkösaattolähtöjen lukumäärien arvioiminen
- teholaskentaa, sähkösaattojen kuluttaman tehon arvioiminen (ks. luku 5 *Lämmöntarpeen ja lämmitystehon laskenta*)

- kaapelireittien ja hyllymäärien arvioiminen
- saattolämmityspiirin laitteiden alustava suunnittelu (*ks. luku 7 Lämmityspiirin laitteet*)
- irtotavaramäärien arvioiminen (esim. kaapelikiinnikkeet, läpivientiholkit, ruuvit, mutterit, ym.) (*ks. luku 7.3 Lämmityspiirin muut laitteet*)
- asennusurakan suunnittelu. [17.]

Kaikkia putkiosuuksia (haarasta haaraan) ei usein kustannussyistä pystytä toteuttamaan omalla saattopiirillä vaan eri putkiosuuksia joudutaan saattamaan samalla saattopiirillä. Prosessisuunnittelun kanssa on mietittävä mitkä putkiosuudet, materiaalit ja aineet soveltuvat saatettavaksi samalla piirillä.

Perussuunnitteluvaiheessa mietitään myös lämmityskaapeleiden kohdekohtaista valintaa sekä esimerkiksi räjähdysvaarallisten tilojen aiheuttamia rajoitteita ja vaatimuksia. (*Ks. luvut 6 Lämmityskaapelit ja 9 Räjähdysvaarallisten tilojen vaatimukset (ATEX, Ex).*)

15.3 Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnitteluvaiheessa sähkösaattosuunnittelijalla on käytössään lopulliset tiedot ja dokumentit saatettavista kohteista. Tässä vaiheessa saattosuunnittelulla on tarpeelliset tiedot lämmityskohdekohtaisten lämmityskaapelivalintojen tekemiseen. Sähkösaatot suunnitellaan toteutusta ja asennusta varten. Tämän suunnitteluvaiheen jälkeen sähkösaatot ovat valmiita asennettaviksi. Toteutussuunnitteluvaiheessa sähkösaattosuunnittelija tekee lopulliset sähkösaattoihin liittyvät ratkaisut. Alla esitetään järjestyksessä toteutussuunnitteluvaiheessa mietittäviä asioita.

15.3.1 Kohdetiedot

Toteutussuunnitteluvaiheessa sähkösaattosuunnittelulla on käytettävänä tarkat tiedot suunnittelukohteen olosuhteista. Tiedetään ilmastolliset olosuhteet, saatettavien aineiden ominaisuudet ja rajoitteet, syöttävän sähköverkon tiedot, sekä saatettavien

putkilinjojen, että säiliöiden mitat, muodot ja ominaisuudet. Tarkkojen kohdetietojen avulla päästään tekemään tarkat suunnitelmat sähkösaatoille. *(Ks. luku 2 Sähkösaattosuunnitteluun tarvittavat lähtötiedot.)*

15.3.2 Saattolämmitystyyppin valinta käyttötarkoituksen mukaan

Tarkastellaan putkilinja-, ja/tai säiliökohtaisesti kohteen saattolämmitykselle asettamia vaatimuksia ja valitaan saattolämmityksen tyyppi sen mukaisesti. Tehdään valinta sulanapidon, lämpötilan ylläpidon ja lämpötilan noston välillä. *(Ks. luku 3 Saattolämmityksen tarkoitus.)*

15.3.3 Lämmitystarpeen määrittäminen

Jotta lämmityskaapelin metriteho pystytään valitsemaan oikein (jotta pystytään valitsemaan oikea lämmityskaapeli), tulee saatettavan kohteen lämpöhäviöt selvittää mahdollisimman tarkasti. Lämpöhäviöiden suuruuden tarkka määrittäminen on oleellinen tekijä oikean lämpökaapelin valitsemiselle. *(Ks. luku 5 Lämmöntarpeen ja lämmitystehon laskenta.)*

15.3.4 Lämmityskaapelin valinta

Kun lämpöhäviöt on saatu laskettua, päästään itse lämmityskaapelin valintaan. Lämmityskaapeli valitaan siten, että putkea saattavan lämmityskaapelin tai lämmityskaapelien luovuttama kokonaislämmitysenergia vastaa/on suurempi, kuin putken lämpöhäviöiden suuruus. Jos lämmityskaapelien luovuttama lämmitysenergia jää putken lämpöhäviöitä pienemmäksi, ei lämpötilan ylläpitotavoitteita todennäköisesti saavuteta. *(Ks. luku 6 Lämmityskaapelit.)*

15.3.5 Lämmityspiirin säätö-, ohjaus-, suojaus- ja mittauslaitteiden valinta

Jotta saattolämmitys toimisi oikein, tulee lämpötilan mittauslaitteiden olla asennettuna oikeisiin paikkoihin ja säätölaitteiden toiminta-arvojen olla aseteltuna oikein. Säätötapa tulee myös valita kohdekohtaisesti oikein. Lämmityskaapelipiirin lämpötilaa sekä saattopiirin sähköisiä suureita mittaavat suojalaitteet suojaavat saattopiiriä, saatettavaa

kohdetta sekä käyttäjiä. On tärkeää, että kyseiset laitteet toimivat halutulla tavalla. (Ks. luku 8 Säättö-, ohjaus-, suojaus-, ja mittauslaitteet.)

15.3.6 Lämmityskeskusten, kenttäkoteloiden, tarkistusrasioiden ym. komponenttien valinta

Saattolämmityspiirin laitteet sijoitetaan usein omiin kenttäkoteloihin ja keskuksiin, jotka sisältävät vain saattolämmityksiin liittyviä komponentteja. Saattolämmityskeskusten ja kenttäkoteloiden sijoittelussa on oleellista että ne sijoitetaan helposti luokse päästäviin paikkoihin sekä sellaisiin paikkoihin, etteivät ne häiritse muuta toimintaa. (Ks. luku 7 Lämmityspiirin laitteet.)

15.3.7 Toimintavarmuuden tarkastelu

Suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös saattolämmityksen toimintavarmuus. Tiettyissä kohteissa, esimerkiksi henkilöturvallisuuden kannalta, saattolämmityksen on toimittava lämmityksen katkeamatta. (Ks. luku 11.3 Sähkösaattojen toimintavarmuus.)

15.3.8 Sähkösaattomateriaalien hankinta

Kun sähkösaattosuunnitelmat on saatu valmiiksi, on materiaalihankintojen aika. PSK 8101-standardista löytyy materiaalihankintojen tekemistä helpottava hankintaerittely sähkösaattojen kenttäasennuksille. Lomake on tarkoitettu käytettäväksi saattolämmitysten tarjouspyynnössä hankintaerittelynä. Samasta standardista löytyy myös keskusten hankintoja helpottava keskusten hankintalomake. (Ks. Hankintaerittely, liite 14 ja Keskuksen hankinta, liite 15.)

15.3.9 Sähkösaattosuunnitelmien dokumentointi

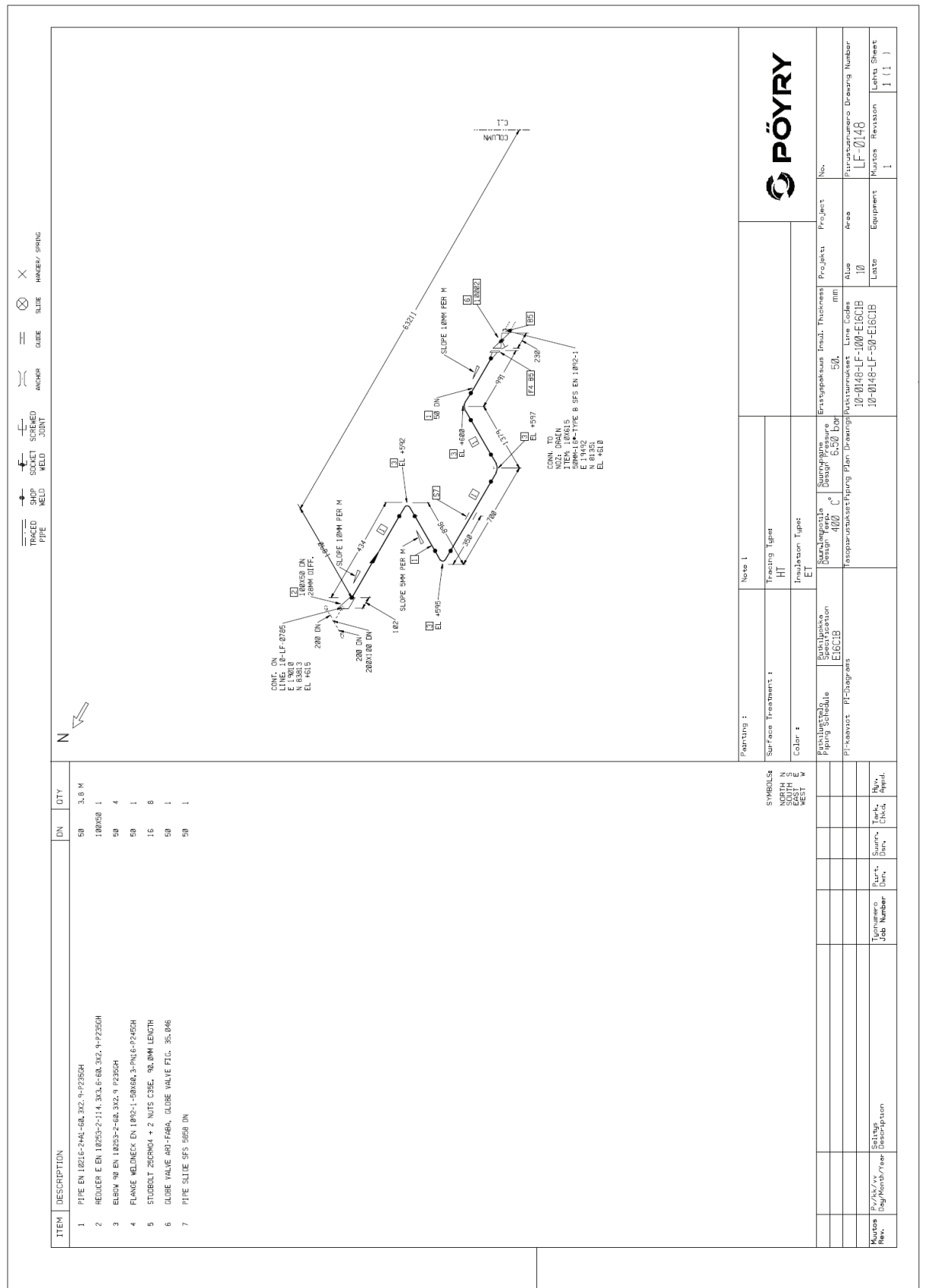
Jotta sähkösaattotyön valmistuttua saattolämmityksen huolto- ja kunnossapitotyöt olisivat mahdollisimman vaivattomia, on oleellista, että suunnitelmien ja asennuksien loppudokumentointi tehdään huolella. (Ks. luku 14 Sähkösaattotyön dokumentointi sekä liitteet 7...12.)

Lähteet

- 1 ST 55.01. Sähkölämmityksen mitoitus. 15.5.2008. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 2 ST- ohjeisto 11. Teollisuuden lämmityskaapelit, suunnittelu ja asennus. 2007. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 3 SFS-EN 60079-30-2. Räjähdyksenvaaralliset tilat. Osa 30-2: Sähkösaatot. Soveltamisohjeita suunnitteluun, asentamiseen ja kunnossapitoon. 23.6.2008. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.
- 4 SFS 3977. Putki-, säiliö- ja laite-eristykset. Mitoitus. 6. painos. 18.8.2008. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.
- 5 Saattolämmitys. Verkkodokumentti. Elfoil.
<<http://www.elfoil.fi/fi/saattol%C3%A4mmitys>>. Luettu 15.3.2012.
- 6 Tuoteluettelo. Verkkodokumentti. Heatchem Oy.
<<http://www.heatchem.com/tuoteluettelo.php?tuoteryhma=17>>. Luettu 26.3.2012.
- 7 Trace heating. Verkkodokumentti. Wikipedia, the free encyclopedia.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Trace_heating>. Luettu 26.3.2012.
- 8 Tuoteluettelo. Verkkodokumentti. Heatchem Oy.
<<http://www.heatchem.com/tuoteluettelo.php?tuoteryhma=19&tuote=27>>. Luettu 30.5.2012.
- 9 Raychem Self Regulating Cables. 18.7.2012. Verkkodokumentti. KSM Trace Heating. <<http://www.traceheating-cables.co.uk/self-regulating-cable.html>>. Luettu 2.4.2012.
- 10 Process Temperature Maintenance. Verkkodokumentti. Tyco Thermal Controls.
<http://www.tycothermal.com/uk/english/heat_tracing/applications/industrial/process_temperature_maintenance/default.aspx>. Luettu 11.4.2012.
- 11 PSK 8101. Saattolämmitykset. Sähkösaattojen hankinta. 14.8.2012. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys Ry.
- 12 Saattolämmitykset. 21.10.2003. Koulutusmateriaali. Sähkötarkastus Fimtekno Oy. Vantaa. Cumulus Airport Hotel.
- 13 SFS-EN 60079-30-1. Räjähdyksenvaaralliset tilat. Osa 30-1: Sähkösaatot. Yleiset ja testausvaatimukset. 23.6.2008. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.
- 14 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 94/9/EY, annettu 23 päivänä maaliskuuta 1994, räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviksi tarkoitettuja laitteita ja suojajärjestelmiä koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä. 20.11.2003.

- 15 Mauri Heikkinen. 2008. ATEX- direktiivi, peruspaketti. Koulutusmateriaali. Pöyry Forest Industry Oy.
- 16 TraceCalc Pro. System Design Software. Verkkodokumentti. Tyco Thermal Controls. <<http://www.tycothermal.com/design-tools/downloadable-tools/trace-calc-pro>>. Luettu 12.6.2012.
- 17 ST 840.00. Sähkösuunnittelun tehtävä- ja dokumenttiluettelo. 15.6.1993. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 18 Putki-isometri. Pöyry Finland Oy.
- 19 Electrical Heat Tracing Systems, Design Guide. Verkkodokumentti. Chromalox. <www.arcoengineering.com/chro/PJ304.AE.pdf>. Luettu 16.3.2012.
- 20 Atex suomeksi. Verkkodokumentti. Malux Finland Oy. <www.malux.fi/fi/luokitukset/briefly_atex.pdf>. Luettu 14.5.2012.
- 21 H600-A (HIQ) Metallivaippaiset vakiovastuslämpökaapelit +600 °C. Verkkodokumentti. Heatchem Oy. <http://www.heatchem.com/tiedostot_tuoteluettelo/0006351_H600-A.pdf>. Luettu 29.3.2012.
- 22 IPS Vakioteho lämpökaapelit + 425 °C. Verkkodokumentti. Heatchem Oy. <http://www.heatchem.com/tiedostot_tuoteluettelo/0926051_IPS.pdf>. Luettu 29.3.2012.
- 23 ILS Itserajoittuvat lämpökaapelit + 200/250 °C. Verkkodokumentti. Heatchem Oy. <http://www.heatchem.com/tiedostot_tuoteluettelo/0130431_ILS.pdf>. Luettu 29.3.2012.
- 24 Sähkösaattoisometri, putki. Pöyry Finland Oy.
- 25 Sähkösaattoisometri, säiliö. Pöyry Finland Oy.

Putki-isometri



Kuva 1. Putki-isometri [18]

Lämpöhäviötaulukko

Taulukko 1. Putken lämpöhäviöt Q_n eristepaksuudella 1" (25,4 mm) ja eristemateriaalista riippuva korjauskerroin [19, s. 2 ja 5]

Nominal Pipe Size, in. (ID) mm (OD)	Temperature Difference Between Pipe and Ambient															
	Deg°F	40°F	50°F	60°F	70°F	80°F	90°F	100°F	120°F	140°F	160°F	180°F	200°F	220°F	240°F	260°F
	Deg°C	23.0°C	28.0°C	33.4°C	39.0°C	44.5°C	50.0°C	55.6°C	66.7°C	77.8°C	88.9°C	100.0°C	111.1°C	122.2°C	133.4°C	144.5°C
1" (25.4 mm) Insulation Thickness																
1/2"	W/ft	1.4	1.8	2.1	2.5	2.8	3.2	3.5	4.2	5.1	5.9	6.6	7.7	8.5	9.2	10.0
21.3 mm	W/m	4.6	5.9	6.9	8.2	9.2	10.5	11.5	13.8	16.7	19.4	21.7	25.3	27.9	30.2	32.8
3/4"	W/ft	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6	4.0	4.8	5.9	6.7	7.6	8.8	9.7	10.6	11.4
26.7 mm	W/m	5.2	6.6	7.9	9.2	10.5	11.8	13.1	15.7	19.4	22.0	24.9	28.9	31.8	34.8	37.4
1"	W/ft	1.8	2.3	2.8	3.2	3.7	4.1	4.6	5.5	6.8	7.7	8.7	10.1	11.1	12.1	13.2
33.4 mm	W/m	5.9	7.5	9.2	10.5	12.1	13.5	15.1	18.0	22.3	25.3	28.5	33.1	36.4	39.7	43.3
1 1/2"	W/ft	2.4	3.1	3.7	4.3	4.9	5.5	6.1	7.3	9.0	10.2	11.5	13.4	14.8	16.1	17.4
48.3 mm	W/m	7.9	10.2	12.1	14.1	16.1	18.0	20.0	24.0	29.5	33.5	37.7	44.0	48.6	52.8	57.1
2"	W/ft	2.8	3.5	4.1	4.8	5.5	6.2	6.9	8.3	10.1	11.6	13.0	15.2	16.7	18.2	19.7
60.3 mm	W/m	9.2	11.5	13.5	15.7	18.0	20.3	22.6	27.2	33.1	38.1	42.7	49.9	54.8	59.7	64.6
2 1/2"	W/ft	3.2	4.0	4.8	5.6	6.4	7.2	8.0	9.6	11.8	13.4	15.1	17.6	19.4	21.1	22.9
73.0 mm	W/m	10.5	13.1	15.7	18.4	21.0	23.6	26.2	31.5	38.7	44.0	49.5	57.7	63.7	69.2	75.1
3"	W/ft	3.7	4.7	5.6	6.5	7.4	8.4	9.3	11.2	13.7	15.6	17.6	20.5	22.5	24.6	26.6
88.9 mm	W/m	12.1	15.4	18.4	21.3	24.3	27.6	30.5	36.7	44.9	51.2	57.7	67.3	73.8	80.7	87.3
4"	W/ft	4.6	5.8	6.9	8.1	9.2	10.4	11.5	13.8	16.9	19.3	21.7	25.3	27.8	30.4	32.9
114.3 mm	W/m	15.1	19.0	22.6	26.6	30.2	34.1	37.7	45.3	55.4	63.3	71.2	83.0	91.2	99.7	107.9
6"	W/ft	6.4	8.0	9.6	11.2	12.8	14.4	16.0	19.2	23.5	26.9	30.2	35.2	38.7	42.2	45.8
168.3 mm	W/m	21.0	26.2	31.5	36.7	42.0	47.2	52.5	63.0	77.1	88.3	99.1	115.5	127.0	138.5	150.3
8"	W/ft	8.1	10.1	12.1	14.1	16.2	18.2	20.2	24.2	29.7	33.9	38.2	44.4	48.9	53.3	57.8
219.1 mm	W/m	26.6	33.1	39.7	46.3	53.2	59.7	66.3	79.4	97.4	111.2	125.3	145.7	160.4	174.9	189.6
10"	W/ft	9.9	12.4	14.8	17.3	19.8	22.2	24.7	29.6	36.3	41.5	46.7	54.3	59.8	65.2	70.6
273.1 mm	W/m	32.5	40.7	48.6	56.8	65.0	72.8	81.0	97.1	119.1	136.2	153.2	178.2	196.2	213.9	231.6
12"	W/ft	11.6	14.5	17.4	20.3	23.2	26.1	29.0	34.8	42.6	48.7	54.8	63.8	70.2	76.6	82.9
323.9 mm	W/m	38.1	47.6	57.1	66.6	76.1	85.6	95.1	114.2	139.8	159.8	179.8	209.3	230.3	251.3	272.0
14"	W/ft	12.6	15.8	19.0	22.1	25.3	28.4	31.6	37.9	46.5	53.1	59.7	69.5	76.5	83.4	90.4
355.6 mm	W/m	41.3	51.8	62.3	72.5	83.0	93.2	103.7	124.3	152.6	174.2	195.9	228.0	251.0	273.6	296.6
16"	W/ft	14.3	17.9	21.5	25.1	28.7	32.3	35.9	43.0	52.7	60.2	67.8	78.9	86.8	94.6	102.5
406.4 mm	W/m	46.9	58.7	70.5	82.4	94.2	106.0	117.8	141.1	172.9	197.5	222.5	258.9	284.8	310.4	336.3
18"	W/ft	16.0	20.1	24.1	28.1	32.1	36.1	40.1	48.1	58.9	67.4	75.8	88.2	97.0	105.9	114.7
457.2 mm	W/m	52.5	65.9	79.1	92.2	105.3	118.4	131.6	157.8	193.3	221.1	248.7	289.4	318.3	347.5	376.3
20"	W/ft	17.7	22.2	26.6	31.0	35.4	39.9	44.3	53.2	65.1	74.4	83.7	97.5	107.2	117.0	126.7
508.0 mm	W/m	58.1	72.8	87.3	101.7	116.1	130.9	145.3	174.5	213.6	244.1	274.6	319.9	351.7	383.9	415.7
22"	W/ft	19.4	24.3	29.1	34.0	38.8	43.7	48.5	58.2	71.3	81.5	91.7	106.7	117.4	128.0	138.7
558.8 mm	W/m	63.7	79.7	95.5	111.6	127.3	143.4	159.1	191.0	233.9	267.4	300.9	350.1	385.2	420.0	455.1
24"	W/ft	21.1	26.4	31.6	36.9	42.2	47.4	52.7	63.2	77.5	88.5	99.6	115.9	127.5	139.1	150.7
609.6 mm	W/m	69.2	86.6	103.7	121.1	138.5	155.5	172.9	207.4	254.3	290.4	326.8	380.3	418.3	456.4	494.4

Pipe Insulation Type	Insulation Adjustment Factor
Glass fiber (ASTM C547)	1.00
Calcium silicate (ASTM C533)	1.48
Cellular glass (ASTM C552)	1.48
Rigid cellular urethane (ASTM C591)	0.64
Foamed elastomer (ASTM C534)	1.16
Mineral fiber blanket (ASTM C553)	1.16
Expanded perlite (ASTM C610)	1.90

Taulukko 2. Putken lämpöhäviöt Q_n eristepaksuudella 1,5" (38 mm) ja eristemateriaalista riippuva korjauskerroin [19, s. 3 ja 5]

Nominal Pipe Size, in. (ID) mm (OD)	Temperature Difference Between Pipe and Ambient															
	Deg°F	40°F	50°F	60°F	70°F	80°F	90°F	100°F	120°F	140°F	160°F	180°F	200°F	220°F	240°F	260°F
	Deg°C	23.0°C	28.0°C	33.4°C	39.0°C	44.5°C	50.0°C	55.6°C	66.7°C	77.8°C	88.9°C	100.0°C	111.1°C	122.2°C	133.4°C	144.5°C
1.5" (38 mm) Insulation Thickness																
1/2"	W/ft	1.1	1.4	1.7	2.0	2.2	2.5	2.8	3.5	4.1	4.7	5.5	6.2	6.8	7.4	8.0
21.3 mm	W/m	3.6	4.6	5.6	6.6	7.2	8.2	9.2	11.5	13.5	15.4	18.0	20.3	22.3	24.3	26.2
3/4"	W/ft	1.2	1.6	1.9	2.2	2.5	2.8	3.1	3.9	4.6	5.2	6.1	6.8	7.5	8.2	8.9
26.7 mm	W/m	3.9	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	12.8	15.1	17.1	20.0	22.3	24.6	26.9	29.2
1"	W/ft	1.4	1.8	2.2	2.5	2.9	3.2	3.6	4.5	5.3	6.0	7.1	7.9	8.7	9.5	10.3
33.4 mm	W/m	4.6	5.9	7.2	8.2	9.5	10.5	11.8	14.8	17.4	19.7	23.3	25.9	28.5	31.2	33.8
1 1/2"	W/ft	1.8	2.3	2.8	3.2	3.7	4.1	4.6	5.8	6.8	7.7	9.1	10.1	11.1	12.1	13.2
48.3 mm	W/m	5.9	7.5	9.2	10.5	12.1	13.5	15.1	19.0	22.3	25.3	29.9	33.1	36.4	39.7	43.3
2"	W/ft	2.1	2.6	3.1	3.6	4.2	4.7	5.2	6.6	7.6	8.7	10.3	11.4	12.6	13.7	14.9
60.3 mm	W/m	6.9	8.5	10.2	11.8	13.8	15.4	17.1	21.7	24.9	28.5	33.8	37.4	41.3	44.9	48.9
2 1/2"	W/ft	2.4	3.0	3.5	4.1	4.7	5.3	5.9	7.4	8.7	9.9	11.7	13.0	14.3	15.6	16.9
73.0 mm	W/m	7.9	9.8	11.5	13.5	15.4	17.4	19.4	24.3	28.5	32.5	38.4	42.7	46.9	51.2	55.4
3"	W/ft	2.7	3.4	4.1	4.8	5.4	6.1	6.8	8.6	10.0	11.4	13.5	15.0	16.5	18.0	19.4
88.9 mm	W/m	8.9	11.2	13.5	15.7	17.7	20.0	22.3	28.2	32.8	37.4	44.3	49.2	54.1	59.1	63.7
4"	W/ft	3.3	4.2	5.0	5.8	6.6	7.5	8.3	10.5	12.2	13.9	16.4	18.3	20.1	21.9	23.7
114.3 mm	W/m	10.8	13.8	16.4	19.0	21.7	24.6	27.2	34.5	40.0	45.6	53.8	60.0	65.9	71.9	77.8
6"	W/ft	4.5	5.7	6.8	7.9	9.0	10.2	11.3	14.2	16.6	19.0	22.4	24.9	27.3	29.8	32.3
168.3 mm	W/m	14.8	18.7	22.3	25.9	29.5	33.5	37.1	46.6	54.5	62.3	73.5	81.7	89.6	97.8	106.0
8"	W/ft	5.6	7.1	8.5	9.9	11.3	12.7	14.1	17.8	20.7	23.7	27.9	31.0	34.1	37.2	40.3
219.1 mm	W/m	18.4	23.3	27.9	32.5	37.1	41.7	46.3	58.4	67.9	77.8	91.5	101.7	111.9	122.1	132.2
10"	W/ft	6.8	8.0	10.3	12.0	13.7	15.4	17.1	21.5	25.1	28.7	33.9	37.6	41.4	45.1	48.9
273.1 mm	W/m	22.3	26.2	33.8	39.4	44.9	50.5	56.1	70.5	82.4	94.2	111.2	123.4	135.8	148.0	160.4
12"	W/ft	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	25.2	29.4	33.6	39.6	44.0	48.4	52.8	57.2
323.9 mm	W/m	26.2	32.8	39.4	45.9	52.5	59.1	65.6	82.7	96.5	110.2	129.9	144.4	158.8	173.2	187.7
14"	W/ft	8.7	10.9	13.0	15.2	17.4	19.5	21.7	27.3	31.9	36.5	43.0	47.7	52.5	57.3	62.1
355.6 mm	W/m	28.5	35.8	42.7	49.9	57.1	64.0	71.2	89.6	104.7	119.8	141.1	156.5	172.3	188.0	203.8
16"	W/ft	9.8	12.3	14.8	17.2	19.7	22.1	24.6	31.0	36.2	41.3	48.7	54.1	59.5	64.9	70.4
406.4 mm	W/m	32.2	40.4	48.6	56.4	64.6	72.5	80.7	101.7	118.8	135.5	159.8	177.5	195.2	212.9	231
18"	W/ft	11.0	13.7	16.4	19.2	21.9	24.7	27.4	34.5	40.3	46.0	54.3	60.3	66.3	72.3	78.4
457.2 mm	W/m	36.1	44.9	53.8	63.0	71.9	81.0	89.9	113.2	132.2	150.9	178.2	197.8	217.5	237.2	257.2
20"	W/ft	12.1	15.1	18.1	21.1	24.2	27.2	30.2	38.1	44.4	50.7	59.8	66.4	73.1	79.7	86.4
508.0 mm	W/m	39.7	49.5	59.4	69.2	79.4	89.2	99.1	125.0	145.7	166.3	196.2	217.9	239.8	261.5	283.5
22"	W/ft	13.2	16.5	19.8	23.1	26.4	29.7	33.0	41.6	48.5	55.4	65.3	72.6	79.9	87.1	94.4
558.8 mm	W/m	43.3	54.1	65.0	75.8	86.6	97.4	108.3	136.5	159.1	181.8	214.2	238.2	262.2	285.8	309.7
24"	W/ft	14.3	17.9	21.5	25.1	28.6	32.2	35.8	45.1	52.6	60.1	70.9	78.8	86.6	94.5	102.4
609.6 mm	W/m	46.9	58.7	70.5	82.4	93.8	105.6	117.5	148.0	172.6	197.2	232.6	258.5	284.1	310.1	336.0
Pipe Insulation Type		Insulation Adjustment Factor														
Glass fiber (ASTM C547)		1.00														
Calcium silicate (ASTM C533)		1.48														
Cellular glass (ASTM C552)		1.48														
Rigid cellular urethane (ASTM C591)		0.64														
Foamed elastomer (ASTM C534)		1.16														
Mineral fiber blanket (ASTM C553)		1.16														
Expanded perlite (ASTM C610)		1.90														

Taulukko 3. Putken lämpöhäviöt Q_n eristepaksuudella 2" (50,8 mm) ja eristemateriaalista riippuva korjauskerroin [19, s. 4 ja 5]

Nominal Pipe Size, in. (ID) mm (OD)	Temperature Difference Between Pipe and Ambient															
	Deg°F	40°F	50°F	60°F	70°F	80°F	90°F	100°F	120°F	140°F	160°F	180°F	200°F	220°F	240°F	260°F
	Deg°C	23.0°C	28.0°C	33.4°C	39.0°C	44.5°C	50.0°C	55.6°C	66.7°C	77.8°C	88.9°C	100.0°C	111.1°C	122.2°C	133.4°C	144.5°C
2" (50.8mm) Insulation Thickness																
1/2"	W/ft	1.0	1.2	1.4	1.7	1.9	2.2	2.4	3.0	3.5	4.0	4.8	5.3	5.8	6.3	7.2
21.3 mm	W/m	3.3	3.9	4.6	5.6	6.2	7.2	7.9	9.8	11.5	13.1	15.7	17.4	19.0	20.7	23.6
3/4"	W/ft	1.1	1.4	1.6	1.9	2.2	2.4	2.7	3.4	4.0	4.5	5.3	5.9	6.5	7.1	8.1
26.7 mm	W/m	3.6	4.6	5.2	6.2	7.2	7.9	8.9	11.2	13.1	14.8	17.4	19.4	21.3	23.3	26.6
1"	W/ft	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.8	4.4	5.0	5.9	6.6	7.3	7.9	9.0
33.4 mm	W/m	3.9	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9	9.8	12.5	14.4	16.4	19.4	21.7	24.0	25.9	29.5
1 1/2"	W/ft	1.5	1.9	2.3	2.7	3.0	3.4	3.8	4.8	5.6	6.4	7.5	8.4	9.2	10.0	11.4
48.3 mm	W/m	4.9	6.2	7.5	8.9	9.8	11.2	12.5	15.7	18.4	21.0	24.6	27.6	30.2	32.8	37.4
2"	W/ft	1.7	2.2	2.6	3.0	3.4	3.9	4.3	5.4	6.3	7.2	8.5	9.5	10.4	11.4	12.9
60.3 mm	W/m	5.6	7.2	8.5	9.8	11.2	12.8	14.1	17.7	20.7	23.6	27.9	31.2	34.1	37.4	42.3
2 1/2"	W/ft	1.9	2.4	2.9	3.4	3.8	4.3	4.8	6.0	7.1	8.1	9.5	10.6	11.6	12.7	14.4
73.0 mm	W/m	6.2	7.9	9.5	11.2	12.5	14.1	15.7	19.7	23.3	26.6	31.2	34.8	38.1	41.7	47.2
3"	W/ft	2.2	2.8	3.3	3.9	4.4	5.0	5.5	6.9	8.1	9.2	10.9	12.1	13.3	14.5	16.4
88.9 mm	W/m	7.2	9.2	10.8	12.8	14.4	16.4	18.0	22.6	26.6	30.2	35.8	39.7	43.6	47.6	53.8
4"	W/ft	2.6	3.3	4.0	4.6	5.3	5.9	6.6	8.3	9.7	11.1	13.1	14.5	16.0	17.4	19.7
114.3 mm	W/m	8.5	10.8	13.1	15.1	17.4	19.4	21.7	27.2	31.8	36.4	43.0	47.6	52.5	57.1	64.6
6"	W/ft	3.6	4.5	5.3	6.2	7.1	8.0	8.9	11.2	13.1	15.0	17.6	19.6	21.5	23.5	26.6
168.3 mm	W/m	11.8	14.8	17.4	20.3	23.3	26.2	29.2	36.7	43.0	49.2	57.7	64.3	70.5	77.1	87.3
8"	W/ft	4.4	5.6	6.7	7.8	8.9	10.0	11.1	14.0	16.3	18.6	22.0	24.4	26.9	29.3	33.2
219.1 mm	W/m	14.4	18.4	22.0	25.6	29.2	32.8	36.4	45.9	53.5	61.0	72.2	80.1	88.3	96.1	108.9
10"	W/ft	5.3	6.7	8.0	9.3	10.6	12.0	13.3	16.8	19.6	22.3	26.3	29.3	32.2	35.1	39.8
273.1 mm	W/m	17.4	22.0	26.2	30.5	34.8	39.4	43.6	55.1	64.3	73.2	86.3	96.1	105.6	115.2	130.6
12"	W/ft	6.2	7.8	9.3	10.9	12.4	14.0	15.5	19.5	22.8	26.0	30.7	34.1	37.5	40.9	46.3
323.9 mm	W/m	20.3	25.6	30.5	35.8	40.7	45.9	50.9	64.0	74.8	85.3	100.7	111.9	123.0	134.2	151.9
14"	W/ft	6.7	8.4	10.1	11.8	13.4	15.1	16.8	21.2	24.7	28.2	33.3	37.0	40.7	44.4	50.2
355.6 mm	W/m	22.0	27.6	33.1	38.7	44.0	49.5	55.1	69.6	81.0	92.5	109.3	121.4	133.5	145.7	164.7
16"	W/ft	7.6	9.5	11.3	13.2	15.1	17.0	18.9	23.8	27.8	31.8	37.4	41.6	45.7	49.9	56.5
406.4 mm	W/m	24.9	31.2	37.1	43.3	49.5	55.8	62.0	78.1	91.2	104.3	122.7	136.5	149.9	163.7	185.4
18"	W/ft	8.4	10.5	12.6	14.7	16.8	18.9	21.0	26.5	30.9	35.3	41.6	46.2	50.8	55.4	62.8
457.2 mm	W/m	27.6	34.5	41.3	48.2	55.1	62.0	68.9	86.9	101.4	115.8	136.5	151.6	166.7	181.8	206.0
20"	W/ft	9.2	11.6	13.9	16.2	18.5	20.8	23.1	29.1	34.0	38.8	45.7	50.8	55.9	61.0	69.1
508.0 mm	W/m	30.2	38.1	45.6	53.2	60.7	68.2	75.8	95.5	111.6	127.3	149.9	166.7	183.4	200.1	226.7
22"	W/ft	10.1	12.6	15.2	17.7	20.2	22.7	25.3	31.8	37.1	42.4	50.0	55.6	61.1	66.7	75.5
558.8 mm	W/m	33.1	41.3	49.9	58.1	66.3	74.5	83.0	104.3	121.7	139.1	164.1	182.4	200.5	218.8	247.7
24"	W/ft	11.0	13.7	16.4	19.2	21.9	24.7	27.4	34.5	40.3	46.0	54.3	60.3	66.3	72.3	81.9
609.6 mm	W/m	36.1	44.9	53.8	63.0	71.9	81.0	89.9	113.2	132.2	150.9	178.2	197.8	217.5	237.2	268.7
Pipe Insulation Type		Insulation Adjustment Factor														
Glass fiber (ASTM C547)		1.00														
Calcium silicate (ASTM C533)		1.48														
Cellular glass (ASTM C552)		1.48														
Rigid cellular urethane (ASTM C591)		0.64														
Foamed elastomer (ASTM C534)		1.16														
Mineral fiber blanket (ASTM C553)		1.16														
Expanded perlite (ASTM C610)		1.90														

Taulukko 4. Putken lämpöhäviöt Q_n eristepaksuudella 3" (76,2 mm) ja eristemateriaalista riippuva korjauskerroin [19, s. 5]

Nominal Pipe Size, in. (ID) mm (OD)	Temperature Difference Between Pipe and Ambient															
	Deg°F	40°F	50°F	60°F	70°F	80°F	90°F	100°F	120°F	140°F	160°F	180°F	200°F	220°F	240°F	260°F
	Deg°C	23.0°C	28.0°C	33.4°C	39.0°C	44.5°C	50.0°C	55.6°C	66.7°C	77.8°C	88.9°C	100.0°C	111.1°C	122.2°C	133.4°C	144.5°C
3" (76.2 mm) Insulation Thickness																
1/2"	W/ft	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	2.9	3.4	4.0	4.4	4.8	5.5	6.0
21.3 mm	W/m	2.6	3.3	3.9	4.6	5.2	5.9	6.6	8.2	9.5	11.2	13.1	14.4	15.7	18.0	19.7
3/4"	W/ft	0.9	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.8	3.2	3.7	4.4	4.8	5.3	6.1	6.6
26.7 mm	W/m	3.0	3.6	4.3	4.9	5.9	6.6	7.2	9.2	10.5	12.1	14.4	15.7	17.4	20.0	21.7
1"	W/ft	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.3	2.5	3.2	3.7	4.2	5.0	5.5	6.1	6.9	7.5
33.4 mm	W/m	3.3	4.3	4.9	5.9	6.6	7.5	8.2	10.5	12.1	13.8	16.4	18.0	20.0	22.6	24.6
1 1/2"	W/ft	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.8	4.4	5.0	5.9	6.6	7.3	8.3	9.0
48.3 mm	W/m	3.9	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9	9.8	12.5	14.4	16.4	19.4	21.7	24.0	27.2	29.5
2"	W/ft	1.3	1.7	2.0	2.3	2.6	3.0	3.3	4.2	4.9	5.5	6.5	7.3	8.0	9.1	9.9
60.3 mm	W/m	4.3	5.6	6.6	7.5	8.5	9.8	10.8	13.8	16.1	18.0	21.3	24.0	26.2	29.9	32.5
2 1/2"	W/ft	1.5	1.9	2.2	2.6	3.0	3.3	3.7	4.7	5.4	6.2	7.3	8.1	9.0	10.2	11.1
73.0 mm	W/m	4.9	6.2	7.2	8.5	9.8	10.8	12.1	15.4	17.7	20.3	24.0	26.6	29.5	33.5	36.4
3"	W/ft	1.7	2.1	2.5	2.9	3.4	3.8	4.2	5.3	6.2	7.1	8.3	9.2	10.2	11.6	12.6
88.9 mm	W/m	5.6	6.9	8.2	9.5	11.2	12.5	13.8	17.4	20.3	23.3	27.2	30.2	33.5	38.1	41.3
4"	W/ft	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.3	7.4	8.4	9.9	11.0	12.1	13.8	15.0
114.3 mm	W/m	6.6	8.2	9.8	11.5	13.1	14.8	16.4	20.7	24.3	27.6	32.5	36.1	39.7	45.3	49.2
6"	W/ft	2.6	3.3	3.9	4.6	5.2	5.9	6.5	8.2	9.6	10.9	12.9	14.3	15.7	17.9	19.4
168.3 mm	W/m	8.5	10.8	12.8	15.1	17.1	19.4	21.3	26.9	31.5	35.8	42.3	46.9	51.5	58.7	63.7
8"	W/ft	3.2	4.0	4.8	5.6	6.4	7.2	8.0	10.1	11.8	13.4	15.8	17.6	19.4	22.1	23.9
219.1 mm	W/m	10.5	13.1	15.7	18.4	21.0	23.6	26.2	33.1	38.7	44.0	51.8	57.7	63.7	72.5	78.4
10"	W/ft	3.8	4.8	5.7	6.7	7.6	8.6	9.5	12.0	14.0	16.0	18.8	20.9	23.0	26.2	28.4
273.1 mm	W/m	12.5	15.7	18.7	22.0	24.9	28.2	31.2	39.4	45.9	52.5	61.7	68.6	75.5	86.0	93.2
12"	W/ft	4.4	5.5	6.5	7.6	8.7	9.8	10.9	13.7	16.0	18.3	21.6	24.0	26.4	30.1	32.6
323.9 mm	W/m	14.4	18.0	21.3	24.9	28.5	32.2	35.8	44.9	52.5	60.0	70.9	78.7	86.6	98.8	107.0
14"	W/ft	4.7	5.9	7.1	8.3	9.4	10.6	11.8	14.9	17.3	19.8	23.4	26.0	28.6	32.6	35.3
355.6 mm	W/m	15.4	19.4	23.3	27.2	30.8	34.8	38.7	48.9	56.8	65.0	76.8	85.3	93.8	107.0	115.8
16"	W/ft	5.3	6.7	8.0	9.3	10.6	12.0	13.3	16.8	19.6	22.3	26.3	29.3	32.2	36.7	39.8
406.4 mm	W/m	17.4	22.0	26.2	30.5	34.8	39.4	43.6	55.1	64.3	73.2	86.3	96.1	105.6	120.4	130.6
18"	W/ft	5.9	7.4	8.8	10.3	11.8	13.2	14.7	18.5	21.6	24.7	29.1	32.3	35.6	40.6	44.0
457.2 mm	W/m	19.4	24.3	28.9	33.8	38.7	43.3	48.2	60.7	70.9	81.0	95.5	106.0	116.8	133.2	144.4
20"	W/ft	6.4	8.1	9.7	11.3	12.9	14.5	16.1	20.3	23.7	27.0	31.9	35.4	39.0	44.4	48.1
508.0 mm	W/m	21.0	26.6	31.8	37.1	42.3	47.6	52.8	66.6	77.8	88.6	104.7	116.1	128.0	145.7	157.8
22"	W/ft	7.0	8.8	10.5	12.3	14.0	15.8	17.5	22.1	25.7	29.4	34.7	38.5	42.4	48.3	52.3
558.8 mm	W/m	23.0	28.9	34.5	40.4	45.9	51.8	57.4	72.5	84.3	96.5	113.9	126.3	139.1	158.5	171.6
24"	W/ft	7.6	9.5	11.3	13.2	15.1	17.0	18.9	23.8	27.8	31.8	37.4	41.6	45.7	52.2	56.5
609.6 mm	W/m	24.9	31.2	37.1	43.3	49.5	55.8	62.0	78.1	91.2	104.3	122.7	136.5	149.9	171.3	185.4

Pipe Insulation Type	Insulation Adjustment Factor
Glass fiber (ASTM C547)	1.00
Calcium silicate (ASTM C533)	1.48
Cellular glass (ASTM C552)	1.48
Rigid cellular urethane (ASTM C591)	0.64
Foamed elastomer (ASTM C534)	1.16
Mineral fiber blanket (ASTM C553)	1.16
Expanded perlite (ASTM C610)	1.90

ATEX suomeksi




ATEX suomeksi

Alkupuhe

Heinäkuun 1. päivästä 2003 lähtien kaikkien räjähdyturvallisten laitteiden tulee olla ATEX-direktiivin mukaisesti tyyppihyväksytyjä, jotta niitä saa valmistaa ja toimittaa EU-alueen sisällä.

Uudessa EG-Ex-Frame Direktiivissä 94/9 EG(ATEX 95a) räjähdysvaarallinen pöly on uutena asiana liitetty mukaan.

Räjähdyturvallisten sähkölaitteiden standardit

Kaasu			Pöly		
Tilaluokka	Standardi	Merkintä	Tilaluokka	Standardi	Merkintä
0	EN 50284	II 1 G	20	EN 50281	II 1 D
1	EN 50014-20	II 2 G	21	EN 50281	II 2 D
2	EN 50021	II 3 G	22	EN 50281	II 3 D

Alueet, jotka katsotaan kuuluviksi räjähdysvaarallisten tilojen piiriin, on jaettu tilaluokkiin

Palavat aineet	Tilat	Tilaluokat CENELEC/IEC mukaan
Kaasu, höyry, sumu	Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdykelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein	Tilaluokka 0
Kaasu, höyry, sumu	Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdykelpoinen ilmaseos todennäköisesti esiintyy normaali toiminnassa satunnaisesti.	Tilaluokka 1
Kaasu, höyry, sumu	Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdykelpoisen ilmaseoksen esiintyminen on normaali toiminnassa epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan.	Tilaluokka 2
Pöly	Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdykelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti ja usein.	Tilaluokka 20
Pöly	Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdykelpoinen ilmaseos todennäköisesti esiintyy normaali toiminnassa satunnaisesti.	Tilaluokka 21
Pöly	Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdykelpoisen ilmaseoksen esiintyminen normaali toiminnassa on epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan.	Tilaluokka 22

Huomautukset:

- Pölykerroksiin, -kertymiin, ja kasaantumiin on suhtauduttava kuten mihin tahansa lähteeseen, joka saattaa aiheuttaa räjähdykelpoisen ilmaseoksen.
- Normaali toiminnalla tarkoitetaan tilannetta, jossa laitetta käytetään suunnitteluarvojen sallimissa rajoissa.

Tarkemmat tiedot ATEX direktiivistä löytyy kotisivuillemme www.malux.fi tai soittamalla meille (019) 5745 700.

ATEX-laitteiden ryhmittely, luokittelu ja merkinnät

Ryhmä I kaivoslaitteet – Luokat M1 ja M2

Ryhmä II palavat kaasut ja pölyt – Luokat 1, 2, 3

Palavat aineet	Tilaluokat CENELEC/IEC	Laite-ryhmä	Laite-luokka	Laitte-merkintä
Kaasu, höyry, sumu	Tilaluokka 0	II	1 G	II 1 G
Kaasu, höyry, sumu	Tilaluokka 1	II	2 G	II 2 G
Kaasu, höyry, sumu	Tilaluokka 2	II	3 G	II 3 G
Pöly	Tilaluokka 20	II	1 D	II 1 D
Pöly	Tilaluokka 21	II	2 D	II 2 D
Pöly	Tilaluokka 22	II	3 D	II 3 D

Lämpötilaluokat - kaasu

Räjähdyturvallisten laitteiden luokitus lämpötilaluokkiin T1–T6.

Syttymislämpötila, on alhaisin lämpötila, jonka on oltava laitteen pinnalla, jotta jokin tietty kaasusekoitus pystyy syttymään. Laitteen pinnan maksimi lämpötila on aina oltava alhaisempi kuin kaasusekoituksen syttymislämpötila. Yleisesti voidaan sanoa että räjähdyturvallisten laitteiden on oltava sopivia ympäristölämpötilaan $-20^{\circ}\text{C}...+40^{\circ}\text{C}$.

Lämpötilaluokka	Suurin sallittu pintalämpötila
T 1	450 °C
T 2	300 °C
T 3	200 °C
T 4	135 °C
T 5	100 °C
T 6	85 °C

Lämpötilamerkinnot D (pöly) laitteille.

Räjähdysvaarallisissa polyisissä ympäristöissä käytettävät laitteet merkitään suurimmalla pintalämpötilalla Txx °C.

D laitteille on myös ilmoitettava kotelon IP luokitus. Vaatimus on IP6x (Tilaluokat 20 ja 21) ja IP5x (Tilaluokka 22)

Valintasäännöt

Sähkölaitteiden valintasäännöt sähköturvallisuusmääräysten §14:n mukaan muuttuu 30.6.2003 ja 1.7.2003 on noudatettava standardi SFS-EN 60079-14 määräyksiä.

Käytännössä tämä merkitsee muutoksia laitevalinnoissa esim. Tilaluokka 2:n tiloissa. Vanhojen määräysten mukaan Tilaluokka 2:n tiloihin riitti IP54 koteloitiluokan valaisin – uusien määräysten mukaan voidaan Tilaluokkaan 2 asentaa seuraavia sähkölaitteita:

- Tilaluokkien 0 tai 1 sähkölaitteita
- erityisesti Tilaluokkaan 2 suunniteltuja laitteita (esim. suojarakenne "n" standardin SFS-EN 50021 mukaan) tai
- sähkölaitteita, jotka täyttävät teollisuuslaitteita koskevien standardien vaatimukset, ja joissa normaali käytössä ei esiinny sytyttämiseen pystyviä kuumia pintoja ja
 - 1) jotka normaali toiminnassa eivät aiheuta valokaaria tai kipinöitä, tai
 - 2) jotka normaali toiminnassa aiheuttavat valokaaria tai kipinöitä, mutta piiriin (kaapelointi mukaanlukien) sähköiset parametrit (U, I, L, C) eivät ylitä standardissa SFS EN-50020 määriteltyjä arvoja varmuuskertoimella 1. Arvioinnissa on noudatettava standardissa SFS EN50021 annettuja vaatimuksia rajoitetun energian laitteille ja piireille.

Sarjaresistanssikaapeli (vakiovastuskaapeli)

H600-A (HIQ)

Metallivaipaiset vakiovastuslämpökaapelit +600 °C
Mineral-insulated series resistance heating cables +600 °C



Putkien, säiliöiden ja kuljettimien saattolämmityksiin ja korkeiden prosessilämpötilojen ylläpitoon ja lämpötilojen nostoon. Myös kemikaalienkestoa vaativiin kohteisiin. Ylläpitolämpötilat aina +500 °C saakka ja kaapelin ulkopuolisten lämpötilojen kesto +600 °C
H600 -kaapelin tyypillisimpiä käyttökohteita ovat bitumilaitokset, erittäin raskaan polttoöljyn putkistot ja muut korkeampaa metritehoa vaativat kohteet. Erityisesti kohteisiin joissa AISI321 -vaippa ei riitä - kosteat ja samalla syövyttävät.

Ulkovaippa 2.4816 (INCONEL600)
Magnesiumoksidi eristekerros
Nikkelikromi johdin
Nimellisjännite 500V
Minimi taivutussäde 6x kaapelin ulkohalkaisija
Minimi kaapelijako 50 mm
Minimi asennuslämpötila -60 °C



Heat tracing of pipelines, vessels, tanks and high process temperature maintenance and temperature rising applications. Also for chemically harsh places. Maintenance up to +500 °C and maximum allowable sheath temperature up to +600 °C. H600 -cables are typically used on bitume plants, oil refineries, very heavy fuel oil pipelines and places where high performance output is needed. Specially for applications where AISI321 sheath is not enough - wet and at same time chemically harsh.

Outer sheath 2.4816 (INCONEL600)
Magnesium oxide insulation
Nichrome conductor
Nominal voltage 500V
Minimum bending radius 6x outside diameter
Minimum cable spacing 50 mm
Minimum installation temperature -60 °C

Ex II 2G EEx e II T6-T1

SIRA 02 ATEX 3260X

Lämpötilaluokka selvitetään mitoituksen yhteydessä

Actual T class temperature determined by design

Kaapelin tyyppi Cable reference	Ulko-halkaisija Outer diameter (mm)	Johdin halkaisija Conductor diameter (mm)	Resistanssi @ +25 °C Resistance @ +25 °C (ohm/m)	Vyyhden pituus Coil length (m)	Paino Weight (kg/km)
H600-A10K	3.2	0.37	10	268	39
H600-A6300	3.2	0.47	6.3	268	39
H600-A4000	3.2	0.59	4.0	268	39
H600-A2500	3.4	0.74	2.5	237	46
H600-A1600	3.6	0.93	1.6	205	52
H600-A1000	3.9	1.17	1.0	176	62
H600-A630	4.3	1.48	0.63	140	78
H600-A400	4.7	1.85	0.40	119	96
H600-A250	5.3	2.35	0.25	94	127
H600-A160	6.5	2.93	0.16	63	191

Kylmäkaapeli Cold lead-in cable	Halkaisija Diameter	Poikkipinta Cross-section	Holkikoko Gland size	Pituus Length	Maksimi kuorma Maximum load
KKxx-AISI-Mxx	5.0-6.0 mm	xx mm ²	M20(M25)	0.5-1.0 m	ota yhteyttä/contact us

Rinnakkaisresistanssikaapeli (vakiotehokaapeli)

IPS

Vakioteho lämpökaapelit +425 °C
Powerheat cables +425 °C



Putkien, säiliöiden ja muiden teollisuuden kohteiden erittäin korkeaa ylläpitoa vaativiin lämmityksiin. Ylläpitolämpötilat aina +325 °C saakka ja kaapelin kesto ulkopuolisia lämpötiloja +425 °C. Voidaan katkaista haluttuun pituuteen rinnakkaisrakenteen ansiosta. Vaatii rajoitustermostaatin Ex-tiloissa.

Ulkovaippa alumiinia
Korkean lämpötilan lasikuitueriste
Nikkelikromi lämpöelementti
Johtimet rinnakkaisyhteyty
Korkean lämpötilan lasikuitueriste
Kuparijohtimet 3mm²
Nimellisjännite 230V
Minimi taivutussäde 25 mm
Minimi asennuslämpötila -40 °C



Heat tracing of pipelines, tanks and other industrial applications where high temperature maintenance is needed. Maintenance up to +325 °C and max. sheath temperature +425 °C. Can be cut to length at random thanks to its parallel circuit configuration. Limiter needed in ex-applications.

Overjacket aluminium
High temperature glass fibre and mica insulation
Nichrome heating element
Parallel circuit connection
High temperature glass fibre and mica insulation
Stranded copper conductors 3mm²
Nominal voltage 230V
Minimum bending radius 25 mm
Minimum installation temperature -40 °C

II 2GD EEx e II T5/T4/T3/T2/T1 (kts.taulukko/see table)

SIRA 02 ATEX 3079

Kaapelin tyyppi	Metriteho	Lämpötila-kestoisuus (päällä/pois)	Maksimi asennuspituus	Koko	Paino
Cable reference	Power per metre	Max. allowable temperature (on/off)	Maximum installation length	Size	Weight
	(W/m)	(°C)	(m)	(mm)	(kg/km)
IPS152A	15	340/425	118	10.0x7.0	165
IPS302A	30	340/425	83	10.0x7.0	165
IPS502A	50	340/425	64	10.0x7.0	165
IPS1002A	100	340/425	46	10.0x7.0	165
IPS1502A	150	340/425	37	10.0x7.0	165

Max.putki/kohdelämpötila °C Max.pipe/workpiece temp. Ex-tilaluokitus/Ex area class	T6	T5	T4	T3	T2	T1
IPS152A	-	36	71	160	289	350
IPS302A	-	11	28	100	246	323
IPS502A	-	-	-	39	178	276
IPS1002A	-	-	-	-	48	140
IPS1502A	-	-	-	-	-	36

Tilauskoodi	Kuvaus	Description
Reference code		
TK-AHT	EExe päätepakkaus M20 holkilla	EExe connection/end set with M20 gland

Itserajoittuva lämmityskaapeli

ILS

Itserajoittuvat lämpökaapelit +200/250 °C
Self limiting heating cables +200/250 °C



Putkien, säiliöiden ja muiden teollisuuden kohteiden erittäin korkeaa ylläpitoa vaativiin lämmityksiin. Ylläpitolämpötilat aina +190 °C saakka ja kaapelin kesto ulkopuolisia lämpötiloja +250 °C. Ei käyttörajoitustunteja. Hyvä kemikaalienkesto fluoropolymeeriävaipan ansiosta. Voidaan katkaista haluttuun pituuteen rinnakkaisrakenteen ansiosta. Voidaan käyttää ex-tiloissa ilman rajoitus-termostaattia.

Ulkovaippa fluoropolymeeri
Suojapunos nikkelöityä kuparia
Fluoropolymeeri eristekerros
Itserajoittuva elementti
Nikkelikupari johtimet 1.25mm2
Nimellisjännite 230 V
Minimi taivutussäde -20°C 30 mm
Minimi asennuslämpötila -40 °C



Heat tracing of pipelines, tanks and other industrial applications where very high temperature maintenance is needed. Maintenance up to +190 °C and sheath temperature +250 °C. No cumulative hours. Good chemical resistance with fluoropolymer sheath. Can be cut to length at random thanks to its parallel circuit configuration. Can be used in explosive areas without temperature limiter.

Overjacket fluoropolymer
Earth braiding nickel plated copper
Fluoropolymer insulation
Self limiting element
Bus wire of tinned copper 1.25mm2
Nominal voltage 230 V
Minimum bending radius -20°C 30 mm
Minimum installation temperature -40 °C

II 2GD EEx e II T3 (15-60W/m) / T2 (75-90W/m)

SIRA 04 ATEX 3012 / SIRA 08 ATEX 3096X

Kaapelin tyyppi	Metriteho metalliputkella @ +10 °C	Lämpötila-kestoisuus (päällä/pois)	Maksimi asennuspituus @ +0°C 16/25/32A	Maksimi asennuspituus @ -20°C 16/25/32A	Koko	Paino
Cable reference	Loading on metalpipe @ +10 °C (W/m)	Max. allowable temperature (on/off) (°C)	Max. length @ +0°C 16/25/32A (m)	Max. length @ -20°C 16/25/32A (m)	Size (mm)	Weight (kg/km)
ILS152NF	15	200/250	120/154/-	108/138/-	12.2x5.2	154
ILS302NF	30	200/250	78/108/-	70/100/-	12.2x5.2	154
ILS452NF	45	200/250	58/88/-	52/82/88	12.2x5.2	154
ILS602NF	60	200/250	46/72/86	42/66/76	12.2x5.2	154
ILS752NF	75	200/250	40/60/78	36/54/70	12.2x5.2	154
ILS902NF	90	200/250	32/50/64	30/46/58	12.2x5.2	154

Ylläpitolämpötila (°C)	ILS152NF W/m	ILS302NF W/m	ILS452NF W/m	ILS602NF W/m	ILS752NF W/m	ILS902NF W/m
Maintenance temp.	W/m	W/m	W/m	W/m	W/m	W/m
20	14	28	43	57	71	85
40	12	25	37	50	63	76
60	10	22	33	44	55	67
80	8	18	28	38	48	58
100	7	14	23	31	38	49
120	5	11	18	25	32	40
140	3	8	13	18	24	31
160	1	4	8	12	16	22
180	-	1	3	6	9	13
190	-	-	-	2	4	8

Tilauskoodi	Kuvaus	Description
Reference code		
ILX-PP	Päätepakkaus M25 holkilla (kylmäsilikoni)	Cold silicone connection/end set with M25 gland
SLP13	Suojaletkupakkaus M25 holkilla	Protection conduit set with M25 gland
ILX-PP-EX	Päätepakkaus M20 holkilla Ex	Connection/end set with M20 gland Ex
SLP13-EX	Suojaletkupakkaus M25 Ex-holkeilla	Protection conduit set with M25 Ex-glands
SF-P	Mekaaninen kytkentäjärjestelmä Ex (syöttö)	Mechanical connection system Ex (power)
SF-E	Mekaaninen loppupäätte Ex	Mechanical end seal Ex
SF-T	Mekaaninen t-haaroitus Ex / suora jatko ILS-ILS	Mechanical tee splice Ex / splice connection ILS-ILS

Heatchem Oy Pakkalankuja 7 FI-01510 Vantaa Ω phone +358-9-8510 0000 fax +358-9-8510 0002 www.heatchem.com

Sähkösaattotaulukko

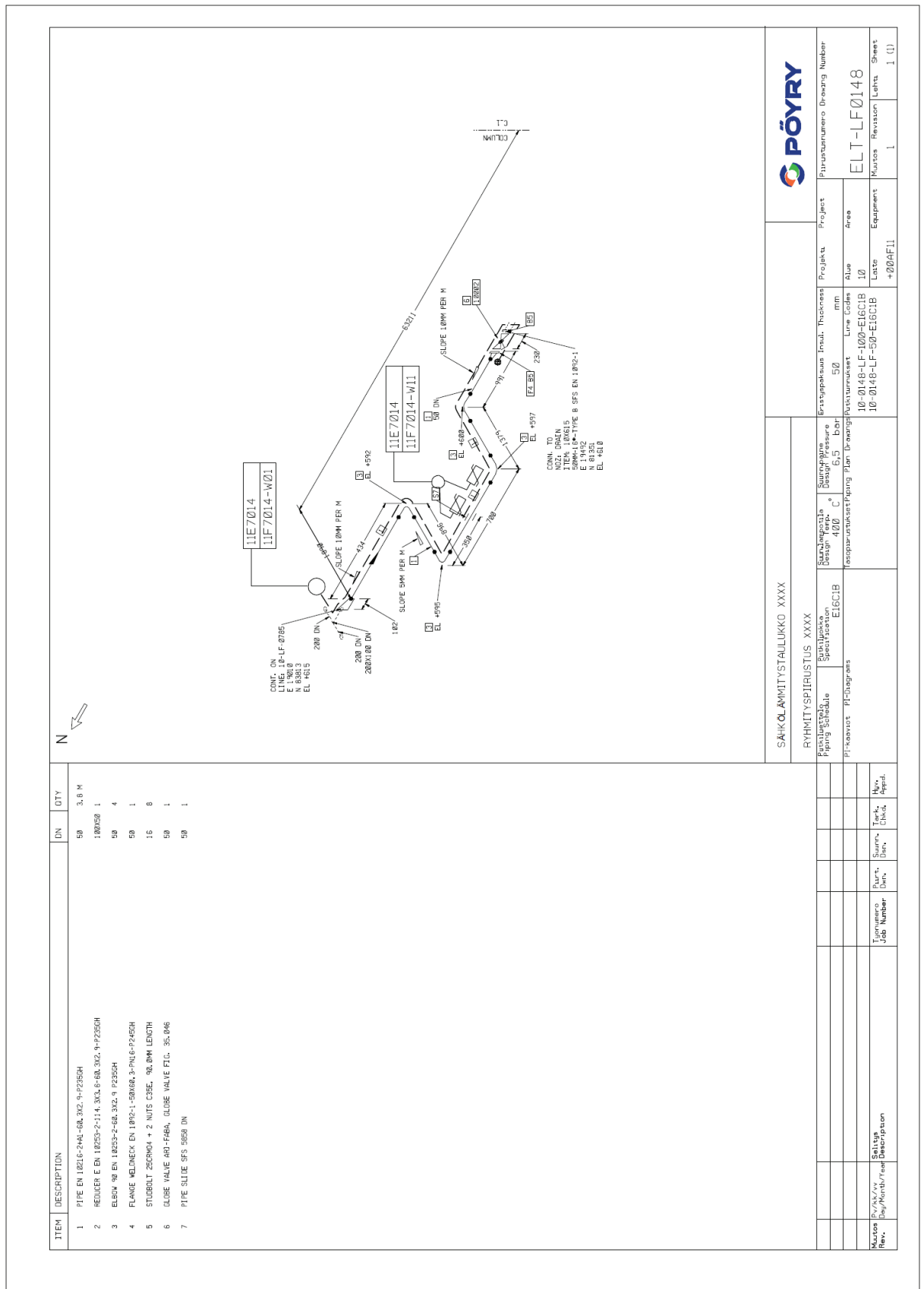
LAHTO- PIIRI- TUNNUS	PUTKILAITTE		Mihin	D mm	L m	H mm	T _{amb} °C	T _{int} °C	T _{ext} °C	Ph W/m	N kpl	N kpl	N kpl	LAMPOKAAPELI VALMISTAJA, TYYPI	r Ω/m	L _a m
	TUNNUS	Mistä														
11 H1 123	1234PGS1234	d123456	D123456	52	24,0	50	110	45	20	45	6,5	1	1	CHEMELEX 4XTV2-CT	1	3x123,0
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																
31																

D	PUTKEN ULKOHALKAISUUS	P _a	PUTKEN HÄVIÖTEHO (ILMANVARMI)
L	PUTKEN PITÄYS	N/N/N	VENTTILIEKANKANAKKEIDEN LAIPOJEN LUKUMÄÄRÄ
H	ERISTYSPÄKSUUS	r	KAAPPELIN OMINAISRESISTANSSI
T _{max}	PUTKEN MAKSIMI KÄYTTÖLÄMPÖTILA	L _i	KAAPPELIN PITÄYS
T _{min}	PUTKEN MINIMI KÄYTTÖLÄMPÖTILA	R	KAAPPELEIDEN RESISTANSI
T _{mp}	YMPÄRISTÖN MINIMILÄMPÖTILA	N	KAAPPELEIDEN LUKUMÄÄRÄ POIKILEIKKAUKSESSA
T _{pi}	YLLÄPITÖLÄMPÖTILA	L _i /L _i	KAAPPELIPITÄYS VENTTILIEKANKANAKETTA LAIPOJEN KOHDEN

Muutos	Vic/Vuosi	Selitys

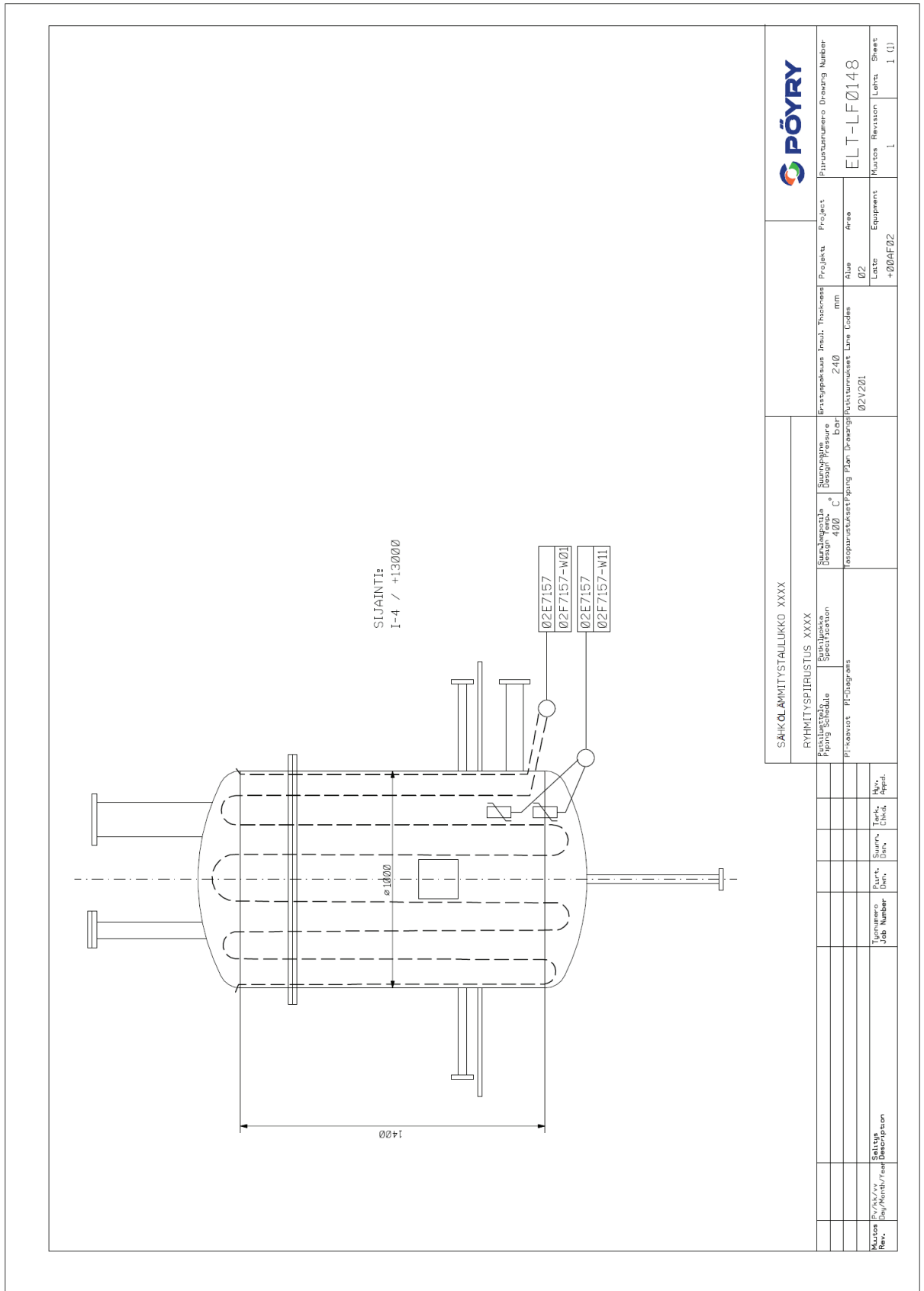
Kuva 1. Sähkösaattotaulukko [11, liite 1]

Sähkösaattoisometri, putki



Kuva 1. Sähkösaattoisometri,putki [24]

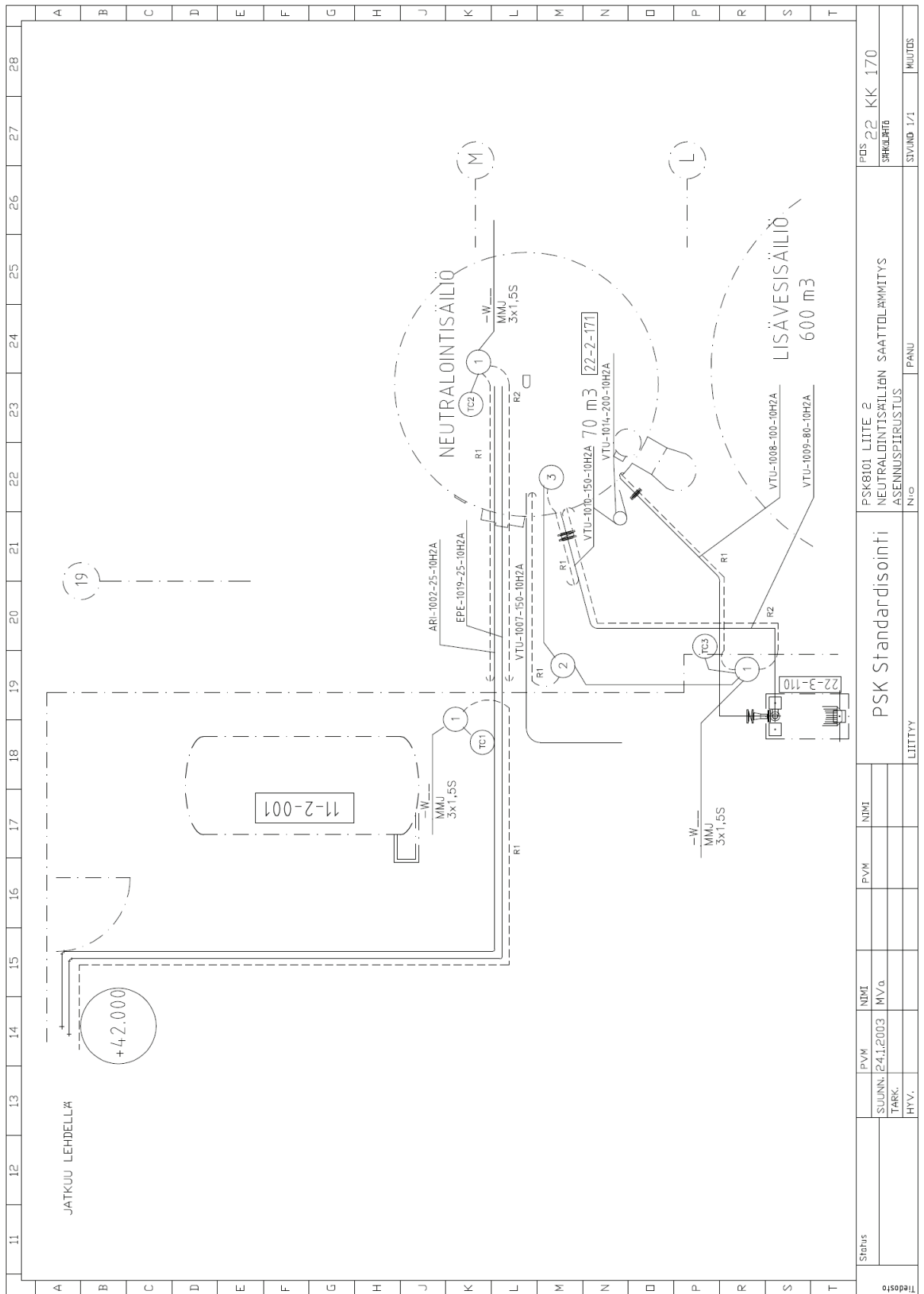
Sähkösaattoisometri, säiliö



SAHKÖLÄMMITYSTALUKKO XXXX		RYYHMITYSPIIRUSTUS XXXX		Eräsuojakassa Insul. Thickness		Project		Pituussuunnus Drawing Number	
Paineluokitus Rating Schedule		Suunnitelman Design Reference		240		Area		ELT-LF0148	
400 C		400 C		02V201		+20AF02		1	
Pikavaivat - P-Diagrams		Kosparinäkymät/View Drawings		02V201		Equipment		Käytön Revision Lehti Sheet	
								1	
								1 (1)	
Numero Rev.		Salitus Day/Month/Year		Job Number		Part. Descr.		Lehti Sheet	

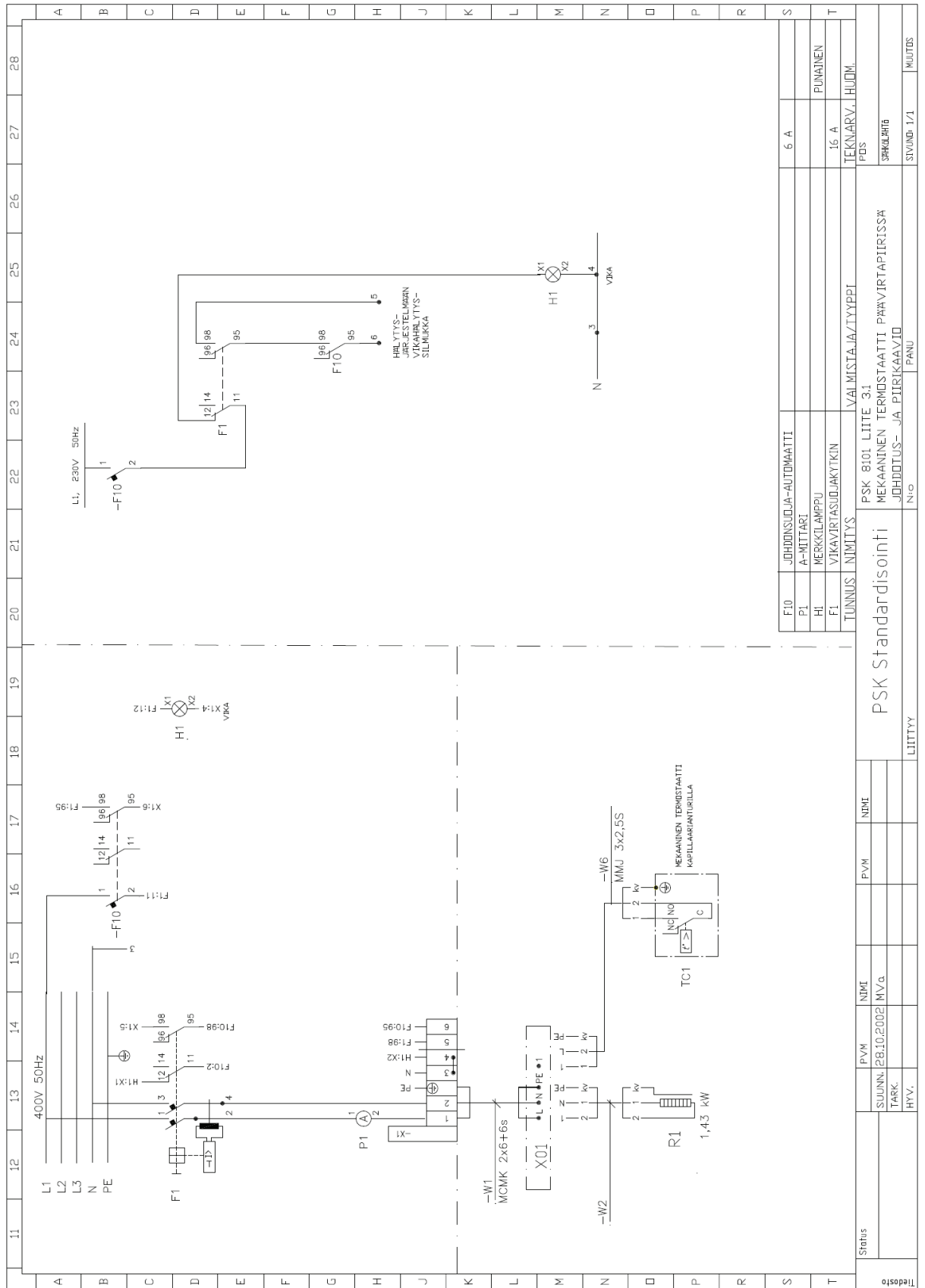
Kuva 1. Sähkösaattoisometri, säiliö [25]

Asennuspiirustus

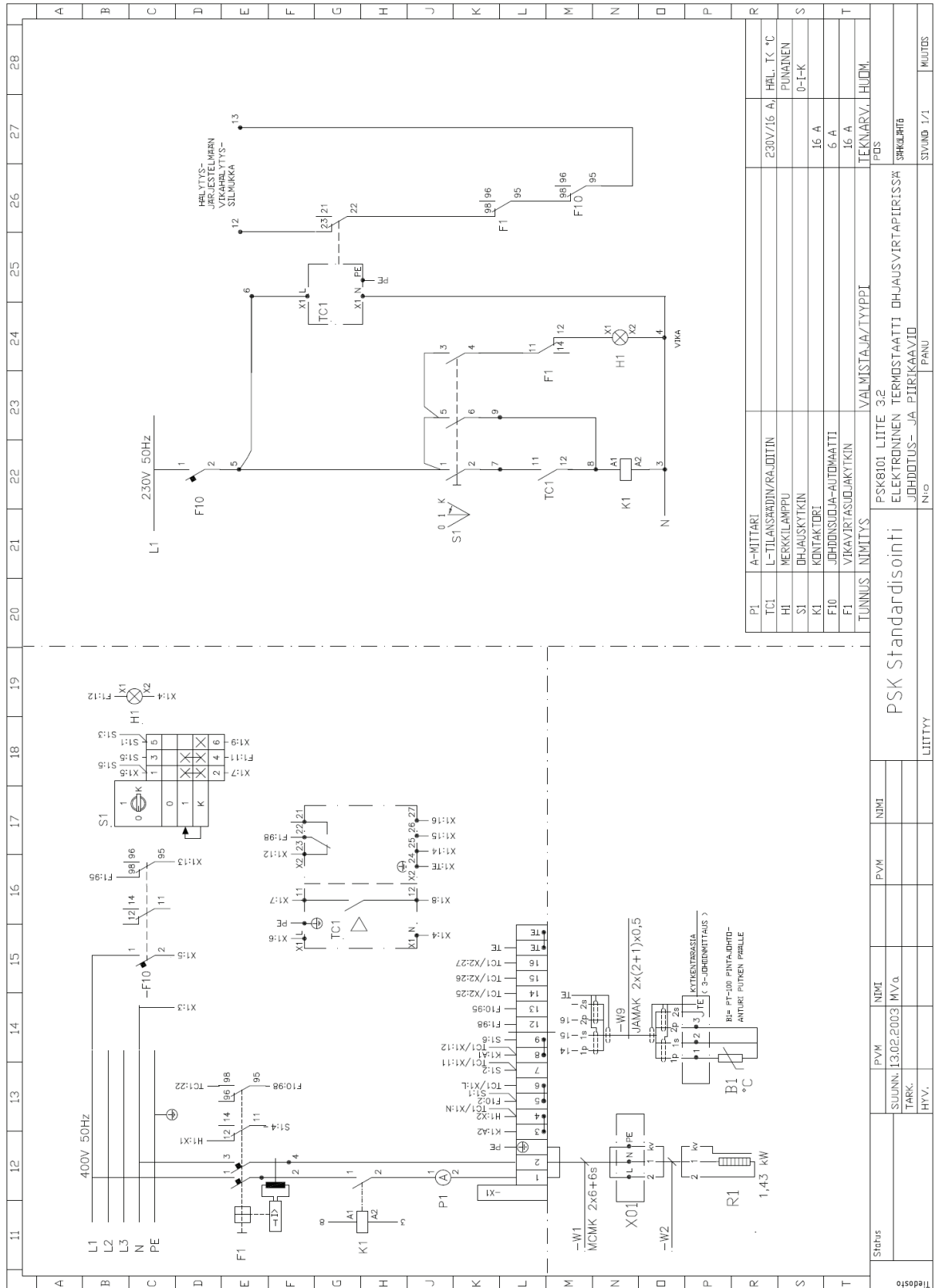


Kuva 1. Asennuspiirustus [11, liite 2]

Johdotus- ja piirikaaviot



Kuva 1. Mekaaninen termostaatti päävirtapiirissä [11, liite 3.1]

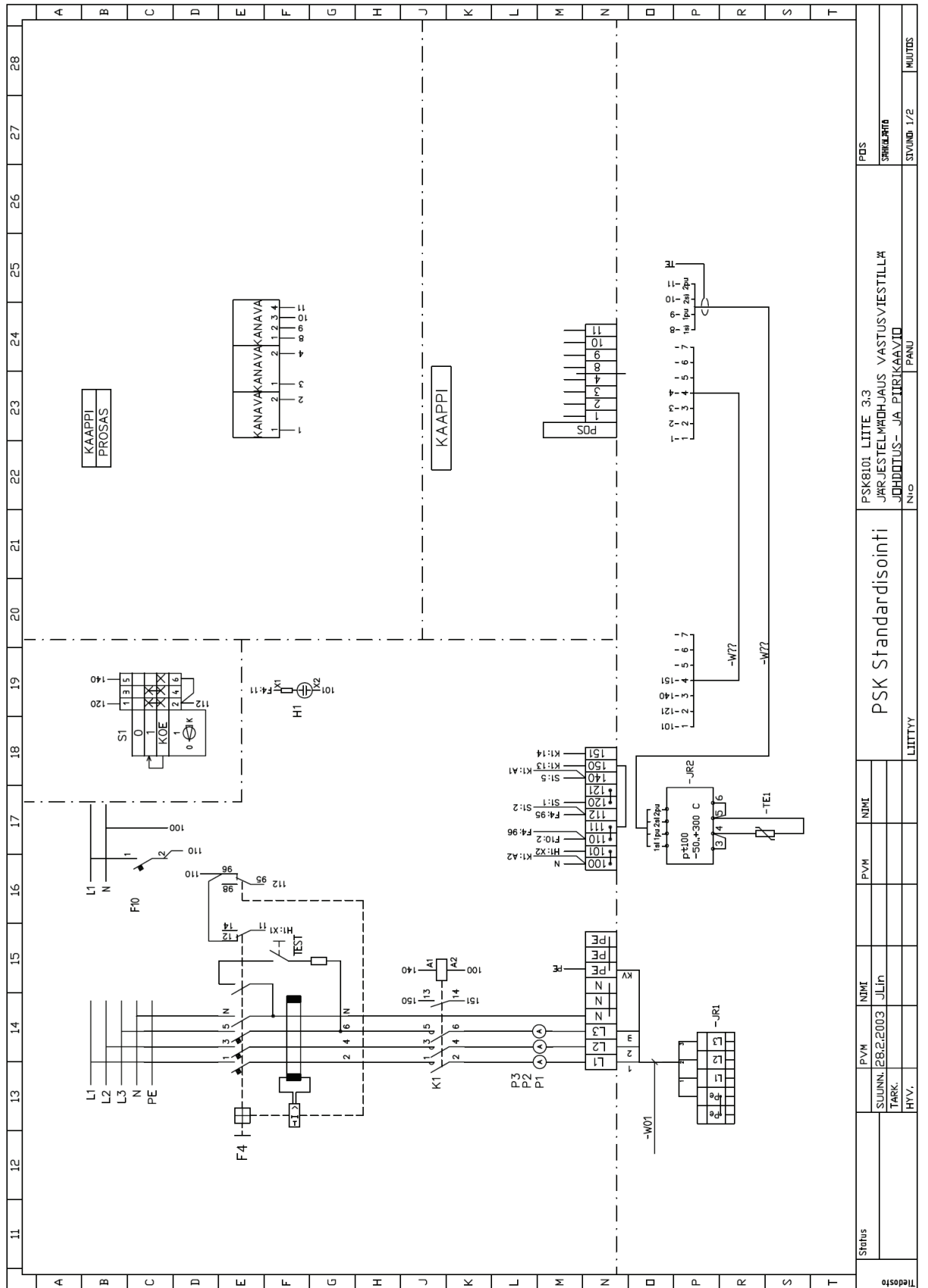


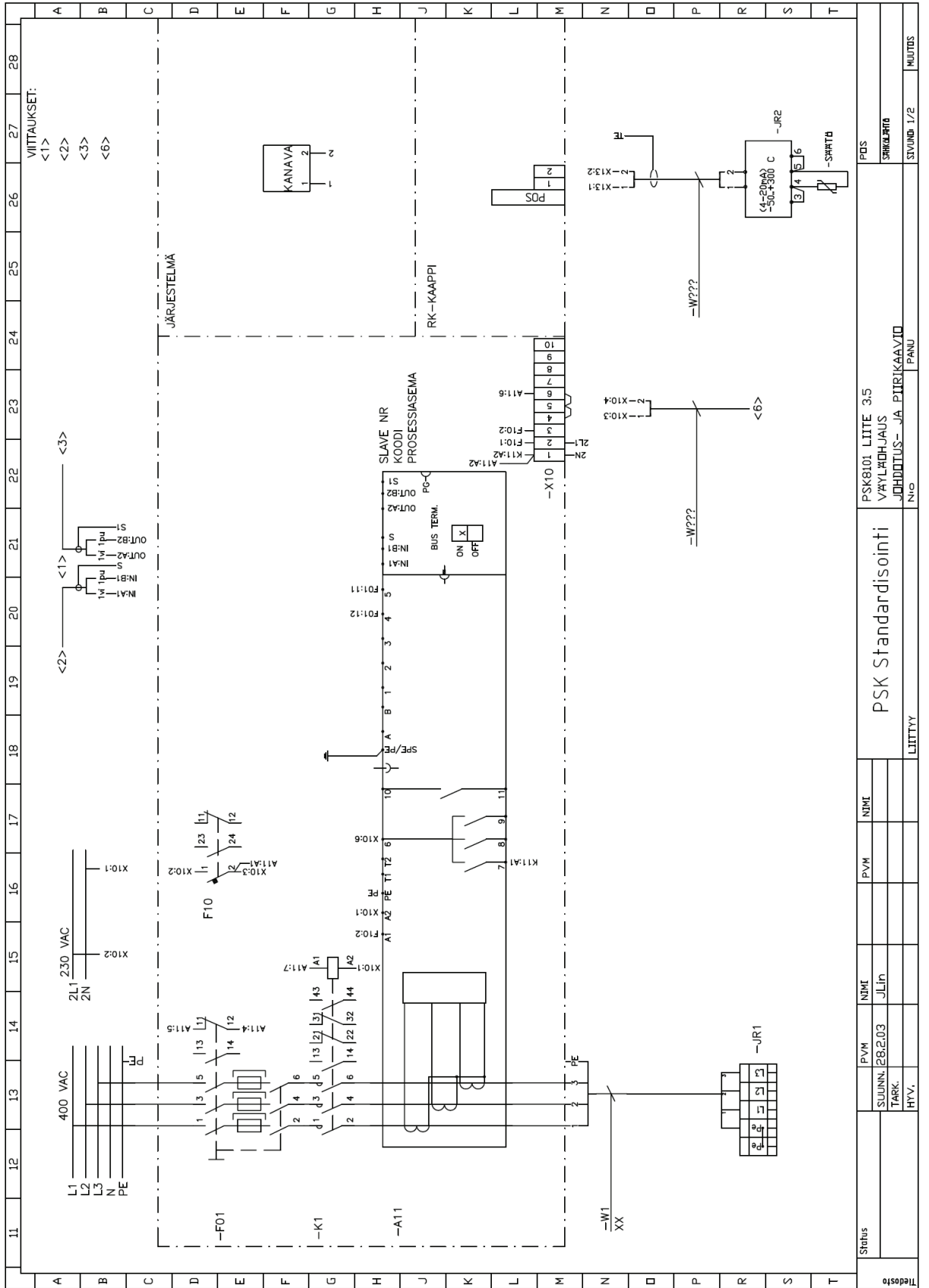
PI	A-MITTARI		
TC1	L-TILANSÄÄJIN/RÄJÖITIN		230V/16 A, HLL. TC °C
HI	MERKKILAMPPU		PUNAINEN
SI	OHJAUSKYTKIN		0-I-K
K1	KONTAKTORI		16 A
F10	JOHDOINSUOJA-AUTOMAATTI		6 A
F1	VIKAVIRTASUOJAKYTKIN		16 A
TUNNUS	NIMITYS	VALMISTAJA/TYYPPI	TEKNARVI, LUJOM.

PSK8101 LIITE 3.2
ELEKTRONINEN TERMOSTAATTI OHJAUSVIRTAPIIRISSÄ
JOHDOTUS- JA PIIRIKAAVIO

Status	NIMI	PVM	NIMI
Tiedosto	SUUNN. 13.02.2003	MV/o	
	TARK.		
	HVY.		
	LITTYTY		
	N:o	PIIRI	PIIRIKAAVIO
	SIUNTO	1/1	MUUTOS

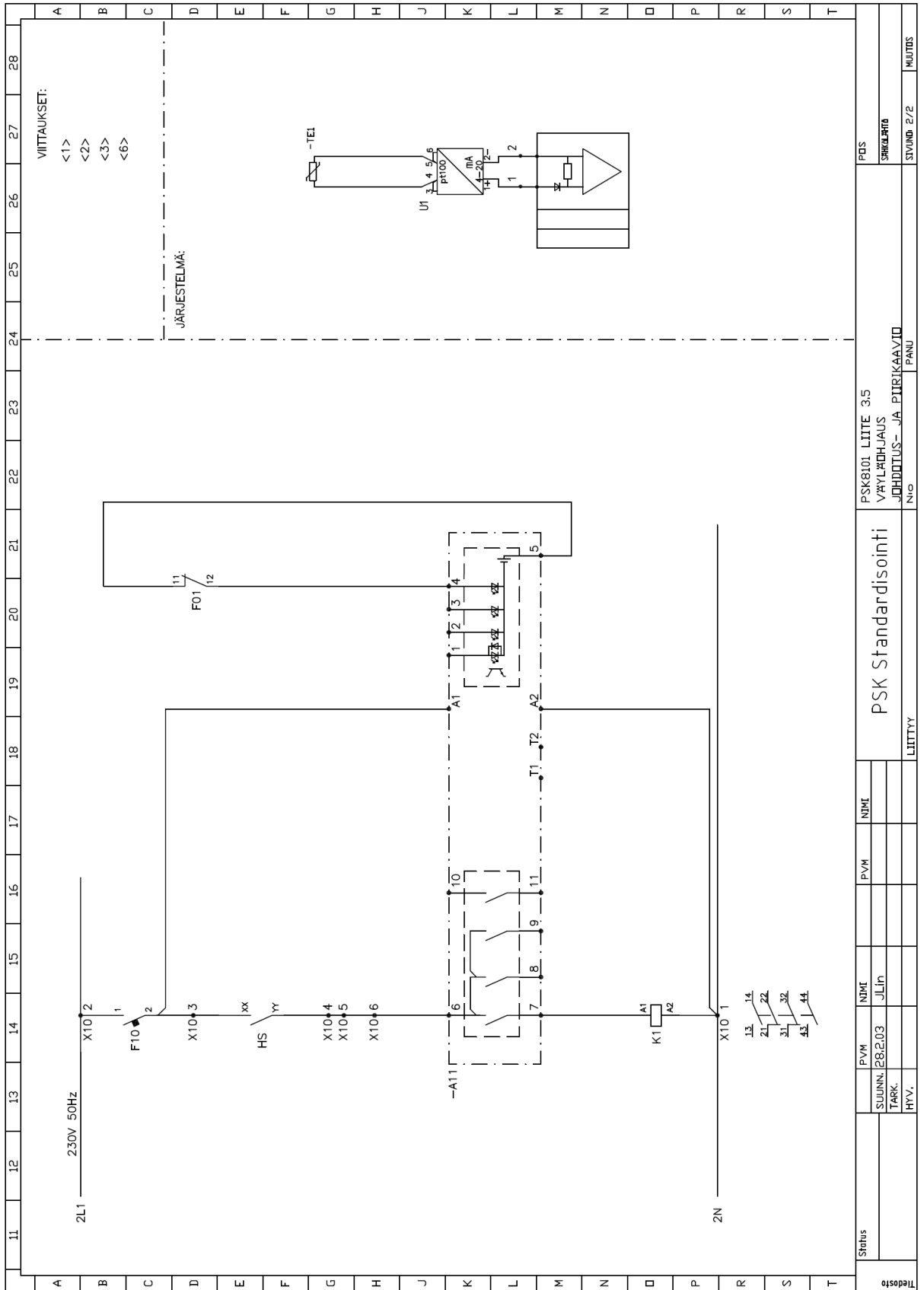
Kuva 2. Elektroninen termostaatti ohjausvirtapiirissä [11, liite 3.2]



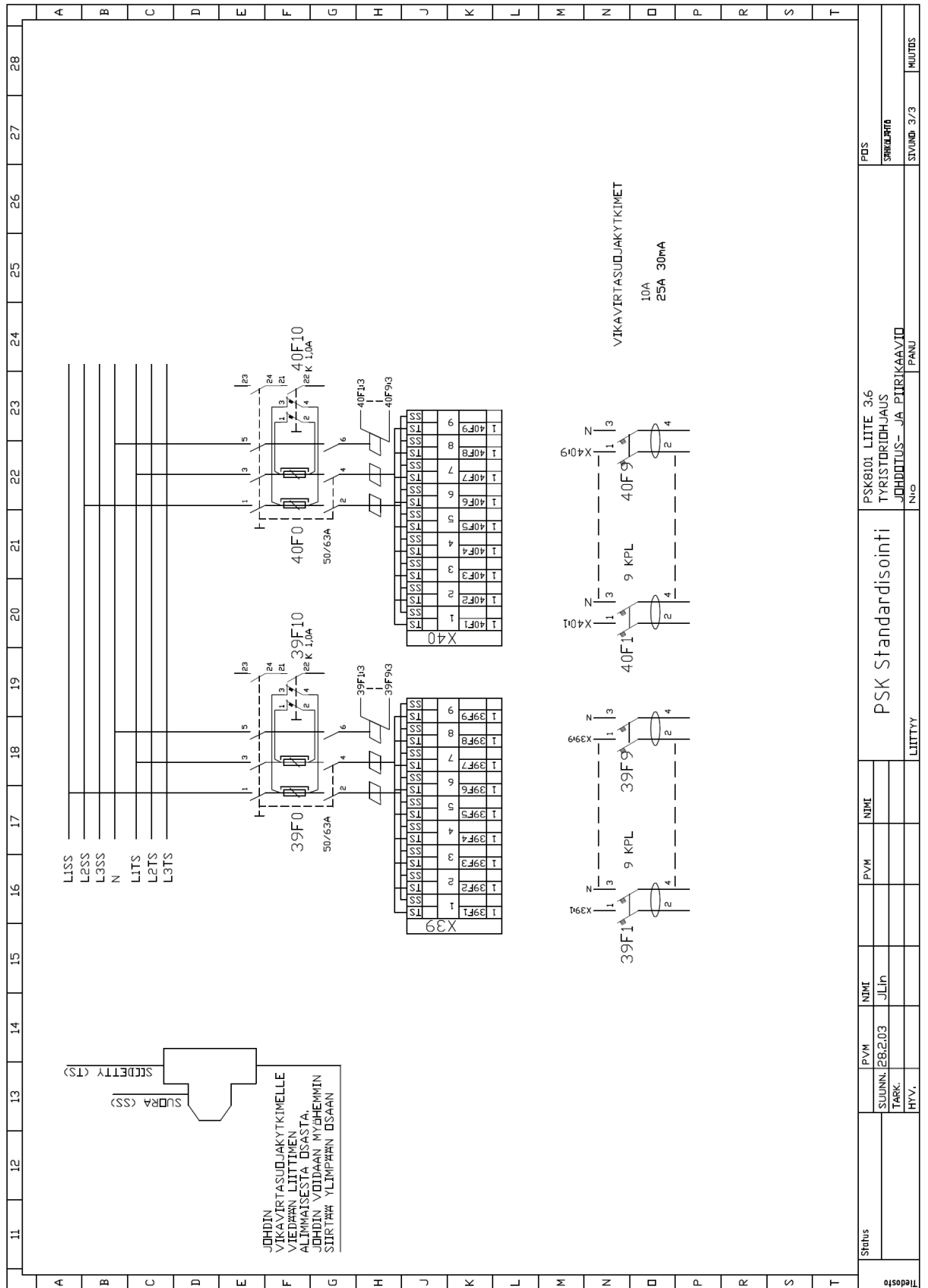


Kuva 7. Väylöohjaus [11, liite 3.5]

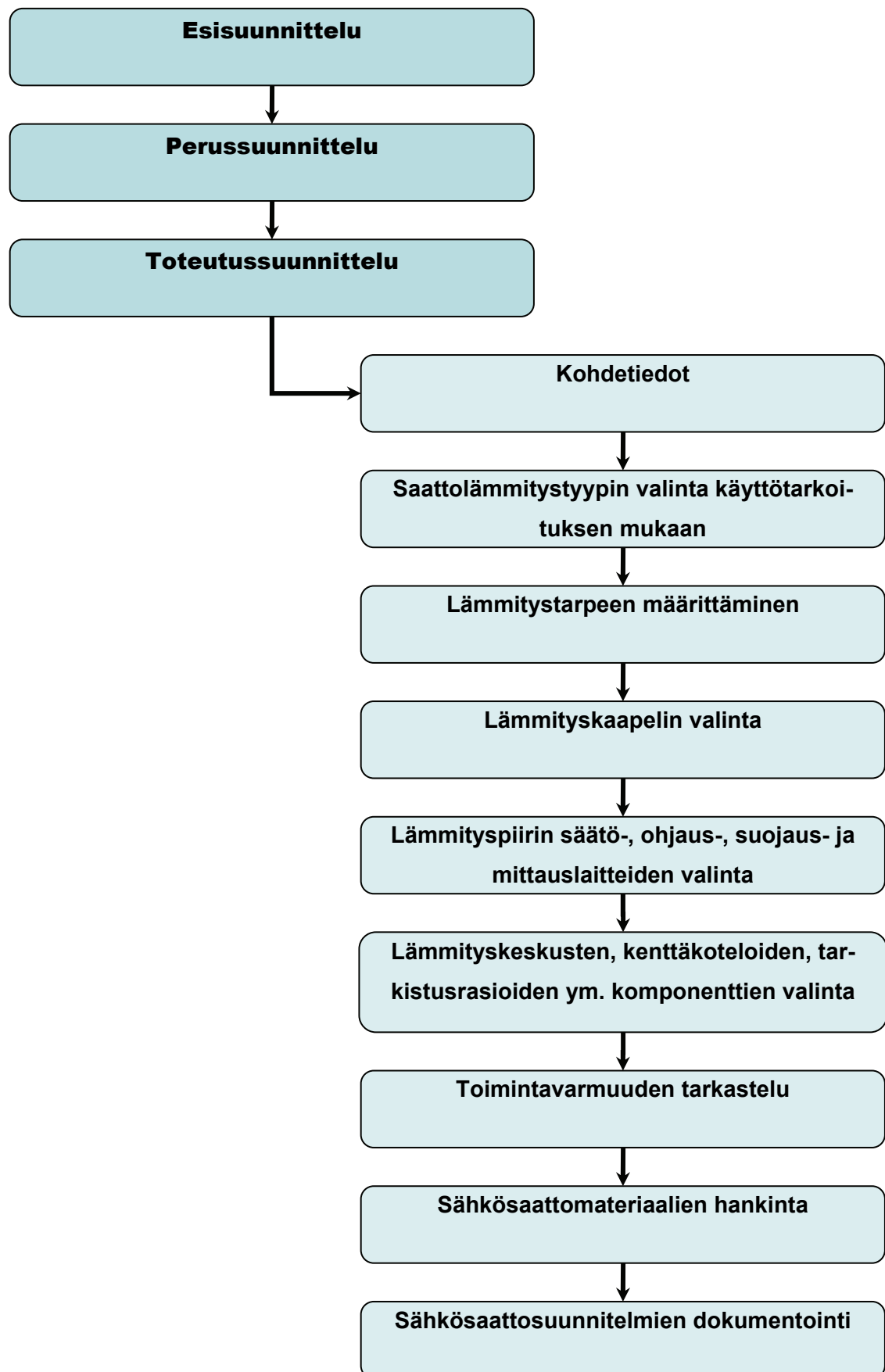
PSK8101 LIITE 3.5 VÄYLÖOHJAUUS JOHDOTUS- JA PURKKAUSLO PAINU	PSK8101 SRA11A	SVUND 1/2	MUUTOS
PSK Standardisointi			
LIITTY			
Status	PVM	NIMI	
SUUNN. 28.2.03	JLJin		
TARK. HYV.			



Kuva 8. Väylöohjaus [11, liite 3.5]



Kuva 11. Tyristoriohjaus [11, liite 3.6]

Sähkösaattotyön prosessikuvauksen vuokaavio

Hankintaerittely

PSK Standardisointi

HANKINTAERITTELY
Sähkösaattojen kenttäasennukset

PSK8101

Liite 4

COPYRIGHT: PSK Standardisointiyhdistys ry

2003-08-14

1 (10)

1 KÄYTTÖOHJE

Valintaohje: (x) Kuuluu toimitukseen
 (-) Ei kuulu toimitukseen

Hankintaerittely on tarkoitettu käytettäväksi saattolämmityksien tarjouspyynnössä hankintaerittelynä. Lomake sisältää vaihtoehtoja, joista tilaaja voi määritellä kussakin tapauksessa tarvitsemansa.

Erityisvaatimusten kirjaamista varten on erittelyn kullekin sivulle varattu tilaa kohtaan Lisätietoja.

PSK Standardisointi

PSK 8101 Liite 4

2

2
YLEISTIEDOT

Toiminimi:

Laatija

Päiväys

TOIMITUSOSOITE:			
TILAAJAN KÄSITTELIJÄ:	puh.	fax	e-mail
Kaupallinen			
Teknillinen			
HANKINNAN KOHDE:			
TOIMITUSAIKA:			
TOIMITUSEHDOT:			
SOPIMUSEHDOT:			
MAKSUEHDOT:			
TARJOUKSEN JÄTTÖ:	Osoite:	Aika:	
LIITTEET:			
Tilaajan ohje _____			
Piirustukset _____			

[11, liite 4]

PSK Standardisointi**PSK 8101** Liite 4

3

**3
SÄHKÖTEKNISET TIEDOT**3.1 Nimellisjännite U_e _____ V _____ Hz**4
JAKELUJÄRJESTELMÄ**4.1 TN-S IT Muu _____4.2 Maasulun ilmaisu IT-järjestelmässä
Toteutettuna _____4.3 TN-S-järjestelmän vikavirran valvonta keskuksen PE:ssä
 erikseen määritetyissä lähdöissä
 syötössä**5
KENTTÄASENNUS****5.1 SYÖTTÖKAAPELIT**

Hankinta	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Asennus	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
KytKentä	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija

5.2 KETJUTUSKAAPELIT

Hankinta	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Asennus	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
KytKentä	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija

5.3 OHJAUSKAAPELIT

Hankinta	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Asennus	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
KytKentä	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija

LISÄTIETOJA

[11, liite 4]

PSK Standardisointi**PSK 8101** Liite 4

4

5.4 KAAPELIHYLLYT**Runkohyllyt**

Hankinta	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Asennus	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija

Pistohyllyt

Hankinta	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Asennus	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija

Hyllyjen kannakkeet

Hankinta	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Asennus	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija

Kiinnitystarvikkeet

Hankinta	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Asennus	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija

5.5 SUOJAPUTKET JA TARVIKKEET

Hankinta	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Asennus	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija

5.6 KAAPELIEN LÄPIVIENIT

Hankinta	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Asennus	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija

Toteutustapa	_____
--------------	-------

Paloluokka	_____
------------	-------

Kaasutiiviys	_____
--------------	-------

LISÄTIETOJA

5.7 HAAROITUSKOTELOT JA KYTKENTÄRSIAT

Hankinta	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Asennus	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Kotelointi-/Ex-luokka	_____	
Materiaali	_____	
Ruuvien materiaali	_____	

5.8 LÄMPÖKAAPELIT JA TARVIKKEET

Lämpökaapelit		
Hankinta	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Asennus	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Kaapelin tyyppi vaipan mukaan	_____	

Kylmäkaapelit		
Hankinta	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Asennus	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Asennustarvikkeet		
Hankinta	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Asennus	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija

5.9 INSTRUMENTTIKAAPIEN LÄMMITYSLAITTEET

Hankinta	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Asennus	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Kytkeä	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija

5.10 TERMOSTAATIT JA ANTURIT

Hankinta	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Asennus	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija

LISÄTIETOJA

5.11 TERMOSTAATTIEN JA ANTUREIDEN ASENNUSTARVIKKEET

Hankinta	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Asennus	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija

5.12 MAADOITUS

Materiaalit	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
Asennus	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija

5.13 MERKINTÄ

Tilaajan ohjeen mukaan
 IEC 60079-0 mukaan

6 VANHOJEN PURKUTYÖT	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
-----------------------------	----------------------------------	--------------------------------------

7 KOESTUKSET, ASETUKSET JA TOIMINTAKOKEET

Lähtöyksikön releiden asettelu ja koestus	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
--	----------------------------------	--------------------------------------

Käyttöönotto-koestus	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
-----------------------------	----------------------------------	--------------------------------------

8 ASENNUSTEN MUKAINEN LOPPUDOKUMENTOINTI

Punakynäversiot toimittaa urakoitsija.

Loppudokumentit	<input type="checkbox"/> Tilaaja	<input type="checkbox"/> Urakoitsija
------------------------	----------------------------------	--------------------------------------

9 HENKILÖTURVALLISUUS

Urakoitsijan on noudatettava tilaajan turvallisuusohjeita ja -määräyksiä.

LISÄTIETOJA

[11, liite 4]

TARJOUSPYYNTÖ**SAATTOLÄMMITYKSEN KENTTÄASENNUKSET**

Oy _____ Ab rakentaa _____ tehtaille.
Laitoksen rakennustyöt on aloitettu / aloitetaan _____.

**1
TOIMITUSLAAJUUS**

1.1 Hankinta käsittää ____ SAATTOLÄMMITYKSIEN toimitukset täydellisenä sisältäen tarvittavat asiapaperit sekä kuljetukset vakuutuksineen ja suojauksineen _____ tehtaille.

Pos 1
Pos 2
Pos 3

1.2 Saattolämmitykset tulee tarjota liitteiden mukaisesti.
Toimittaja voi perustellusta syystä poiketa vaatimuksista, mutta mahdolliset poikkeamat tulee nimenomaisesti mainita tarjouksessa.

**2
HINTA**

2.1 Hinnat on ilmoitettava ilman arvonlisäveroa, positiokohtaisesti eriteltynä.

2.2 Hintojen tulee olla kiinteät.

**3
SOPIMUSEHDOT**

Sopimusehdot liitteen _____ mukaisesti.

**4
TAKUUAIKA**

Takuuaika on ____ vuotta hyväksytystä vastaanotosta, josta laaditaan standardin SFS 4615 mukainen pöytäkirja.

**5
ASIAPAPERIT**

Toimitettavat asiapaperit on eritelty liitteissä.

[11, liite 4]

PSK Standardisointi

**6
YHTEYSHENKILÖT**

Yhteyshenkilöt on lueteltu liitteissä.

**7
TARJOUSVAHVISTUS**

Pyydämme vahvistamaan liitteenä olevalla lomakkeella tämän tarjouspyynnön saannin ja aikeenne tarjota / olla tarjoamatta.

Oy _____ Ab

Nnnnn Nnnnnnnnn

PSK Standardisointi**PSK 8101** Liite 4

10

TARJOUSVAHVISTUS**KOHDE****Saattolämmityksien kenttäasennukset****Tarjous pyydetty****pp.kk.vvvv mennessä.****Tarjous odotettavissa** Kyllä
 Ei**Tarjous tulee (pvm)**

Pyydämme pikaisesti palauttamaan vahvistuksen alla olevaan osoitteeseen.

TOIMITUSOSOITE:	fax	
TILAAJAN KÄSITTELIJÄ:	puh.	fax
LISÄTIETOJA:		

Tarjouksen antaja

[11, liite 4]

Keskukseen hankinta

PSK Standardisointi

KESKUKSEN HANKINTA

PSK 8101 Liite 5

1 (1)

Laatija

Dokumentin nro

Päiväys

1	SÄHKÖTEKNISET TIEDOT			
1.1	Nimellisjännite	Ue <u>400</u> V 50 Hz		
1.2	Nimellisvirta	In <u> </u> A		
1.3	Terminen nimelliskestovirta	Icw <u> </u> kA s		
1.4	Dyn. nimelliskestovirta	Ipk <u> </u> kA		
1.5	Tyypikoestus vaaditaan	()		
2	JAKELUJÄRJESTELMÄ			
2.1	Järjestelmä	(X) TN-S	() Muu	
2.2	PE-kiskon mitoitus	(X) L/2	() Oikosulkuvirran mukaan	
3	RAKENNETIEDOT			
3.1	Mekaaninen rakenne	() Kennokeskus	() Kotelokeskus	() Muu
3.2	Materiaali	() Pelti	() Muovi	() Ruostumaton teräs
3.3	Pintakäsittely	() Toimittajan normaali	() Tilajan ohjeen mukaan	
3.1	Ulkoisen koteloituokka	IP		
4	SYÖTTÖLIITYNNÄT			
4.1	Kaapeli	() Alhaalta	() Ylhäältä	
5	SYÖTTÖYKSIKÖT			
5.1	Pääkytkin	() Kompaktikatkaisija	() Kiinteä	
5.2	Mittaus	() Pääkaavion mukaan	() Virtamittaus ___3-vaiheinen	
		() Jännitemittaus L1, L2, L3, N	() Vaihtokytkin	
		() Energian mittaus, kytkentä		
6	OHJAUSJÄNNITEJAKELU, APULAITTEET			
6.1	Jakelujärjestelmä	() Keskuksen ulkopuolelta	() Keskuksen vaihejännitteestä	
		() Lähdön vaihejännitteestä	() Käyttömaadoitettu	
		() Ohjausjännitemuustaja <u> </u> kVA		
7	LÄHTÖYKSIKÖT			
7.1	Lähtöyksiköiden rakenne	(X) Kiinteä	() Ulosotettava	() Ulosvedettävä
		() Yksikkölähtö	() Ryhmälähtö	
7.2	Säätö- ja rajoituslaitteen tyyppi	(X) Mekaaninen	() Elektroninen	() Paikallinen näyttö () Valvomo näyttö
8	LÄHTÖYKSIKÖN LAITEVALINNAT			
8.1	Riviliittimet	(X) Toimittajan normaali	() Muu	
9	MERKINNÄT			
9.1	Kilvet	() Toimittajan normaali	(X) Tilajan ohjeen mukaan	
10	ASENNUS- JA KÄYTTÖYMPÄSIRTÖ			
10.1	Sijoituspaikka	(X) Sähkötila	() Yleinen tila	
10.2	Asennustila	Korkeus max <u> </u> mm	Pituus max <u> </u> mm	Syvyys <u> </u> mm
10.3	Kuljetusyksikön koko	Korkeus max <u> </u> mm	Pituus max <u> </u> mm	Syvyys <u> </u> mm
10.4	Asennus	() Seinän viereen	() Selät vastakkain	
		() Seinälle	() Vapaasti seisova	
11	LÄHDÖN KAAPELILIITÄNNÄT			
11.1	Lähtöjen pääpiiriin liitynnät	() Kaapeloidaan alhaalta	() Kaapeloidaan ylhäältä	
		() Kytetään kojeisiin	(X) ≥ 16 mm ² kytetään kojeeseen, pienemmät riviliittimille	
		() Muu		
11.2	Apu- ja ohjausvirtapiiriin liitynnät	(X) Kytetään riviliittimille	() Kytetään pistokkeelle	
		() Kaapeloidaan alhaalta	() Kaapeloidaan ylhäältä	
12	PIIRUSTUKSET			
12.1	Pääkaavio	(X) Tilaaajalta	() Toimittajalta	
12.2	Johdotus- ja piirikaaviot	(X) Tilaaajalta	() Toimittajalta	
12.3	Kokoonpano	() Tilaaajalta	(X) Toimittajalta	
12.4	Laiteluettelo	() Tilaaajalta	(X) Toimittajalta	
13	TOIMITUSLIITE			
13.1	Sulaketarvikkeet	() Tilaaajalta	(X) Toimittajalta	
LISÄTIETOJA	Kaikki johdotukset taipuisilla, monisäikeisillä johtimilla			

2003-08-29

[11, liite 5]