



## TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

|  |  |  |
|--|--|--|
| <b>Centria-ammattikorkeakoulu</b>  | <b>Aika</b><br>Maaliskuu 2022  | <b>Tekijä/tekijät</b><br>Jari Rossinen |
| <b>Koulutus</b><br>Sähkö- ja automaatiotekniikka   | <input checked="" type="checkbox"/> AMK<br><input type="checkbox"/> YAMK |  |
| <b>Työn nimi</b><br>LÄMMITYSKAAPELIT. Sulanapito- ja saattolämmitykset   |  |  |
| <b>Työn ohjaaja</b><br>Kari Saaranen   | <b>Sivumäärä</b><br>40   |  |
| <b>Työelämäohjaaja</b><br>Etunimi Sukunimi   |  |  |
| <p>Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli oppaan muotoisesti kertoa sähköisten sulanapito- ja saattolämmitysjärjestelmien suunnitteluun ja asentamiseen vaikuttavista asioista. Opinnäytetyössä tutustuttiin lämmityskaapeleiden historiaan ja yleiseen lämmityskaapeleiden kehitykseen, sekä etsittiin vastauksia kysymyksiin, miksi saattolämmitys- ja sulanapitoratkaisuja käytetään ja millaisia tuotteita on käytettävissä.</p> <p>Suunnittelutyön tueksi opinnäytetyössä pyrittiin esittämään asiat, jotka tulee ottaa huomioon eri kohteiden lämpökaapeleita suunniteltaessa ja asennustyön tueksi opinnäytetyössä esitettiin yleisimpiä ja hyväksi todettuja asennustapoja lämmityskaapeleiden asentamiseen ja käyttöönottoon liittyen.</p> <p>Opinnäytetyössä esitettiin lämpökaapeleiden ohjausratkaisuja, joilla on mahdollista saavuttaa energiataloudellisempia ratkaisuja niiden käytössä, sekä lämpökaapeleihin liittyviä sähköalan määräyksiä ja standardeja, jotka asennustoissa tulee ottaa huomioon.</p> |  |  |
| <b>Asiasanat</b><br>Lämpökaapelit, saattolämmitys, sulanapito  |  |  |

**ABSTRACT**

|   |                         |                                |
|---|-------------------------|--------------------------------|
| <b>Centria University of Applied Sciences</b>   | <b>Date</b><br>3.3.2022 | <b>Author</b><br>Jari Rossinen |
| <b>Degree programme</b><br>Electric and automation engineering  |                         |                                |
| <b>Name of thesis</b><br>HEATING CABLES. Freeze prevention and trace heating  |                         |                                |
| <b>Centria supervisor</b><br>Mr. Kari Saaranen, lecturer  | <b>Pages</b><br>40      |                                |
| <b>Instructor representing commissioning institution or company</b><br>First name Last name   |                         |                                |
| <p>The purpose of this thesis was to provide a guide on the issues affecting the design and installation of freeze prevention and trace heating systems.</p> <p>The history of heating cables and general development of heating cables were examined and clarified in this thesis.</p> <p>In this thesis the aim was to find answers to the questions of why trace heating and freeze prevention systems are used and what kinds of products are available for those.</p> <p>For supporting the design work, the thesis sought to present things that should be considered when planning heating cables of different sites.</p> <p>This thesis presents control systems for the heating cables, which could make more energy-efficient solutions available.</p> <p>For supporting the installation work, the thesis presents common and proven installation ways regarding the installing work and commissioning testing for the heating cables.</p> <p>In addition, the thesis discusses electrical regulations and standards related to heating cables that must be taken into account during installation work.</p> |                         |                                |
| <b>Key words</b><br>Freeze preventing, heating cables, trace heating  |                         |                                |

## **KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY**

### **EMISSIIVISYYS**

Kappaleen lähettämän säteilyn määrä verrattuna täysin mustan kappaleen säteilyyn.

### **FLUIDI**

Yleisnimitys teollisuuden putkistoissa nestemäisenä kulkeville materiaaleille.

### **HYGROSKOOPPINEN**

Kosteutta ilmasta sitova.

**TIIVISTELMÄ**  
**ABSTRACT**  
**KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY**  
**SISÄLLYS**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 JOHDANTO</b> .....   | <b>1</b>  |
| <b>2 LÄMPÖKAAPELEIDEN HISTORIA JA KEHITYS</b> .....                   | <b>2</b>  |
| 2.1 Ennen lämpökaapeleita .....                                       | 2         |
| 2.2 Ensimmäiset lämpökaapelit .....                                   | 2         |
| 2.3 Nykyiset lämpökaapelit .....                                      | 3         |
| 2.3.1 Mineraalieristeiset kaapelit .....                              | 3         |
| 2.3.2 Itserajoittuvat kaapelit .....                                  | 4         |
| 2.3.3 Polymeeripohjaiset vakiovastuskaapelit .....                    | 5         |
| 2.3.4 Vakioimetritheokaapelit .....                                   | 6         |
| <b>3 LÄMPÖKAAPELEIDEN KÄYTTÖKOhteITA</b> .....                        | <b>7</b>  |
| 3.1 Kiinteistöt .....   | 7         |
| 3.2 Teollisuus .....  | 8         |
| <b>4 LÄMPÖKAAPELIJÄRJESTELMIEN SUUNNITTELU</b> .....                  | <b>9</b>  |
| 4.1 Ympäristö ja olosuhteet .....                                     | 9         |
| 4.2 Laskelmat .....   | 10        |
| 4.2.1 Eristetyn putken lämpöhäviöt .....                              | 10        |
| 4.2.2 Eristetty säiliö .....  | 14        |
| 4.3 Kaapelipiirien enimmäispituudet ja lämpötilan kesto .....         | 16        |
| 4.4 Ohjaukset .....   | 17        |
| 4.4.1 Kiinteistöjen lämpökaapeleiden ohjausjärjestelmiä .....         | 18        |
| 4.4.2 Teollisuuden lämpökaapeleiden ohjausjärjestelmät .....          | 23        |
| <b>5 LÄMPÖKAAPELIJÄRJESTELMIEN ASENNUS</b> .....                      | <b>27</b> |
| 5.1 Asennustekniikka kiinteistökohteissa .....                        | 27        |
| 5.2 Asennustekniikka prosessiputkissa .....                           | 31        |
| 5.2.1 Asentaminen putken eri osiin .....                              | 32        |
| 5.3 Käyttöönotto ja dokumentointi .....                               | 37        |
| <b>6 JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....   | <b>39</b> |
| <b>LÄHTEET</b> .....  | <b>40</b> |
| <b>KUVIOT</b>   |           |
| KUVIO 1. Vakiovastuskaapelin periaate .....                           | 5         |
| KUVIO 2. Vakioimetritheokaapelin periaate .....                       | 6         |
| KUVIO 3. Eristetty putki .....  | 10        |
| KUVIO 4. Eristetty lieriön muotoinen säiliö .....                     | 14        |
| KUVIO 5. Kaapeleiden ja antureiden sijoittelu putkeen .....           | 31        |
| <b>KUVAT</b>  |           |
| KUVA 1. Mineraalieristeisiä lämpökaapeleita .....                     | 3         |
| KUVA 2. Itsestään säätyvän kaapelin rakenne ja toimintaperiaate ..... | 4         |

|   |    |
|---|----|
| KUVA 3. Itsesäätyvän kaapelin tehokäyrä lämpötilan suhteen..... | 4  |
| KUVA 4. Vakiovastuskaapelin rakenne .....                       | 5  |
| KUVA 5. Vakioimetritehokaapelin rakenne.....                    | 6  |
| KUVA 6. Elchem Ränni-kaapelin enimmäispituudet.....             | 16 |
| KUVA 7. Kaksoistermostaatti .....                               | 18 |
| KUVA 8. Sulanapidon ohjausyksikkö .....                         | 19 |
| KUVA 9. Lämpötila-anturi .....                                  | 19 |
| KUVA 10. Lumi- / jääanturi .....                                | 19 |
| KUVA 11. Jää-/lumianturi maahan .....                           | 20 |
| KUVA 12. Kosteus-/lämpötila-anturi maahan.....                  | 20 |
| KUVA 13. IceControl-sulanapitokeskus .....                      | 22 |
| KUVA 14. Termostaatti kapillaarianturilla .....                 | 23 |
| KUVA 15. Termostaatti kahdella Pt100-anturilla .....            | 24 |
| KUVA 16. Teollisuuden lämpökaapeleiden ohjausjärjestelmä .....  | 26 |
| KUVA 17. Asennus betonimassaan.....                             | 27 |
| KUVA 18. Asennus asfaltin alle.....                             | 28 |
| KUVA 19. Asennus pihakiveyksen alle .....                       | 28 |
| KUVA 20. Asennus portaisiin .....                               | 29 |
| KUVA 21. Valmis kaapelimatto.....                               | 29 |
| KUVA 22. Vedonpoistokoukku.....                                 | 30 |
| KUVA 23. Liimattava loppupääte .....                            | 30 |
| KUVA 24. Putken mutkan kaapelointi .....                        | 32 |
| KUVA 25. Kaapelilenkit putken eri osille.....                   | 32 |
| KUVA 26. Putkilaipan kaapelointi .....                          | 33 |
| KUVA 27. Putkikannakkeen kaapelointi.....                       | 33 |
| KUVA 28. Venttiilin kaapelointi ”perhosmallilla”.....           | 34 |
| KUVA 29. Pumpun kaapelointi .....                               | 34 |
| KUVA 30. Kaapelit kiinnitettynä putken osiin.....               | 35 |
| KUVA 31. Saattolämmityksen varusteita .....                     | 36 |

## TAULUKOT

|   |    |
|---|----|
| TAULUKKO 1. Tehon tarve eri ulkoalueilla .....                                | 9  |
| TAULUKKO 2. Eristeaineiden lämmönjohtavuuksia .....                           | 16 |
| TAULUKKO 3. Saattolämmityskaapeleiden lämpötilakestoisuuksia.....             | 17 |
| TAULUKKO 4. Sulanapitokaapeleiden päälläolovuorokaudet.....                   | 21 |
| TAULUKKO 5. Sulanapidon kuluvertailu .....                                    | 21 |
| TAULUKKO 6. Pt100-anturin tarkkuusluokat.....                                 | 24 |
| TAULUKKO 7. Pt100-anturin johdinvärit.....                                    | 25 |
| TAULUKKO 8. Kaapelivarat erikokoisten putkien pumpuille ja venttiileille..... | 35 |

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli toimia apuna kiinteistöjen haltijoille, teollisuuden kunnossapitoryhmille, sähköurakoitsijoille ja suunnittelijoille, jotka pohtivat ratkaisuja jäätyminen estämiseksi ja lämpöhäviöiden kompensoimiseksi. Jäätymis- ja lämpöhäviöongelmien ratkaisemiseksi esitetään tässä opinnäytetyössä ratkaisuja sähkötoimisista lämpökaapeleista. Opinnäytetyö antaa tietoa kohteista, joissa lämpökaapeleiden käyttö olisi tarpeellista / perusteltua ja minkälaisia tuotteita kussakin kohteessa olisi hyvä käyttää.

Höyryllä toimivia saattolämmitysjärjestelmiä on käytetty lämpöhäviöiden korvaamiseen teollisuuskohteissa 1900-luvun alusta lähtien. Höyryn käyttöön perustuvien saattolämmitysten todettiin olevan osittain ongelmallisia luotettavuuden ja säädettävyyden kanssa, joten alettiin kehittämään vaihtoehtoisia tapoja korvata lämpöhäviöitä prosesseissa. Kehitystyön tuloksena saatiin tehtyä ensimmäiset sähkötoimiset lämpökaapelit, joita on käytetty jo 1930-luvulta saakka erinäisiin tarkoituksiin, joten opinnäytetyön alussa käsitellään lämpökaapeleiden historiaa ja kehitystä nykypäivään.

Erityisesti prosessiteollisuuden saatto- ja ylläpitolämmitysratkaisuiden suunnittelu vaatii perehtymistä kohteen tarpeisiin, olosuhteisiin ja vaatimuksiin, jotka on otettava huomioon suunnitelmia tehtäessä. Tässä opinnäytetyössä esitetään oleellimmat, laskelmiin ja valintoihin vaikuttavat seikat. Lämpökaapeleiden asentamiseen ja käyttöönottoon liittyvät oleellisena osana sähköturvallisuusmääräykset sekä tuotteiden valmistajien asennusohjeet. Opinnäytetyössä esitetään määräykset, jotka koskevat lämpökaapeliasennuksia sekä asennustapoja ja perustelut, miksi kaapeleita suositellaan asennettavaksi tietyllä tavalla.

Opinnäytetyön lähdeaineistona on käytetty pääasiassa Sähköinfo Oy:n julkaisemia ST-kortteja, tuotteita edustavien yritysten verkkosivuja ja tuote-esitteitä. Osittain aineisto perustuu opinnäytetyön tekijän omaan, alaan liittyvään työkokemukseen alan tuotteiden aluemyyntipäällikkönä.

## 2 LÄMPÖKAAPELEIDEN HISTORIA JA KEHITYS

Teollisuudessa on putkistojen lämpöhäviöitä kompensoitu jo 1900-luvun alusta saakka. Alussa kompensoimiseen hyödynnettiin prosesseista saatavaa höyryä, mutta nykyisin käytetään enimmäksä määrin sähköllä toimivia saattolämmityskaapeleita.

### 2.1 Ennen lämpökaapeleita

Ennen sähköllä toimivien lämpökaapeleiden keksimistä käytettiin prosessiputkistojen lämpöhäviöiden kompensoimiseen höyryä sen suuren lämpökapasiteetin ja sopivan lämmönsiirtokertoimen vuoksi. Höyryä käytettiin luovuttamaan omaa lämpöenergiaa prosessiputkissa kulkeville materiaaleille, jotta saatiin prosessissa käytettävien materiaalien lämpötila pysymään vakaana. Höyryn käyttö ei ole kovinkaan energiatehokasta saattolämmityskäytössä ja lisäksi höyryn käytössä ongelmakohdiksi osoittautuivat lämpötilan säätö prosesseille sopivaksi ja jatkuva huolto vuotojen ja korroosion vuoksi. Höyrykäyttöisten saattolämmitysjärjestelmien rakentaminen on myös kallista. Näistä haasteista johtuen alettiin kehittää sähköllä toimivia lämpökaapeleita. Höyryä käytetään silti vielä tänä päivänäkin erityisesti energian tuotantolaitoksissa pääosin siitä syystä, että sitä saadaan ilmaiseksi käyttöön laitosten varsinaisista prosesseista. (Verleyen 2020.)

### 2.2 Ensimmäiset lämpökaapelit

Sähkökäyttöiset lämpökaapelit kehitettiin 1930-luvulla kemiallisten ja sähköisten tutkimusten tuloksena. Kaapelit olivat jäykkiä, metallivaippaisia ja mineraalieristeisiä kupariseosjohtimilla varustettuja kaapeleita. Eristeaineena käytettiin jauhemaista, hyvin hygroskooppista magnesiumoksidia, mikä aiheutti sen, että kaapelin päiden ja pientenkin vaipan säröjen kautta kaapeli imi itseensä kosteutta, joka taas aiheutti sähkövuotoja vaipparakenteeseen. Kaapelit olivat kuitenkin varteenotettava vaihtoehto höyryllä toteutettavalle saattolämmitykselle. Kaapelit kestivät hyvin kemikaaleja ja korkeita lämpötiloja, mutta tärinää ne eivät kestäneet. (Verleyen 2020.)

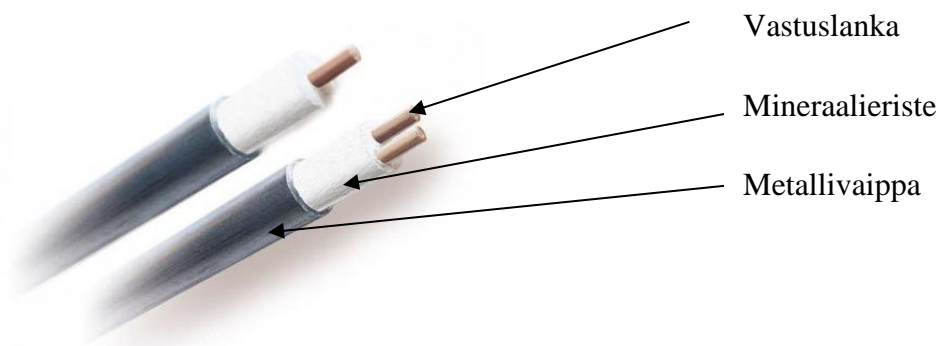


## 2.3 Nykyiset lämpökaapelit

Lämpökaapeleita käytetään hyvin paljon erilaisiin tarkoituksiin ja niitä kehitetään jatkuvasti vastaamaan paremmin erilaisia muuttuvia tarpeita. Kaapeleiden toimintatavoite on kuitenkin pysynyt samana, eli kaapeleiden on pystyttävä sulattamaan jäätä tai niiden on pystyttävä korvaamaan lämpöhäviöitä eri koh-teissa.

### 2.3.1 Mineraalieristeiset kaapelit

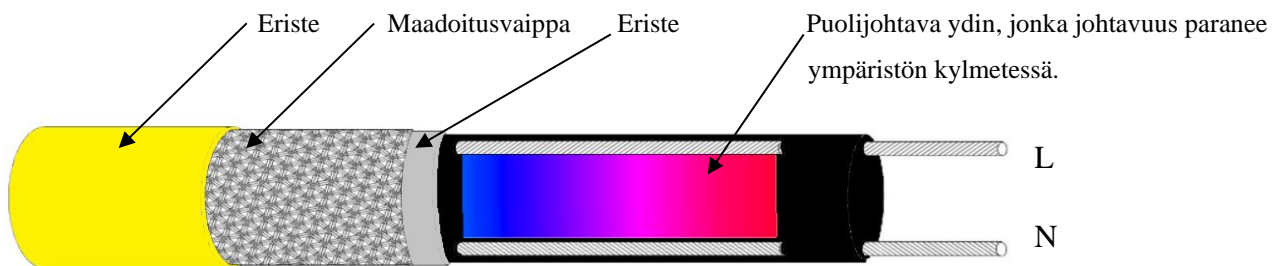
1950-luvulla keksittiin käyttää kuparilankojen sijasta vastusseoslankoja mineraalieristeisissä kaapeleissa, jolloin saatiin aikaan suurempia tehoja ja pystyttiin tarkemmin säätämään kaapeleiden tehokkuutta vaihtelemalla kulloinkin käytettävän vastuslangan resistiivisyyttä (Verleyen 2020). Mineraalieristeisten kaapeleiden loppupäätteiden ja liitoskappaleiden valmistustekniikka aiheuttaa sen, että kaapelit on käytännössä valmistettava kaapelitoimittajan tehtaalla suunnitelman mukaiseen määrämittaan tehtynä. Kaapelireitit on suunniteltava huolellisesti, koska kaapeleita ei voi asentaa esimerkiksi ristiin itsensä kanssa. Kaapeleiden pituutta suunniteltaessa on otettava huomioon mm. putkikannakkeiden, venttiilien ja laippojen tarvitsema lisäkaapelin tarve, sillä kaapeleita ei voi lyhentää eikä jatkaa asennuskoh-teessa. Mineraalieristeiset kaapelit olivat ja ovat edelleenkin suosittuja lämpökaapeleita etenkin öljy- ja kaasuteollisuudessa, mutta myös muilla teollisuuden aloilla, jossa vaaditaan kaapeleilta korkeaa lämpö-tilan kestoa sekä suurta tehoa. Mineraalieristeisiä kaapeleita on 1- tai 2-johtimisia. 2-johtimiset kaapelit päätetään yhdistämällä johtimet loppupäätteessä ja 1-johtimiset asennetaan lenkille tuoden molemmat päät liitántärasialle. Kaapelin rakenne on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Mineraalieristeisiä lämpökaapeleita (mukaillen Pistesarjat Oy 2022)

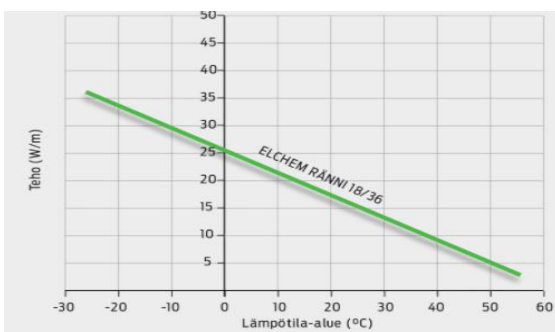
### 2.3.2 Itserajoittuvat kaapelit

1970-luvulla Reychemin (nykyisin nVent) tuotekehittäjät keksivät ensimmäisen polymeeripohjaisen itsestään tehoa rajoittavan kaapelin, jota ei tarvinnut valmistaa tehtaassa määrämittäiseksi, vaan se pysyttiin asennuskohteessa tekemään sopivan mittaiseksi, koska kaapelin pituus ei vaikuttanut metritehokkuuteen (Verleyen 2020). Itserajoittuvaa kaapelia voitiin asentaa myös ei-homogeeniseen ympäristöön, koska se rajoittaa itse tehoaan, kaapelin ympäristön mukaan. Kaapelin ympäristön ollessa kylmä, kaapelin teho lisääntyy ja lämpimässä ympäristössä kaapelin teho laskee. Itserajoittuvilla kaapeleilla saavutettiin parempi energiatehokkuus itseään rajoittavan ominaisuuden avulla ja myös ylikuumenemisiongelmiä päästiin eroon. Itserajoittuvien kaapeleiden lämpöä tuottava osa on johdinten välissä oleva puolijohdemateriaali, jonka kautta virta kulkee paluu johtimelle. Itserajoittuvia kaapeleita käytetään monipuolisesti teollisuuden saattolämmityskohteissa ja kiinteistöjen putkien ja sadevesijärjestelmien sulanapidossa. Jonkin verran teholtaan n. 100 W/m itserajoittuvia kaapeleita käytetään myös betoniin upotettuna mm. nosto-ovien alareunan jäätyksen estämisessä sekä portaikoissa saneerauskohteissa. Kaapelin toimintaa ja rakennetta esitellään kuvassa 2.



KUVA 2. Itsestään säätyvän kaapelin rakenne ja toimintaperiaate lämpötilojen mukaan (mukaiillen Pistesarjat Oy 2022)

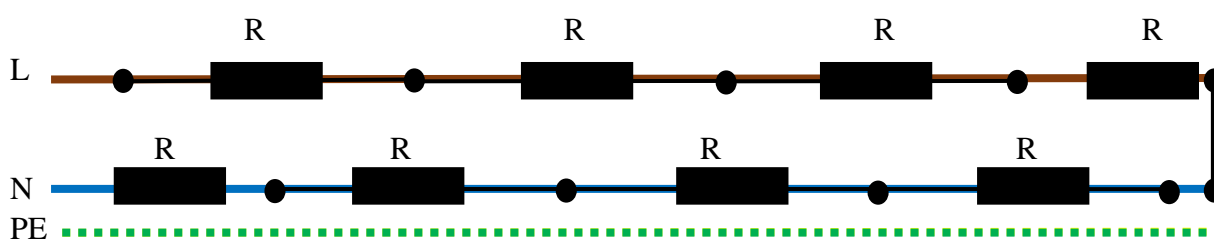
Itsesäätyvän kaapelin toimintaperiaatetta voidaan esittää käyrämuodossa tehon ja lämpötilan suhteessa.



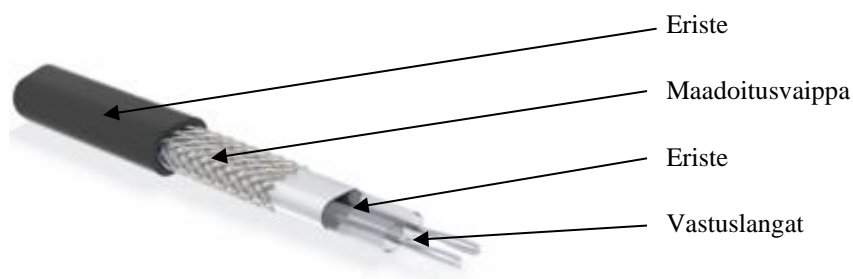
KUVA 3. Itsesäätyvän kaapelin tehokäyrä lämpötilan suhteen (mukaiillen Pistesarjat Oy 2022)

### 2.3.3 Polymeeripohjaiset vakiovastuskaapelit

Itsestään säätyvän kaapelin ominaisuuksiin perustuen alettiin kehittää myös polymeeripohjaisia vakiovastuskaapeleita vaihtoehtoksi mineraalieristeisille kaapeleille. Niitä on helpompi asentaa ja ne ovat hinnaltaan mineraalieristeisiä kaapeleita edullisempia. (Verleyen 2020). Vakiovastuskaapelit valmistetaan mineraalieristeisten tapaan määrämittäisiksi ja -tehoisiksi toimittajan tehtaalla. Lämpöä tuottava osa vakiovastuskaapeleissa on johtimina käytettävät vastuslangat. Kaapeleiden jatkaminen tai lyhentäminen vaikuttaa kaapelin kokonaistehoon. Kaapelireitit ja pituudet on suunniteltava huolellisesti, koska kaapeleita ei voi asentaa esimerkiksi ristiin itsensä kanssa. Mikäli kaapelia lyhennetään, sen kokonaisvastus pienenee ja teho kasvaa. Tällöin on vaarana ylittää kaapelin suurin sallittu metriteho, joka voi johtaa kaapelin ennen aikaiseen tuhoutumiseen. Mikäli kaapelia jatketaan, kasvaa kaapelin kokonaisvastus ja sen metriteho laskee. Tällöin voi olla, ettei toivottua lämmitystehoa saavuteta ja esimerkiksi porrastanteen sulanapitoon vaadittava teho ei riitä. Vakiovastuskaapeleita käytetään yleensä lattialämmityksissä, ulkoalueiden sulanapidoissa ja saattolämmityskohteissa, joihin käytetään pitkiä kaapeleita. Vakiovastuskaapelit on asennettava koko pituudeltaan homogeeniseen ympäristöön, koska ne eivät rajoita lämmitystehoa itsestään ja näin ollen voivat ylikuumentua. Kuten mineraalieristeisiä kaapeleita, on myös polymeeripohjaisia vakiovastuskaapeleita 1- ja 2-johtimisia. 2-johtimiset kaapelit päätetään yhdistämällä johtimet loppupääteessä ja 1-johtimiset asennetaan lenkille tuoden molemmat päät liitännäkselle. Vakiovastuskaapelin toimintaperiaatetta esitellään kuviossa 1 ja rakenne kuvassa 4.



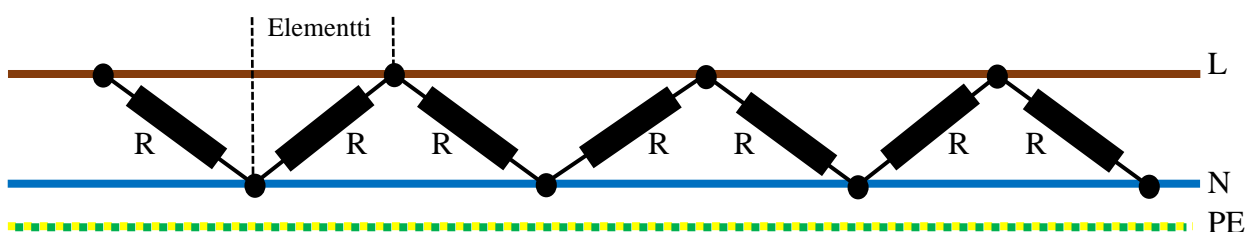
KUVIO1. Vakiovastuskaapelin periaate



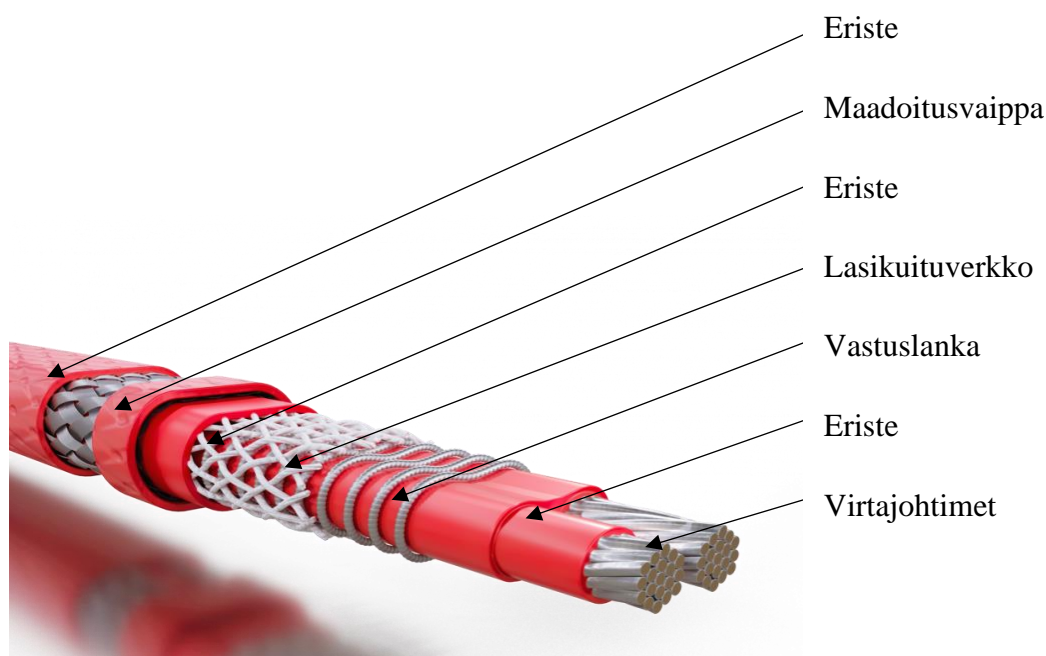
KUVA 4. Vakiovastuskaapelin rakenne (mukaillen Pistesarjat Oy 2022)

### 2.3.4 Vakiometrithehokaapelit

Vakiometrithehokaapelissa on lämmön lähteenä johdinten ympärille kierretty vastuslanka, joka on yhdistetty virtajohtimiin vuorotellen tietyin välimatkoin, jolloin muodostuu määrämittäisiä lämmityselementtejä (Verleyen 2020). Kaapelia voidaan näin lyhentää ilman, että sen metriteho muuttuu. Elementtien tehoa määrää vastuslangan resistiivisyys. Elementtien pituudet ovat kaapelista riippuen 1–2 metrin mittaisia ja kaapeleita valmistetaan eri tehoisia. Yleisimmin näitä kaapeleita käytetään prosessiteollisuudessa kohteissa, joissa vaaditaan suurta lämmönkestoa ja suurta lämmöntuottoa. Vakiometrithehokaapelin toiminta periaate on esitetty kuviossa 2 ja kuvassa 5 on esitelty kaapelin rakenne oikeasta kaapelista.



KUVIO 2. Vakiometrithehokaapelin periaate



KUVA 5. Vakiometrithehokaapelin rakenne (mukaillen Pistesarjat Oy 2022)

### 3 LÄMPÖKAAPELEIDEN KÄYTTÖKOhteITA

Ensimmäiset käyttökohteet lämpökaapeleille olivat lähinnä teollisuuden putkistot, joiden lämpöhäviötä kompensoitiin lämpökaapeleilla. Nykyisin lämpökaapeleita käytetään erilaisiin käyttötarkoituksiin teollisuudessa ja kiinteistöissä.

#### 3.1 Kiinteistöt

Kiinteistöissä lämpökaapeleita käytetään turvallisuus-, esteettömyys- ja mukavuussyistä. Kiinteistöissä lämpökaapeleita käytetään etupäässä jään ja lumen sulattamiseen sekä jäätyminen estämiseen. Kiinteistöjen sadevesijärjestelmät voidaan varustaa sulanapitokaapeleilla estämään katolta sulavan lumen muodostaman veden jäätyminen lämpötilojen vaihdellessa. Sulamisvedet voivat jäätyessään tukkia sadevesikourut, syöksytorvet ja sadevesikaivot. Katoilta valuva vesi voi muodostaa jäätyessään jääpuikkoja räystäisiin ja sadevesikouruihin, jotka pudotessaan voivat aiheuttaa vaaratilanteita sekä aineellisia vahinkoja. Mikäli sadevesijärjestelmä on jäässä, voivat sulamisvedet päätyä jopa kiinteistön rakenteisiin ja aiheuttaa pahimmassa tapauksessa kosteusvaurioita, jotka voivat johtaa mittaviin korjauskustannuksiin. (Pistesarjat Oy 2022.)

Kiinteistöjen ulkoalueilla mm. porrasalueet, pyörätuoliluiskat, ajorampit ja lastauslaiturit varustetaan usein lämpökaapeleilla, jotta näissä liikkuminen olisi mahdollisimman turvallista ja vaivatonta. Myös pienikiinteistöjen kulkuväylille ja sadevesijärjestelmiin asennetaan lämpökaapeleita osittain mukavuus mutta myös turvallisuussyistä. (Pistesarjat Oy 2022.)

Muita lämpökaapeleiden käyttökohteita kiinteistöissä ovat käyttövesiputkien ja palovesijärjestelmien jäätyminenestokaapelointi. Lämmityskaapeleita tarvitaan myös esimerkiksi pakastevarastoiden lattioiden alla, jotta maa varaston alla ei ala routimaan varaston kylmyyden vuoksi. Lämpökaapeleita asennetaan kiinteistöihin myös lämmönlähteeksi, lattialämmityskaapeleiden muodossa. (Pistesarjat Oy 2022.)

### 3.2 Teollisuus

Teollisuudessa lämmityskaapeleita käytetään putkistojen saattolämmitykseen, jotta prosessissa käytettävät fluidit (putkistossa nestemäisenä kulkevat prosessissa tarvittavat materiaalit) saadaan siirrettyä halutun lämpöisenä kohteeseensa. Teollisuudessa on myös säiliöitä, joiden sisältämät materiaalit on pidettävä prosessien vaatimassa lämpötilassa ennen siirtämistä prosessiin. Säiliöt voidaan varustaa lämpökaapeleilla, joiden avulla säiliön lämpötila saadaan pysymään haluttuna. Teollisuuskohteissa on usein myös sammutusjärjestelmiin liittyviä palovesisäiliöitä ja sprinkleri- ja palovesiputkistoja, joiden jäätymistä estetään lämpökaapeleiden avulla. Lämpökaapeleiden avulla voidaan myös varmistaa venttiilien, pumppujen ja muiden toimilaitteiden toimintaa kylmissä olosuhteissa. Teollisuudessa on myös paljon mm. huoltokohteiden kulkuväyliä, jotka sisältävät portaita ja käsijohteita, joita pidetään sulana lämpökaapeleiden avulla, jotta niissä olisi turvallista kulkea.

## 4 LÄMPÖKAAPELIJÄRJESTELMIEN SUUNNITTELU

Jotta lämpökaapelijärjestelmistä saadaan kohteiden käyttötarpeisiin sopivia, on suunnittelijan tiedettävä, minkälaisia kaapeleita ja antureita kuhunkin kohteeseen olisi hyvä käyttää ja mitkä ovat kokemukseen ja laskelmiin perustuvia arvoja, joihin voi luottaa suunnitelmaa tehdessään. Tässä luvussa käsitellään niitä asioita.

### 4.1 Ympäristö ja olosuhteet

Rampeja ja ulkoalueita suunniteltaessa on otettava huomioon olosuhteet sulana pidettävällä alueella. Olosuhdetekijöitä ovat mm. sulana pidettävän alueen liikenne, ympäristön lämpötila ja tuulisuus. Alla olevassa taulukossa esitetään erilaisten ulkoalueiden tehon tarvetta, jotta sulanapito toimii luotettavasti ja tehokkaasti.

TAULUKKO 1. Tehon tarve eri ulkoalueilla (Pistesarjat Oy 2022)

| Sulana pidettävä kohde                   | Tehosuositus             |
|--|--------------------------|
| Liikenne kevyttä, tuulelta suojattu alue | 175–225 W/m <sup>2</sup> |
| Jalkakäytävät, portaat, ovien edustat    | 200–300 W/m <sup>2</sup> |
| Liikenne raskasta, tuulinen alue         | 300–400 W/m <sup>2</sup> |
| Sadevesikourut ja syöksytorvet           | 15–30 W/m                |

Kulkuväylien ja portaikoiden sulanapito toteutetaan yleisimmin vakiovastuskaapeleilla, joita ohjataan ulkolämpötilan, kosteuden ja sulana pidettävän alueen lämpötilan mukaan. Sadevesijärjestelmiin yleensä sopiva kaapeliteho on 15–30 W/m, ja näiden kohteiden toteutukseen sopii parhaiten itsesäätyvät kaapelit, koska kaapelin matkalla olosuhteet vaihtelevat jäästä veteen ja kuivaan ympäristöön. Itsesäätyvä kaapeli reagoi olosuhteiden muutoksiin vähentämällä tehoa niissä kohdissa, jossa sitä ei tarvita, jolloin asennuksen energiatehokkuus saadaan paremmaksi. Sadevesijärjestelmien syöksytorviin tulevien kaapeleiden tulee ulottua sadevesikaivoon routarajan alapuolelle, jotta sulamisvedet ohjautuvat haluttuun paikkaan eivätkä tulvi jäätyneestä kaivosta piha-alueelle. (Pistesarjat Oy 2022.)

Vesiputkien ja viemäriputkien sulanapito voidaan toteuttaa itsesäätyvillä kaapeleilla tai vakiovastuskaapeleilla. Vakiovastuskaapeleille suurimmiksi metritehoiksi on annettu suositukseksi 10 W/m muoviputkille ja 20 W/m metalliputkille (Pistesarjat Oy 2022). Putket suositellaan aina eristettäväksi saattolämmityskohteissa. Putkien lämpökaapelia määriteltäessä otetaan huomioon lämpötilan muutos eli putken toivottu lämpötila ja ympäristön lämpötila. Lisäksi tulee tietää lämmitettävän putken halkaisija ja sen ympärille tuleva eristemateriaali sekä sen paksuus. Näillä tiedoilla saadaan laskettua lämpöhäviöt, joita lämpökaapeleilla kompensoidaan.

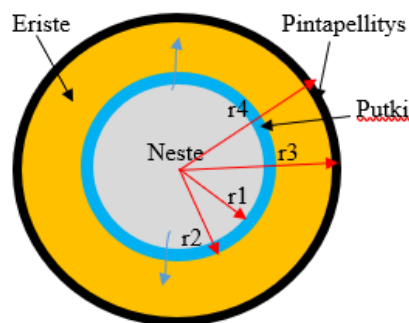
Teollisuuden lämpökaapelijärjestelmien suunnittelussa otetaan huomioon samat asiat kuten kiinteistöidenkin järjestelmien suunnittelussa. Niiden lisäksi otetaan huomioon putkilinjastojen pituudet, putkistoissa olevat venttiilit, putkien kannakkeet sekä mahdollisesti räjähdysvaaralliset olosuhteet.

## 4.2 Laskelmat

Lämpöhäviölaskelmia varten on kaapelivalmistajilla valmiita selainpohjaisia laskentaohjelmia, joihin syötetään kohteen tiedot ja niiden käyttö onnistuu useimmiten verkon kautta. Tässä esitän kuitenkin kaavat lämpöhäviöiden laskemiseksi ja esimerkin kautta lämpöhäviölaskelmat putkesta ja säiliöstä.

### 4.2.1 Eristetyn putken lämpöhäviöt

Lämpö siirtyy nesteestä johtumalla teräsputken ja eristeen sisällä, jolloin laskemiseen tarvitaan näiden aineiden lämmönjohtavuus. Nesteestä teräkseen ja eristeestä pellitykseen lämmönsiirto tapahtuu konvektiolla ja laskemiseen tarvitaan näiden pintojen lämmönsiirtokertoimet.



KUVIO 3. Eristetty putki (mukailten Vettenranta 2015)



Johtumisen lämpövastus määritellään jokaiselle sylinterimäiselle seinämälle kaavalla 1:

$$R = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \quad [\text{mK/W}], \quad (1)$$

jossa  $r_2$  on seinämän ulkosäde ja  $r_1$  seinämän sisäsäde ja  $\lambda$  on aineen lämmönjohtavuus [(W/mK)]

Konvektion lämpövastus määritellään kaavalla 2:

$$R = \frac{1}{h} \quad [\text{m}^2\text{K/W}], \quad (2)$$

jossa  $h$  on pinnan lämmönsiirtokerroin [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]. Tämä on tyypillisesti luokkaa 1500 – 2000  $\text{W/m}^2\text{K}$  putkivirtauksessa ja 5 – 30  $\text{W/m}^2\text{K}$  ulkoilmassa olevalla vaakaputkelle. Laskenta-arvona voidaan ulkoilmassa sijaitseville putkille käyttää 25  $\text{W/m}^2\text{K}$

Säteilyn lämpövastus määritellään kaavalla 3:

$$R = \frac{1}{h} \quad [(\text{m}^2\text{K/W})], \quad (3)$$

jossa  $h$  on pinnan säteilyn lämmönsiirtokerroin [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]. Säteilyn lämmönsiirtokerroin saadaan kaavasta 4:

$$\alpha_e = \varepsilon_p * \sigma * \frac{T_e^4 - T_s^4}{T_e - T_s}, \quad (4)$$

jossa  $\alpha_e$ , on lämmönsiirtokerroin putken ulkopinnalla [ $\text{W/mK}$ ],  
 $\varepsilon_p$ , on putken ulkopinnan emissiivisyys,  
 $\sigma$ , on Stefan-Boltzmannin säteilyvakio  $5,67 \cdot 10^{-8}$  [ $\text{W/m}^2\text{K}^4$ ],  
 $T_e$ , on putken ulkopinnan lämpötila [K] ja  
 $T_s$ , on ympäröivien pintojen keskilämpötila [K].

Emissiivisyyksille on olemassa runsaasti taulukoita, jossa galvanoidulle teräslevylle annetaan arvo 0,28. Käytännössä eristetyn putken säteily ympäristöön voidaan jättää huomiotta, koska lämpötilaero eristetyn putken pinnasta ulkoilmaan on korkeintaan muutama aste ja yllä olevasta kaavasta laskettu säteilyn

lämmönsiirtokerroin on hyvin pieni (n. 0,0001 W/(m<sup>2</sup>·K)). Verrattaessa tätä putken ulkopinnan konvektion lämmönsiirtokertoimeen, joka on noin 25 W/(m<sup>2</sup>·K), voidaan säteilyn lämmönsiirtokertoimen olevan merkityksetön. (Vettenranta 2015.)

Kokonaislämpövastus eristetyille putkelle voidaan ratkaista kaavalla 5:

$$R_{tot} = \frac{R_i}{2 \cdot \pi \cdot r_1} + \sum_{k=1}^{n-1} * \frac{\left( \ln \frac{r^{*(k+1)}}{r_k} \right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda k} + \frac{R_e}{2 \cdot \pi \cdot r_n} \quad [\text{mK/W}], \quad (5)$$

jossa  $R_i$  on putken sisäpinnan lämpövastus virtaavan nesteen ja seinämän välillä ( $1/h_{\text{konv}}$ ) ja  $R_e$  on putken ulkopinnan lämpövastus pellityksen ja ulkoilman välillä ( $1/h_{\text{konv}}$ ).

Esimerkkilasku 1

Laskun kohteena on teräsputki, jonka sisähalkaisija on 50 mm ja seinämävahvuus 2 mm ( $\lambda=60$  W/(m·K)). Putki on eristetty 50 mm:n vahvuisella kivivillaeristeellä ( $\lambda=0,037$  W/(m·K)). Pinta on suojattu 1 mm:n vahvuisella pellityksellä ( $\lambda=60$  W/(m·K)). Putkessa virtaa +50-asteinen vesi. Lasketaan lämpöhäviö/metri -30 °C ulkolämpötilassa.

Lasketaan konvektio nesteen ja seinämän välillä

$$R_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,025} = 0,004244 \frac{\text{mK}}{\text{W}},$$

Lasketaan johtuminen teräsputkessa

$$R_2 = \frac{\ln \frac{0,027}{0,025}}{2 \cdot \pi \cdot 60} = 0,0002041 \frac{\text{mK}}{\text{W}},$$

Lasketaan johtuminen eristeessä

$$R_3 = \frac{\ln \frac{0,077}{0,027}}{2 \cdot \pi \cdot 0,037} = 4,5078 \frac{\text{mK}}{\text{W}},$$

Lasketaan johtuminen pintapellityksessä

$$R_4 = \frac{\ln \frac{0,078}{0,077}}{2 * \pi * 60} = 0,000034 \frac{mK}{W},$$

Lasketaan konvektio pellityksestä ulkoilmaan

$$R_5 = \frac{\frac{1}{25}}{2 * \pi * 0,078} = 0,08162 \frac{mK}{W},$$

Lasketaan kokonaislämpövastus

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = 4,5123 \frac{mK}{W},$$

Lämpövirta Q voidaan laskea kaavalla 6

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{R_{tot}} * L, \tag{6}$$

Jossa T1 on virtaavan aineen lämpötila, T2 on ympäristön lämpötila ja L on putken pituus.

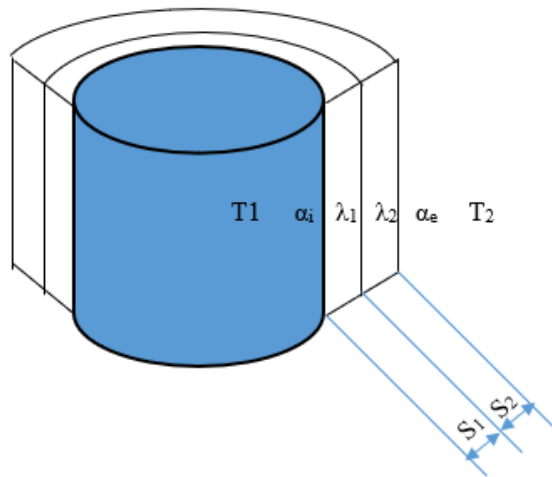
Lasketaan esimerkin lämpöhäviö

$$Q = \frac{50 - (-30)}{4,5123} * 1 = 17,7 \frac{W}{m},$$

Tämän lämpöhäviölaskelman perusteella voidaan määritellä putkelle sopiva saattolämmityskaapeli, joka tässä tapauksessa olisi n. 20 W/m tehoinen kaapeli. Eriste muodostaa pääosan koko rakennelman lämpövastuksesta, jonka perusteella riittävän tarkkaan lopputulokseen päästään yleensä laskemalla vain eristeen lämpövastus.

#### 4.2.2 Eristetty säiliö

Lämpö siirtyy nesteestä johtumalla, säiliön seinämien ja eristeen sisällä, jolloin laskemiseen tarvitaan näiden aineiden lämmönjohtavuus. Nesteestä seinämiin ja eristeestä pellitykseen lämmönsiirto tapahtuu konvektiolla ja laskemiseen tarvitaan näiden pintojen lämmönsiirtokertoimet.



KUVIO 4. Eristetty lieriön muotoinen säiliö (mukaillen Vettenranta 2015)

Säiliöille lämpövastus saadaan kaavasta 7

$$R = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_{j=1}^n \frac{S_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_e}, \quad [\text{m}^2\text{K}/\text{W}] \quad (7)$$

Jossa

R on säiliön kokonaislämpövastus [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ],

$\alpha_i$  on säiliön sisäpinnan lämmönsiirtokerroin [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ],

$S_j$  on eristekerroksen j paksuus [m],

$\lambda_j$  on eristekerroksen j lämmönjohtavuus [ $\text{W}/\text{mK}$ ] ja

$\alpha_e$  on säiliön ulkopinnan lämmönsiirtokerroin [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ].

Kaava on tarkoitettu suorakaiteen muotoisten säiliöiden laskentaan, mutta yleensä tarvittavalla tarkkuudella sitä voidaan käyttää myös lieriön muotoisten säiliöiden lämpöhäviöiden laskentaan. Ulkopinnan lämmönsiirtokerroimeksi voidaan asettaa sama arvo kuin ulkotiloissa sijaitsevalle putkelle ( $25 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ). Säiliön sisällön lämmönsiirtokerroin on nestemäisillä aineilla hyvin suuri ja tästä syystä sisäpinnan lämpövastus voidaan jättää huomioimatta ( $1/\alpha_i$  on likipitään 0). (Vettenranta 2015.)

Säiliön lämpöhäviö lasketaan kaavalla 8

$$P_{\text{säiliö}} = \frac{1}{R_{\text{tot}}} * (T_1 - T_2) * A, \quad [\text{W}] \quad (8)$$

jossa  $R_{\text{tot}}$  on säiliön kokonaislämpövastus [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ],  
 $T_1$  on säiliön sisälämpötila [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $T_2$  on ympäristön lämpötila [ $^{\circ}\text{C}$ ] ja  
 $A$  on säiliön pinta-ala eristeineen, ulkomittojen mukaan [ $\text{m}^2$ ].

Esimerkkilasku 2

Kohde on tasapäätyinen pyöreä säiliö ulkona, jonka halkaisija on yksi metri ja korkeus kolme metriä. Eristeaineena on mineraalivilla, jonka paksuus on 10 cm (mineraalivillan lämmönjohtavuus  $\lambda=0,037$   $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ). Säiliön seinämät ovat kahden millimetrin vahvuista teräslevyä ( $\lambda=60$   $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ). Ulkopinnan lämmönsiirtokerroin on  $\alpha_u=25$  ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ). Säiliössä on nestettä, jonka lämpötila on  $+40$   $^{\circ}\text{C}$ . Ulkolämpötila on  $-30$   $^{\circ}\text{C}$ .

Lasketaan kokonaislämpövastus

$$R_{\text{tot}} = \frac{0,002}{60} + \frac{0,01}{0,037} + \frac{1}{25} = 0,3103 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Lasketaan säiliön kokonaispinta-ala

$$A = 2 * \pi * 0,6 * 3,2 + 2 * \pi * 0,6^2 = 14,33 \text{ m}^2,$$

Lasketaan säiliön lämpöhäviö

$$Q_{\text{säiliö}} = \frac{1}{0,3103} * (40 - (-30)) * 14,33 = 3232 \text{ W},$$

Säiliön kannakkeet, venttiilit ja muut rakennelmaan liittyvät asiat otetaan huomioon korjauskertoimella  $a$ , joka on ulkona sijaitsevalle säiliölle 1,15 ja sisällä sijaitsevalle säiliölle 1,1.

Lasketaan lämpöhäviö korjauskertoimella

$$Q_{\text{säiliö korjauskertoimella}} = 3232 \text{ W} * 1,15 = 3717 \text{ W},$$

Lämpöhäviöihin vaikuttavat monet asiat, joita voi olla laskemalla vaikea todentaa. Niitä voivat olla esimerkiksi:

- eristeen eristyskyvyn heikkeneminen ajan kuluessa
- eriste voi liikkua tai kastua, mikäli siihen kohdistuu ulkoisia rasitteita
- lämmityskaapeli vanhenee ja sen teho heikkenee
- mahdolliset jännitteen alenemat pitkissä lämmityskaapelipiireissä

(Vettenranta 2015.)

Lisänä lämpöhäviöiden laskemisessa on syytä huomioida, onko säiliö asennettu suoraan maahan vai mahdollisesti tukijaloille. Nämä seikat yleensä kysytään selainpohjaisissa laskentaohjelmissa lämpöhäviöitä määriteltäessä.

TAULUKKO 2. Eristeaineiden lämmönjohtavuuksia (Eristekeskus Oy 2022)

| Eriste           | Lämmönjohtavuus W/mK |
|------------------|----------------------|
| Lasivilla        | 0,031–0,041          |
| Mineraalivilla   | 0,032–0,041          |
| XPS-polystyreeni | 0,031–0,037          |
| PIR-polyuretaani | 0,022–0,023          |

### 4.3 Kaapelipiirien enimmäispituudet ja lämpötilan kesto

Itsesäätävillä kaapeleilla on suuret käynnistysvirrat, mikä järjestelmää suunniteltaessa tulee ottaa huomioon. Kaapelityypeille on valmistaja määritellyt kaapelipiirien maksimitat, jotka vaikuttavat kaapeliryhmän johdonsuoja-automaatin kokoon. Esimerkkinä valmistajan antamista enimmäispituuksista esitetään kuvassa 6, aiemmin mainitun Elchem Ränni-kaapelin enimmäispituustaulukko sulakekoon ja päälle-kytkentä lämpötilan mukaan.

| Kytkenälämpötila (°C) | Nimelliskatkaisu-arvo (A) | Lämmityspiirin max. pituus (m) |
|-----------------------|---------------------------|--------------------------------|
| 10                    | 10 / 16 / 20              | 68 / 109 / 129                 |
| 0                     | 10 / 16 / 20              | 57 / 92 / 115                  |
| -10                   | 10 / 16 / 20              | 50 / 79 / 99                   |
| -20                   | 10 / 16 / 20              | 44 / 70 / 87                   |

KUVA 6. Elchem Ränni-kaapelin enimmäispituudet (Pistesarjat Oy 2022)

Teollisuuskohteiden saattolämmitysten suunnittelussa on otettava huomioon lämpöhäviöiden lisäksi putkistoissa kulkevan aineen lämpötila ja putkistojen muuttuvat olosuhteet, esimerkiksi aika ajoitin tehtävien putkistojen höyrypuhdistuksien lämpötila. Sopivat kaapelit tulee valita kaapelivalmistajan ilmoittamien maksimikäyttölämpötilojen mukaan jännitteisenä ja ilman jännitettä. Taulukossa 3 on esitetty muutamien saattolämmityskaapeleiden lämpötilakestoisuuksia.

TAULUKKO 3. Saattolämmityskaapeleiden lämpötilakestoisuuksia (Pistesarjat Oy 2022)

| Kaapeli tyyppi     | Maksimi jatkuva lämpötila jännitteisenä °C | Maksimilämpötila jännitteettömänä °C | Hetkellinen maksimi-lämpötila jännitteettömänä °C |
|--------------------|--|--------------------------------------|---|
| Elchem Ränni 18/36 | 65   | 85                                   |   |
| Thermon BSX        | 65   | 85                                   |   |
| Thermon HTSX       | 150  | 204                                  | 250   |
| Thermon MIQ        | 500  | 600                                  |   |

Lämpötilan kestoisuuksissa on havaittavissa suuria eroavaisuuksia, joten ne on otettava huomioon suunnittelun yhteydessä, jotta vältetään kaapeleiden vioittumisilta.

Teollisuuden saattolämmityskaapeleiden suunnittelussa on otettava huomioon myös kaapeleiden kemikaalien kestoisuus. Kaapeleiden kemikaalien kestoisuuteen vaikuttaa kaapelin ulkovaipan materiaali. Hyvin kemikaaleja kestävien kaapeleiden ulkovaippa on valmistettu yleisesti fluoropolymeeristä (Pistesarjat Oy 2022).

#### 4.4 Ohjaukset

Lämpökaapelijärjestelmien ohjausjärjestelmät vaihtelevat käyttökytkimistä monipuolisiin ohjauskeskuksiin antureineen. Erilaisten ohjausjärjestelmien käyttäminen vaikuttaa asennusten energiatalouteen sekä kaapeleiden käyttöikänsä. Teollisuudessa voidaan säästää turhaa energian kulutusta valvonta- ja ohjausjärjestelmillä, jotka estävät turhien saattolämmitysten päällä olon silloin, kun niitä ei tarvita. Esimerkiksi raakavesiputkessa voi saattolämmitys olla pois päällä, jos putkessa on jatkuva virtaus, eikä se näin pääse jäätymään.

Yleisesti käytetty rännikaapelikin voi altistua kesällä auringon siihen paistaessa liian lämpimille olosuhteille ja siksi sillekin on syytä suunnitella ohjaus, joka katkaisee jännitteen kaapelilta lämpötilan ylittäessä tietyn rajan, vaikka se onkin itserajoittuvaa kaapelia. Näin voidaan estää kaapelin ennenaikainen vanheneminen ja vioittuminen. Usein erityisesti kiinteistöjen sulanapitoratkaisuissa lämpökaapeleiden ohjaamiseen käytetään pelkästään ulkoilman lämpötilaan perustuvaa ohjausta. Energian säästön kannalta olisi hyvä ottaa mukaan myös ympäristön olosuhteet kuten sade.

#### 4.4.1 Kiinteistöjen lämpökaapeleiden ohjausjärjestelmiä

Yksinkertaisin lämpökaapeleiden ohjaus perustuu päälle-poiskytkimeen. Automatiikkaa saadaan ohjaukseen toteuttamalla se esimerkiksi käyttämällä ulkolämpötilan mukaan päälle ja pois kytkeytyvää ohjausta. Tämä voidaan toteuttaa yksinkertaisella termostaatilla, jonka koskettimen kautta voidaan kytkeä syöttö lämpökaapelille, tai jos lämmitysryhmän virta on koskettimen katkaisukykyä suurempi, voidaan koskettimen kautta viedä ryhmän kontaktoria ohjaava jännite. Kuvassa 7 on esitetty yksinkertainen ulkoseinälle asennettava kaksoistermostaatti, jolla saadaan asetettua lämmityksen ylä- ja alaraja.



KUVA 7. Kaksoistermostaatti DTR-E 3102 16A (Pistesarjat Oy 2022)

Olosuhteet voivat olla aika-ajoin lämpötilan suhteen lämmitystä vaativat, mutta lämmitettävässä kohteessa ei ole jäätä tai kosteutta, jonka vuoksi lämmitystä tarvittaisiin. Ilman kosteuden tunnistavia antureita kaapelit ovat päällä turhaan ja kiinteistön energian kulutus kasvaa. Siksi on yleensä kannattavaa yhdistää lämpötilan ja kosteuden valvonta, jotta turhasta energian kulutuksesta päästään eroon. Sadevesijärjestelmä voidaan varustaa ryhmäkeskukseen asennettavalla ohjausyksiköllä, joka ohjaa lämmitystä päälle ja pois antureilta saatujen tietojen ja tehtyjen asetusten perusteella. Kuvassa 8 on esitetty kaksikanavainen ohjausyksikkö PST5000 ja kuvissa 9 ja 10 siihen liitettävät anturit.





KUVA 8. Sulanapidon ohjausyksikkö PST5000 (Pistesarjat Oy 2022)



KUVA 9. Lämpötila-anturi PST 5040 (Pistesarjat Oy 2022)



KUVA 10. Lumi- / jääanturi PST 5030 (Pistesarjat Oy 2022)

Aluesulanapitoaapeleita voidaan ohjata pelkän lämpötilan mukaan päälle ja pois, mutta lämpötilan, lumen, jään ja kosteuden tunnistamiseen on olemassa antureita myös aluesulanapitojärjestelmille. Näitä antureiden mittaustietoja hyödyntämällä voidaan pienentää energian kulutusta aluesulanapidossa. Ohjauksyksikkönä voidaan käyttää esimerkiksi edellä mainittua PST5000-ohjauksyksikköä ja siihen liitettäviä maa-antureita, jotka on esitetty kuvissa 11 ja 12.



KUVA 11. Jää-/lumianturi PST 5010 maahan (Pistesarjat Oy 2022)



KUVA 12. Kosteus-/lämpötila-anturi PST 5020 maahan (Pistesarjat Oy 2022)

Ohjauksyksiköitä löytyy markkinoilta useita erilaisia, kuten myös antureita, joilla olosuhteita mitataan. Yleensä vain saman valmistajan anturit ja ohjainyksiköt ovat yhteensopivia keskenään johtuen erilaisista toiminnoista ja NTC-vastusten arvoista. Ohjattavien lämpökaapeleiden toiminnat sen sijaan eivät ole sidottuja minkään tietyn valmistajan ohjauksjärjestelmiin.

Kosteuden huomioivan ohjausjärjestelmän vaikutusta energian kulutukseen tutkittiin teoreettisen esimerkin avulla. Esimerkkinä laskettiin Oulussa sijaitseva sulana pidettävä ramppi, kooltaan 4 m<sup>2</sup>, talvella 2020–2021. Lämmitystehon tarve rampille on 1200 W, joka voidaan laskea taulukossa 1 esitetyistä arvoista. Lämpötilat ja sademäärät vertailuajankohtaan saatiin ilmatieteenlaitoksen avoindata palvelusta.

Sulanapito säädetään yleisesti olemaan päällä +2 °C:n ja -2 °C:n välisessä lämpötilassa, joten palvelusta otettiin huomioon ne päivät, jolloin lämpötila oli noissa rajoissa. Vertailu on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Sulanapitokaapeleiden päälläolovuorokaudet (Ilmatieteenlaitos 2022)

| kk / vuosi     | Päivät, jolloin lämpötila oli<br>-2 °C – 2 °C (vrk) | Päivät, jolloin lämpötila oli<br>-2 °C – 2 °C ja satoi (vrk) |
|----------------|---|--|
| Lokakuu 2020   | 10  | 5  |
| Marraskuu 2020 | 10  | 5  |
| Joulukuu 2020  | 10  | 10   |
| Tammikuu 2021  | 1   | 0  |
| Helmikuu 2021  | 4   | 0  |
| Maaliskuu 2021 | 11  | 5  |
| Huhtikuu 2021  | 18  | 10   |
| Toukokuu 2021  | 2   | 1  |

Yhteenvedona taulukossa 4 esitetyistä sulanapidon päälläolovuorokausista voidaan esittää sulanapitokauden kulurakenne taulukon 5 mukaisesti.

TAULUKKO 5. Sulanapidon kuluvertailu

|                                     |                                 |                             |
|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Lämmitys päällä yhteensä            | 66 vrk ilman kosteustunnistusta | 36 vrk kosteustunnistimella |
| Kulutettu energia yhteensä<br>(kWh) | 2059,2                          | 1123,2                      |
| Euroa yhteensä (0,16 € / kWh)       | 329,47                          | 179,71                      |

Todellisuudessa ero näiden kahdella eri ohjaustavalla toteutetun sulanapitojärjestelmän välillä energian kulutuksessa olisi mahdollisesti jopa suurempi, koska sulanapito kosteuden tunnistavalla järjestelmällä olisi kytkeytynyt pois päältä, kun sateen aiheuttamaa kosteutta ei olisi rampilla enää havaittu. Tuossa lämpötilassa tosin voi esiintyä huurtumista ja kosteutta ilman sadettakin, mutta tässä teoreettisessa

tapauksessa energian kulutuksen ero oli ohjaustapojen välillä huomattava ja monipuolisemman ohjausjärjestelmän hankinta olisi jo lähes maksanut itsensä.

Sulanapitojen ohjausjärjestelmiä kehitetään ohjaamaan tarkemmin sulanapitoa toimimaan juuri siellä, missä sitä kulloinkin tarvitaan. Uudet ohjausjärjestelmät keskustelevat kiinteistöjen muiden huolto- / kunnossapitojärjestelmien kanssa ilmoittaen huoltotarpeista, häiriöistä, energian kulutuksesta ja muista oleellisista asioista. Häiriötilanteissa ne voidaan ohjelmoida ilmoittamaan huoltohenkilöille suoraan matkapuhelimeen viasta, jolloin päästään nopeasti korjaamaan häiriön aiheuttajaa. Yksi tällainen uudenajan ohjausjärjestelmä on Pistesarjat Oy:n kehittämä IceControl-sulanapitokeskus. (Pistesarjat Oy 2022.)



KUVA 13. IceControl-sulanapitokeskus (Pistesarjat Oy 2022)

#### 4.4.2 Teollisuuden lämpökaapeleiden ohjausjärjestelmät

Teollisuudessa saattolämmityksiä on usein paljon ja niille on kehitetty omanlaisia saattolämmityksen ohjausjärjestelmiä, joissa voi olla pehmytkäynnistimiä, hälytystoimintoja ja yhteydet valvomojärjestelmiin.

Yksinkertaisimmillaan teollisuudessakin voidaan erityisesti sulana pidettävien kohteiden ohjaukseen käyttää ulkoilman lämpötilaan perustuvaa ohjaustapaa, mutta prosesseihin liittyvien putkistojen, säiliöiden ja toimilaitteiden saattolämmitystä ohjataan yleensä lämmitettävän kohteen lämpötilaa mittaavan anturin ja termostaatin yhdistelmällä, esimerkiksi käyttämällä kapillaarianturia mittaamassa lämmitettävän putken lämpötilaa ja sen antamaa tietoa ohjaamassa termostaatin kosketinta päälle ja pois. Kuvassa 14 on esitetty termostaatin ja kapillaarianturin yhdistelmä putkikiinnitysjalalla, johon tuodaan lämmityspiirin sähkönsyöttö ja lämmityskaapelit voidaan kytkeä erityisillä rasiakytkentätarvikkeilla suoraan termostaattiin.



KUVA 14. Termostaatti kapillaarianturilla (Pistesarjat Oy 2022)

Teollisuudessa prosessien toimivuuteen vaikuttaa prosessiaineiden lämpötilat ja niitä valvotaan prosessivalvomoissa. Lämpötilojen mittaamiseen ja lämpökaapeleiden ohjaamiseen vaaditaan silloin laitteistoja, jotka pystyvät siirtämään reaaliaikaisia lämpötilatietoja valvomojärjestelmiin. Tällöin voidaan käyttää esimerkiksi kuvassa 17 esitettyä elektronista termostaattia, jonka lämpötilan mittausanturina käytetään Pt100-anturia. Tiedonsiirto tällä termostaatilla tapahtuu yleisesti teollisuudessa käytetyn RS485-verkon kautta MOD-bus RTU-protokollaa käyttäen. Termostaatti on myös mahdollista yhdistää CanBus-väylään tai 4–20 mA:n virtasilmukkaan. Tämä termostaatti voi toimia lämpötilatiedon välittäjänä ja sillä ohjatut lämpökaapelit voidaan kytkeä suoraan termostaatin liittimiin,

rasialiitántätarvikkeita apuna käyttäen. Termostaattia voidaan käyttää ylläpitolämmön säätimenä ja lämmön rajoittimena. (Pistesarjat Oy 2022.)



KUVA 15. Termostaatti kahdella Pt100-anturilla (Pistesarjat Oy 2022)

Pt100-anturi on yleisesti erilaisissa teollisuuden sovelluksissa käytetty anturityyppi, jonka ominaisuudet on määritelty standardissa IEC 60751. Anturin nimellistavastusarvo lämpötilassa 0 °C on 100 ohmia ja vastusarvo muuttuu 0,39 ohmia /1 °C. Antureille on määritelty tarkkuusluokat ja niille toleranssit, jotka on esitetty taulukossa 6. (Lapp Automaatio Oy 2022.)

TAULUKKO 6. Pt100-anturin tarkkuusluokat (Lapp Automaatio Oy 2022)

| Tarkkuusluokka | Lämpötila-alue              | Toleranssi 0 °C | Toleranssi 100 °C |
|----------------|-----------------------------|-----------------|-------------------|
| A              | -100... +450 °C             | ± 0,15 °C       | ± 0,35 °C         |
| B              | -196...+600 °C              | ± 0,3 °C        | ± 0,8 °C          |
| B 1/3 DIN      | ei koko mittausalueella (B) | ± 0,3 °C / 3    |                   |
| B 1/10 DIN     | ei koko mittausalueella (B) | ± 0,3 °C / 10   |                   |

Pt100-antureiden liitántäjohtimille on määritelty standardissa johdinvärit riippuen kytkettävien antureiden määrästä ja tyypistä. Johdinvärit ja tyyppi vaihtoehdot on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Pt100-anturin johdinvärit (mukaillen Lapp Automaatio Oy 2022)

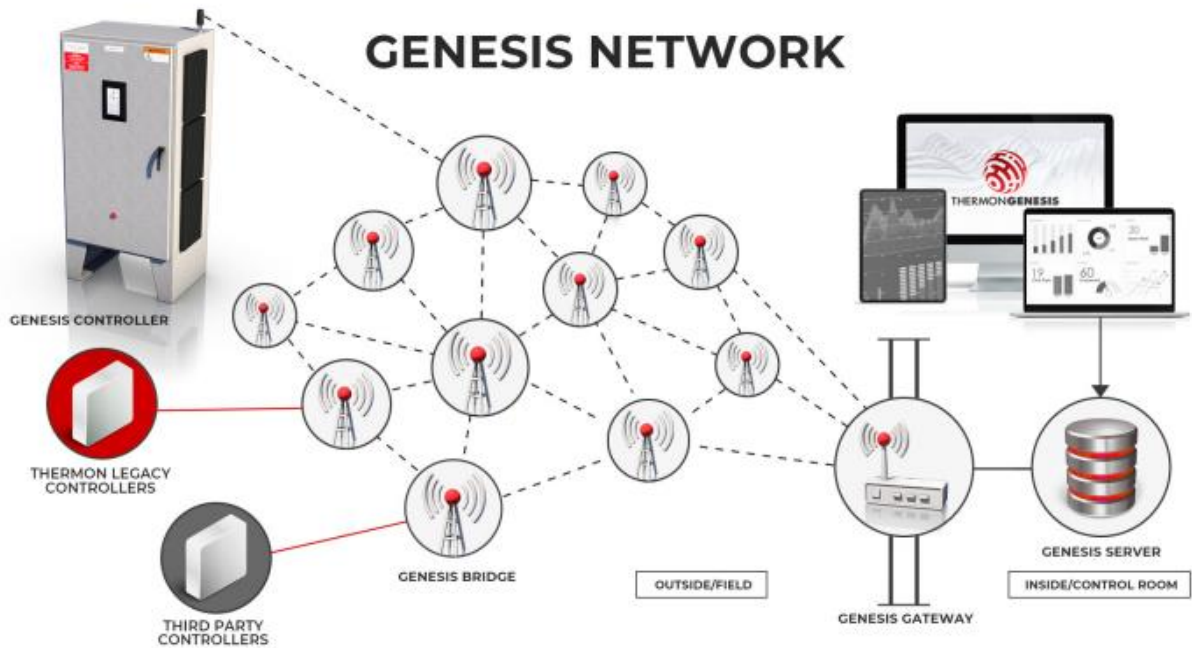
|           | 2-johdin | 3-johdin | 4-johdin | 2-johdin kompensoinnilla |
|-----------|----------|----------|----------|--------------------------|
| Pt100     |          |          |          |                          |
| 2 x Pt100 |          |          |          |                          |
| 3 x Pt100 |          |          |          |                          |

Uusimmissa järjestelmissä lämmityspiirit ja anturit voidaan nimetä seurannan helpottamiseksi. Anturit ja lämpökaapelit nimetään CanBus-moduuleissa omilla osoitteilla, ja niistä saatu tieto välitetään keskusyksikölle ja sieltä eteenpäin MESH-verkon kautta langattomasti kaapelointeja vähentäen tai fyysisten Ethernet-verkkojen kautta prosessivalvomon päätietokoneelle saakka. Päätietokoneen kanssa lämmityspiirien ohjausjärjestelmä keskustelee Ethernet-väylän kautta. (Thermon, Inc Genesis network. 2022.)

Keskusyksikkö, jonne lämpökaapelit ovat kytketty valvoo mm. lämmityspiirien virtoja, maavuotoja ja lämpötiloja. Lämmityspiirit voidaan ohjelmoida käynnistymään portaittain tai pehmytkäynnistimen avulla, jotta saadaan mm. minimoitua itsestään rajoittuvien kaapeleiden käynnistysvirtoja. Lämmityspiirien tehoja voidaan säätää portaattomasti, joten järjestelmässä voidaan käyttää enemmän samoja kaapelityyppejä. Tarkemmalla lämmityspiirien säätämisellä ja valvomisella saadaan aikaan energian säästöä, pidempää käyttöikää järjestelmälle, lyhyempiä huoltokatkoja ja luotettavuutta koko prosessin toiminnalle. (Thermon, Inc Genesis network. 2022.)

Uudet järjestelmät voivat olla omalla serverillä varustettuna lämmityspiirien toimintahistoriatietoja tallentavia kokonaisuuksia, joissa on useita etäohjauspisteitä, keskusyksiköitä ja lämpötilan mittauspisteitä.

Yksi tällainen järjestelmä on Thermon Genesis Network-ohjain, joka yhdistää kaikkien kentälaitteiden tiedot tuoden ne päätielokoneelle ja sitä kautta esimerkiksi verkkoselainten kautta operoitavaksi. Graafisten, selainpohjaisten käyttöliittymien kautta lämmityspiirien toimintahistoriaa voidaan tarkkailla millä tahansa tietokoneella tai tabletilla. Tällaisen järjestelmän toimintaperiaatetta on esitetty kuvassa 16. (Thermon, Inc Genesis network. 2022.)



KUVA 16. Teollisuuden lämpökaapeleiden ohjausjärjestelmä (Thermon, Inc Genesis network. 2022)



## 5 LÄMPÖKAAPELIJÄRJESTELMIEN ASENNUS

Ennen asentamisen alkua kaapeleista on syytä tarkistaa ominaisvastus- ja eristysvastusarvot. Näin voidaan varmistaa, ettei kuljetuksen tai varastoinnin aikana ole syntynyt vaurioita kaapeleihin. Samoin kaapeleiden fyysinen kunto täytyy tarkistaa eristevaurioiden osalta. Pienistäkin halkeamista pääsee kosteus kaapelin sisään, mikä aiheuttaa ongelmia ennemmin tai myöhemmin. Myös asennuksen jälkeen mitatut vastusarvot merkitään pöytäkirjaan.

### 5.1 Asennustekniikka kiinteistökohteissa

Aluesulanapitoja asennetaan mm. betoniin, asfaltin alle, kiveyksien alle ja esimerkiksi vanhoihin portaikkoihin leikattuihin asennusuriin. Aluesulanapitokohteissa käytetään yleensä vakiovastuskaapeleita, jotka toimitetaan määrämittäisinä kaapeleina tai suurille alueille valmiiksi sidottuina verkkoina, asentamisen helpottamiseksi. (Pistesarjat Oy 2022.)

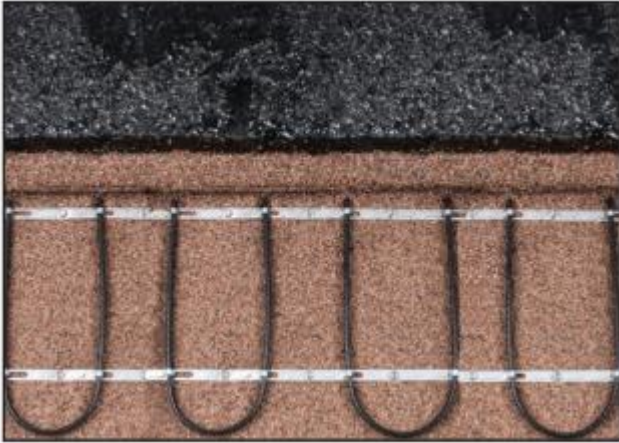
Asennuksessa on muutama asia, jotka täytyy huomioida:

- kaapeli ei saa ylittää liikuntasauvoja
- vakiovastuskaapeleita ei saa asentaa päällekkäin eikä ristiin keskenään
- sähkönsyöttö on varustettava vikavirtasuojalla
- määrämittaista vakiovastuskaapelia ei saa lyhentää
- kaapeleille on määritelty minimitaivutussäde, jota ei saa alittaa
- kaapeleille on määritelty minimiasennusväli, jota ei saa alittaa



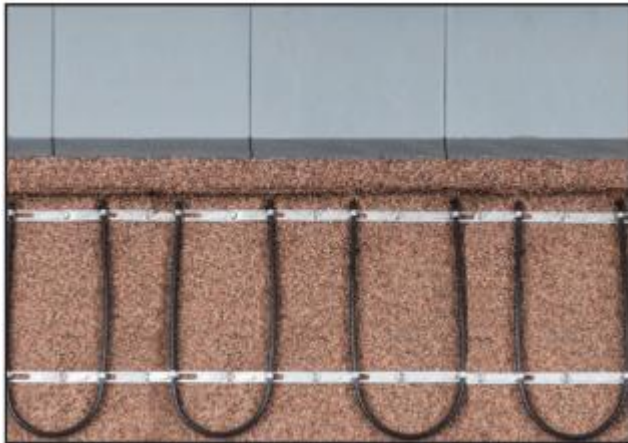
KUVA 17. Asennus betonimassaan (Pistesarjat Oy 2022)

Betonimassaan asennettavan kaapelin tulee olla kauttaaltaan betonin ympäröimä. Myös ns. kylmäkaapelijatkoksen tulee olla kauttaaltaan betonissa. Kaapeli sidotaan betoniraudoitukseen tukevasti, ettei se pääse liikkumaan valun aikana. Betoni ei saa sisältää teräviä aineosia, jotka voivat vahingoittaa kaapelia. (Pistesarjat Oy 2022.)



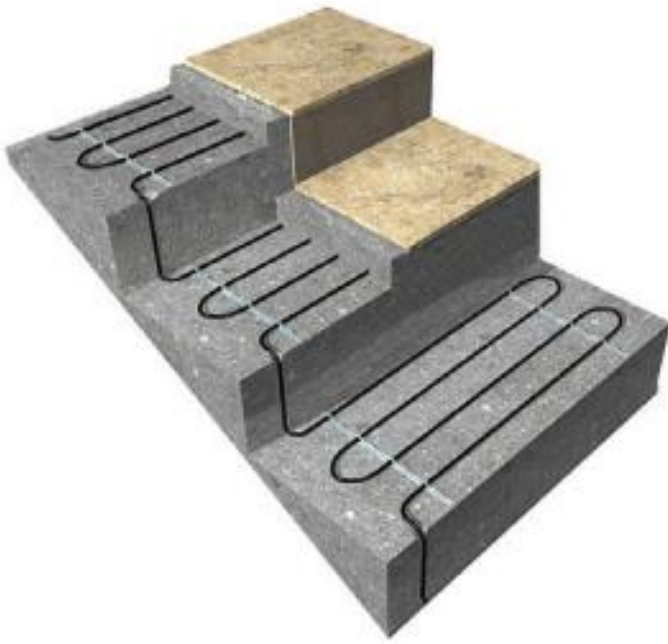
KUVA 18. Asennus asfaltin alle (Pistesarjat Oy 2022)

Kaapeli voidaan asentaa asennushiekan päälle kiinnittämällä asennuspantaan tai verkkoon. Kaapelin päällä tulee olla n. 40 mm asennushiekkää, joka antaa kaapelille mekaanista suojaa sekä suojaa kaapelia hiekan päälle asennettavan asfaltin kuumuudelta. (Pistesarjat Oy 2022.)



KUVA 19. Asennus pihakiveyksen alle (Pistesarjat Oy 2022)

Kaapeli voidaan asentaa asennushiekan päälle kiinnittämällä asennuspantaan tai verkkoon. Kaapelin päälle laitetaan 20–30 mm asennushiekkää antamaan kaapelille mekaanista suojaa ja helpottamaan laattojen asennusta. (Pistesarjat Oy 2022.)



KUVA 20. Asennus portaisiin (Pistesarjat Oy 2022)

Portaisiin asennettaessa kaapeli kiinnitetään raudoituksiin ja kaapelin ja liitoksen tulee olla kauttaaltaan betonin sisässä. Kaapelin tulisi kulkea 3–5 kertaa portaan päästä päähän, jotta saavutetaan riittävä lämmitysteho. (Pistesarjat Oy 2022.)



KUVA 21. Valmis kaapelimatto (Pistesarjat Oy 2022)

Suurien alueiden kaapeloinnissa voidaan käyttää valmiita mattoja työn helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi. Mattoja on olemassa useita leveyksiä ja niitä valmistetaan myös ilmoitettujen mittojen mukaan. Aluesulanapitojen matot valmistetaan vakiovastuskaapeleista, mutta myös itserajoittuvista kaapeleista voidaan tehdä mattoja tarpeen mukaan. (Pistesarjat Oy 2022.)

Sadevesijärjestelmissä käytetään pääsääntöisesti itsesäätyviä kaapeleita. Kaapeleita asennetaan vaaka-sadevesikouruihin, syöksytorviin ja sadevesikaivoihin ja -putkistoihin. Kaapelit voidaan tilata valmiina elementteinä varustettuna haaroitusliitoksilla syöksytorvien kohdalla tai kaapelit voidaan rakentaa sopiviksi asennuskohteessa sopivia tarvikkeita käyttäen. Sähkönsyöttö varustetaan vikavirtasuojalla. (Pistesarjat Oy 2022.)

Itsesäätyviin kaapeleihin pätevät samat tarkastussäännöt ennen asennusta ja asennuksen jälkeen kuin muihinkin lämpökaapeleihin. Kaapeleiden ominaisresistanssi vaihtelee lämpötilan mukaan, joten pöytäkirjan mittaustuloksiin olisi laitettava myös mittaushetken lämpötila. Eristysvastusarvo ei vaihtele. (Pistesarjat Oy 2022.)

Syöksytorvien yläpään tulee asentaa vedonpoisto. Vedon poistolla estetään kaapelin hankautumista terävää syöksytorven reunaa vasten sekä estämään alas laskevan kaapelin vetoa vaaka-asennossa olevaan kaapeliin. (Pistesarjat Oy 2022.)



KUVA 22. Vedonpoistokoukku (Pistesarjat Oy 2022)

Kaapelit tulee päättää loppupäätteeseen. Markkinoilla on kutistemuovista valmistettuja loppupäätteitä, jotka asennetaan kaapeliin kuumailmapuhallinta tai vastaavaa käyttämällä. Loppupäätteitä on olemassa myös helposti asennettavia liimattavia malleja.

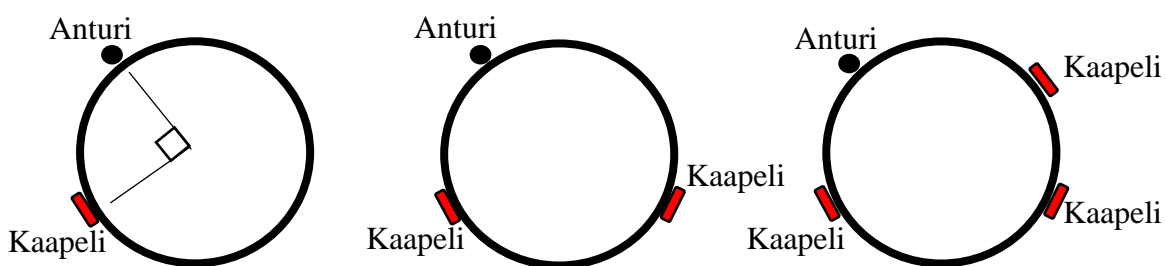


KUVA 23. Liimattava loppupääte (Pistesarjat Oy 2022)

## 5.2 Asennustekniikka prosessiputkissa

Asennustekniikassa prosessiputkistoihin on otettava huomioon muutamia seikkoja kuten putkiston osien huollettavuus, luotettavan lämpötilatiedon saaminen antureilta ja kaapeleiden suojaaminen sekä kiinnittäminen. Tässä osiossa esitän em. seikkoja Thermon kaapeleiden asennusohjeesta saamillani tiedoilla ja siitä otetuilla muokkaamillani kuvilla.

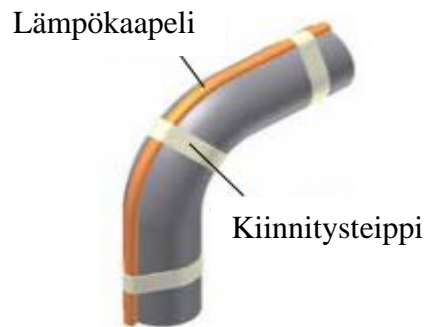
Asennuksen aluksi tarkastetaan asennettavan kaapelin kunto, kuten luvun alussa mainittiin. Lisäksi varmistetaan, että kaapeli on suunnitellun tehoinen ja vastaa ominaisuuksiltaan kohteen vaatimuksia. Ennen kaapelin tai antureiden kiinnittämistä putkistoon puhdistetaan se liasta, rasvasta ja ruosteesta. Prosessiputkistoihin lämmityskaapeleita ja mittausantureita asennettaessa on tärkeää, että kaapelit ja anturit asennetaan oikeaoppisesti, jotta lämmitettävään kohteeseen saavutetaan suunniteltu lämpöteho. Lämpökaapelin leveämpi reuna tulee asentaa lämmitettävää kohdetta vasten, jotta saadaan maksimoitua lämmön siirtyminen kaapelista kohteeseen. Lämpökaapeleiden sijoittelulla putkeen on myös oleellinen osa mekaaniselle suojaukselle mekaanisia rasituksia vastaan. Lämpökaapeleita ei tulisi asentaa suoraan putken ala- tai yläpuolelle, koska useimmiten ulkopuoliset rasitukset putkiin kohdistuvat juuri niistä suunnista. Kaapelit ja anturit suositellaan asennettavaksi kellotaulua hyödyntäen, noin kello kahden, neljän, kahdeksan ja kymmenen kohdalle kaapelimäärästä riippuen. Anturin ja lämpökaapelin välin tulisi olla vähintään  $90^\circ$ . Lämpökaapeleiden ja anturin sijoittelua putkiin putken päästä katsottuna on esitetty kuviossa 5. (Thermon 2022.)



KUVIO 5. Kaapeleiden ja antureiden sijoittelu putkeen (mukaillen Thermon 2022)

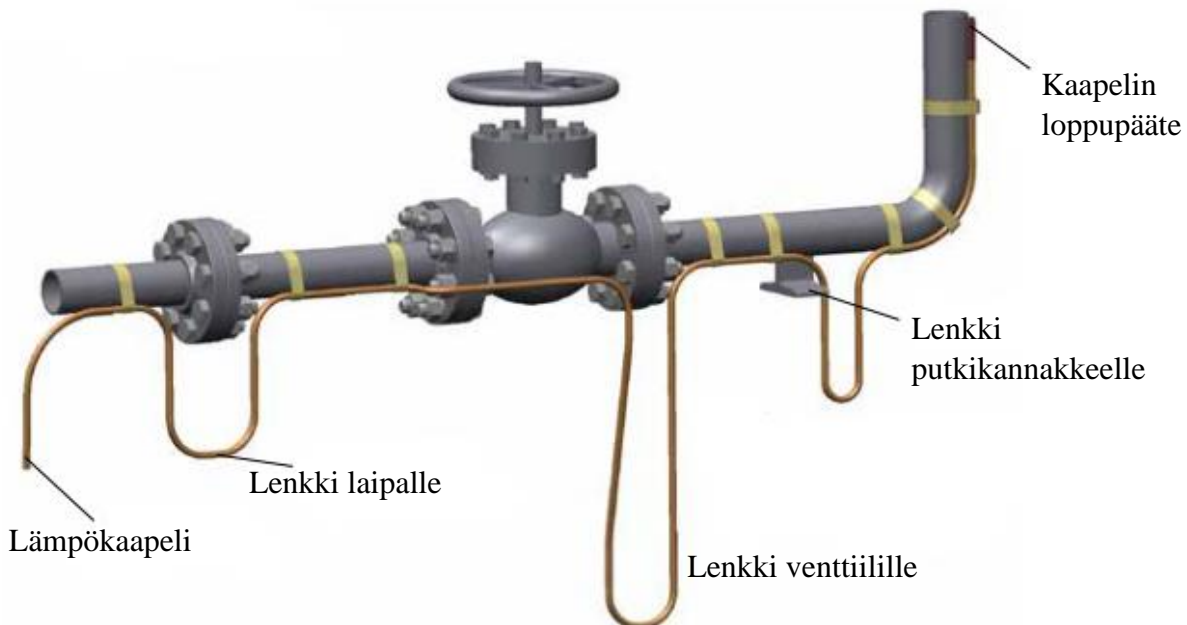
### 5.2.1 Asentaminen putken eri osiin

Putkistoissa on mutkia ja niiden kohdalla lämpökaapeli asennetaan aina mutkan ulkoreunaan, jotta saadaan lämpötehoa koko putken mitalle. Kuvassa 24 on esitetty kaapelin asennus putken mutkakohdassa.



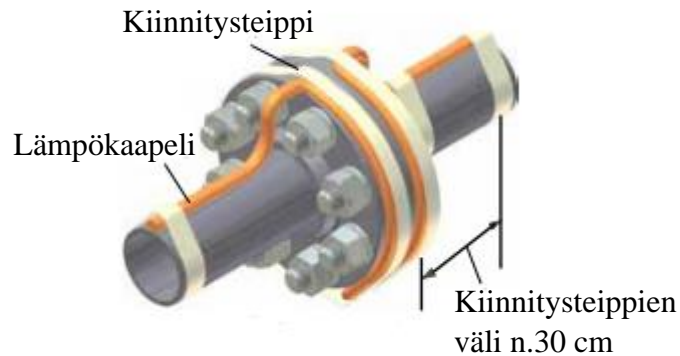
KUVA 24. Putken mutkan kaapelointi (mukaiillen Thermon 2022)

Putkistoissa on myös laippoja, venttiileitä ja kannakkeita, joita varten täytyy kaapelia varata enemmän kuin pelkkä putken mitta, koska niiden pinta-ala on suurempi, jolloin myös niiden aiheuttamat lämpöhäviöt ovat suuremmat. Asennettaessa kaapeleita putkistoon jätetään aluksi eri osien kohdalle kaapeliin löysät lenkit, joilla saadaan katettua osien aiheuttamat lämpöhäviöt. Tämä asennustapaa mahdollistaa sen, ettei kaapeleita tarvitse purkaa tai katkaista myöhemmin tulevien huoltotöiden vuoksi. Alkuasennusperiaate on esitetty kuvassa 25, jossa kaapelilenkit ovat vielä kiinnittämättä.



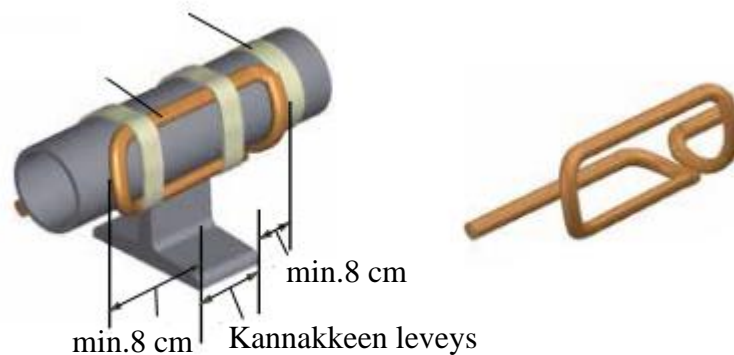
KUVA 25. Kaapelilenkit putken eri osille (mukaiillen Thermon 2022)

Eri osien lopullinen kaapelin asennus tulisi tehdä siten, että kaapeli kattaa koko osan alueen. Laipan valmis kaapeliasennus on esitetty kuvassa 26, jossa kaapelilenkki kiertää koko laipan matkan.



KUVA 26. Putkilaipan kaapelointi (mukaillen Thermon 2022)

Kannakkeiden kaapeliasennukseen täytyy varata kaapelia kaksinkertainen määrä kannakkeen leveydestä sekä ylimääräinen 40 cm. Kaapelisilmukan ulottuma kannakkeen reunasta tulee olla vähintään 8 cm. Kuvassa 27 on esitetty kannakkeen kaapelointi valmiina sekä kaapelisilmukan malli ilman kannatinta.



KUVA 27. Putkikannakkeen kaapelointi (mukaillen Thermon 2022)

Eryteisesti venttiilien ja pumppujen kaapeloinnin osalta on syytä käyttää lenkkikaapelointia, koska niissä on kuluvia osia ja ne joudutaan aika-ajoin irrottamaan ja huoltamaan. Kuvassa 28 on esitetty venttiilin kaapelointi ja kaapelisilmukka ilman venttiiliä.



KUVA 28. Venttiilin kaapelointi ”perhosmallilla” (mukaiillen Thermon 2022)

Pumppujen kaapelointi tulee tehdä yhtä kattavasti kuin venttiilienkin, jotta niiden aiheuttamat lämpöhäviöt saadaan kaapeleilla kompensoitua. Kuvassa 31 on esitetty pumpun kaapelointi ja kaapelisilmukka ilman pumppua.



KUVA 29. Pumpun kaapelointi (mukaiillen Thermon 2022)

Venttiilien ja pumppujen kaapeloinnin avuksi on laskettu tiettyjen putkikokojen venttiileille ja pumpuille ohjearvoja sioihin, kuinka paljon kaapelia olisi varattava niitä varten. Taulukossa on esitetty kaapeliin jätettävät varat sen mukaisesti kuten venttiilit ja pumput ovat putkeen yhdistetty. Pienille venttiileille ei käytetä kaapeloinnissa ”perhosmallia” kokonsa vuoksi. Näitä ohjearvoja on esitetty taulukossa 8. Arvot on esitetty tuumina (1” = 2,54 cm) ja jalkoina (1’ = 30,48 cm).



TAULUKKO 8. Kaapelivarat erikokoisten putkien pumpuille ja venttiileille (Thermon 2022)

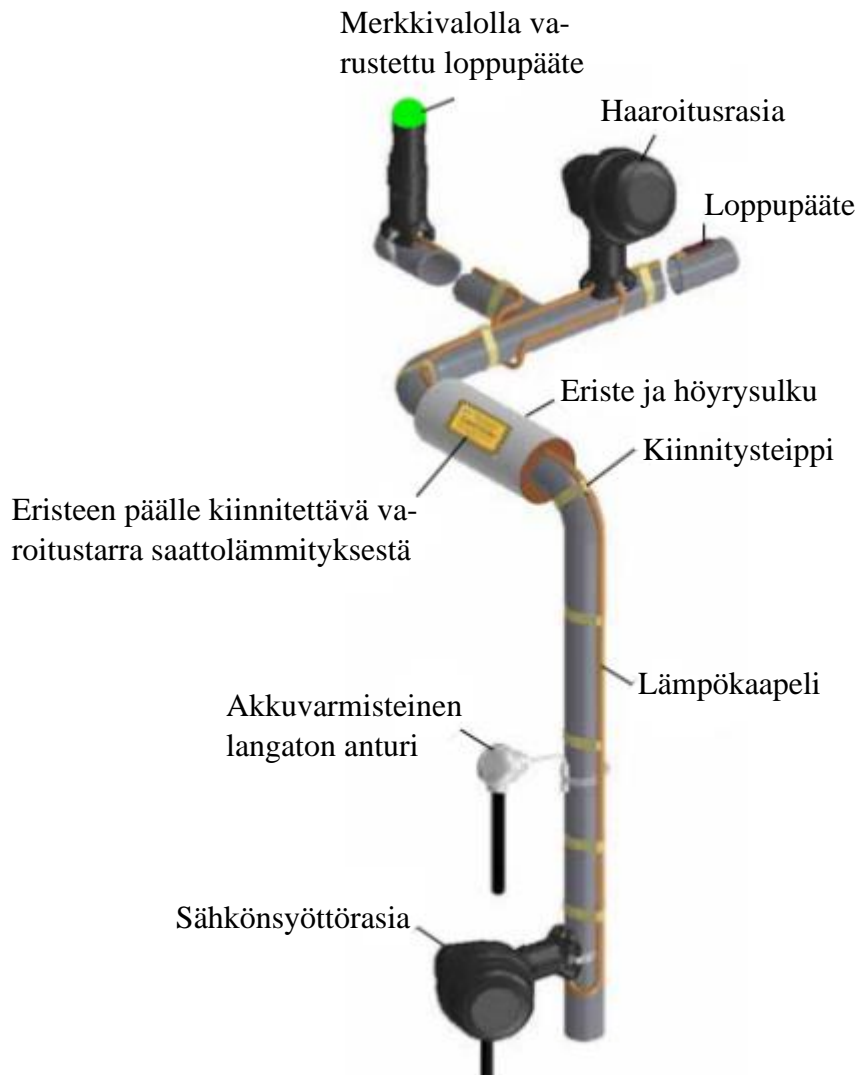
| Pipe Size | Valve Allowance   |         |           | Pump Allowance |         | Flange Allowance |
|-----------|-------------------|---------|-----------|----------------|---------|------------------|
|           | Screwed or Welded | Flanged | Butterfly | Screwed        | Flanged |                  |
| ½"        | 6"                | 1'      | 0         | 1'             | 2'      | 1' 3"            |
| ¾"        | 9"                | 1' 6"   | 0         | 1' 6"          | 3'      | 1' 6"            |
| 1"        | 1'                | 2'      | 1'        | 2'             | 4'      | 1' 6"            |
| 1¼"       | 1' 6"             | 2'      | 1'        | 3'             | 4' 6"   | 2' 0"            |
| 1½"       | 1' 6"             | 2' 6"   | 1' 6"     | 3'             | 5'      | 2' 0"            |
| 2"        | 2'                | 2' 6"   | 2'        | 4'             | 5' 6"   | 2' 3"            |
| 3"        | 2' 6"             | 3' 6"   | 2' 6"     | 5'             | 7'      | 2' 3"            |
| 4"        | 4'                | 5'      | 3'        | 8'             | 10'     | 2' 9"            |
| 6"        | 7'                | 8'      | 3' 6"     | 14'            | 16'     | 3' 3"            |
| 8"        | 9' 6"             | 11'     | 4'        | 19'            | 22'     | 3' 9"            |
| 10"       | 12' 6"            | 14'     | 4'        | 25'            | 28'     | 4' 3"            |
| 12"       | 15'               | 16' 6"  | 5'        | 30'            | 33'     | 5' 0"            |
| 14"       | 18'               | 19' 6"  | 5' 6"     | 36'            | 39'     | 5' 6"            |
| 16"       | 21' 6"            | 23'     | 6'        | 43'            | 46'     | 6' 0"            |
| 18"       | 25' 6"            | 27'     | 6' 6"     | 51'            | 54'     | 6' 6"            |
| 20"       | 28' 6"            | 30'     | 7'        | 57'            | 60'     | 7' 3"            |
| 24"       | 34'               | 36'     | 8'        | 68'            | 72'     | 8' 3"            |
| 30"       | 40'               | 42'     | 10'       | 80'            | 84'     | 10' 0"           |

Kaapelin kiinnitysteippien väli on suositeltu maksimissaan 30 cm mittaiseksi. Kaapelin kiinnittämisen jälkeen kaapeli päätetään loppupäätteeseen ja kiinnitetään mahdolliset anturit. Valmis asennus kaapeleiden lopullisen kiinnityksen jälkeen on kuvan 30 kaltainen.



KUVA 30. Kaapelit kiinnitettynä putken osiin (mukaillen Thermon 2022)

Kuvassa 31 on esitetty teollisuuden prosessiputken saattolämmitykseen yleensä liittyviä osia.



KUVA 31. Saattolämmityksen varusteita (mukaillen Thermon 2022)

Eristeen päälle asennetaan saattolämmityksen varoitustarrat minimissään 3 metrin välein siten, että ne ovat havaittavissa. Kuvan 31 rasiat, merkkivalollinen loppupääte ja anturi on varustettu putkijalalla, joka korottaa kytkentätilat ja liittimet eristeiden ulkopuolelle. Kojeita on saatavilla myös seinäkiinnitteisenä mallina.

### 5.3 Käyttöönotto ja dokumentointi

Lämmityskaapelielementtien käyttöönottomittauksilla tarkoitetaan silmukkavastuksen ja eristystilan mittaamista. Mittausten tarkoitus on tarkistaa, että kaapeli on ehjä ja turvallinen käyttää. Mittauksia varten tarvitaan yleismittari silmukkavastuksen mittaukseen ja eristysvastusmittari eristystilan mittaukseen. Silmukkavastuksella tarkoitetaan lämmityskaapelin vastusjohtimen ja nollajohtimen summaresistanssia. Kyseiset johtimet on vakiovastuskaapeleissa kytketty sarjaan. Silmukkaresistanssi mitataan yleismittarilla tai asennustesterillä vastusjohtimen ja nollajohtimen väliltä, ja sen arvo saa vaihdella  $-5\% \dots +10\%$  nimellisarvostaan. (Sähköinfo Oy 2015.)

Eristysresistanssin mittauksessa syötetään mitattavaan piiriin 500 V:n tasajännite. Testauslaitteelle asetetaan vaatimukseksi, että se pystyy tällä jännitteellä syöttämään piiriin vähintään 1 mA:n virran. Standardi SFS 6000-6 edellyttää, että eristysresistanssin pitää olla enintään 500V:n nimellisjännitteisissä järjestelmissä vähintään 1,0 M $\Omega$ . Pienoisjännitteiset SELV- ja PELV-virtapiirit, jotka mitataan 250 V:n tasajännitteellä, eristysresistanssin tulee olla vähintään 0,5 M $\Omega$ . Thermon kaapeleiden asennusohjeessa polymeerieristeisille kaapeleille suositellaan kojeistusjännitteeksi 2500V tasajännitettä ja eristysvastusarvoksi vähintään 20 M $\Omega$ . Jos mittaustulokset osoittavat kaapelin olevan viallinen, on vika selvitettävä ennen kaapelin asentamista ja tarvittaessa kaapeli on vaihdettava uuteen. (Sähköinfo Oy 2015; Thermon 2022.)

Mitatut silmukka- ja eristysresistanssin arvot merkitään mittauspöytäkirjaan, joka tulee kaapelielementtitoimituksen mukana valmistajalta. Mittauspöytäkirjassa on sarakkeet, joihin merkitään mittaustulokset sekä ennen valua että sen jälkeen. Mikäli kaapelin resistanssiarvot halutaan mitata varmuuden vuoksi ennen kaapelin levitystä, tuloksia ei tarvitse kirjoittaa mittauspöytäkirjaan vaan niitä verrataan nimellis-arvoihin. Mittauspöytäkirja on todistus sähköurakoitsijalle ja vakuutus laitteiston haltijalle siitä, että lämmityskaapeli on ollut asennuksen jälkeen ehjä. Alkuperäinen mittauspöytäkirja on osa laitteiston haltijalle luovutettavaa dokumentaatiota. (Sähköinfo Oy 2015.)

Lämmityskaapeleiden ja -kelmujen laite- ja asennusstandardit edellyttävät, että laitteen mukana toimitetaan tarvittavat asennusohjeet, jotka yhdessä sähkösuunnitelman kanssa sisältävät asennustyön suorittajan tarvitsemat ohjeet. Asennustyön suorittajan on toimitettava laitteiston haltijalle kuvaus lämmitysjärjestelmän rakenteesta asennustyön valmistuttua. Tämä tarkoittaa sitä, että lämmitysjärjestelmästä

luovutetaan laitteiston haltijalle mm. seuraavat tiedot:

- lämmityselementtien sijainti ja levityssuunta sekä periaatteellinen asennussyvyys
- valokuva on helppo tapa esittää toteutettu asennus täydentämään varsinaisia piirustuksia
- lämmityselementeiltä vapaat alueet, joille voidaan tehdä lattia- tai kattopinnan lävistäviä kiinnityksiä
- lämmityspiirien jako ja mitoitustehöt
- kylmäliitosten, lattia-antureiden, termostaattien ja kaapelipäätteiden mitoitettut sijainnit
- tiedot lämmityselementeistä sekä ohjaus- ja säätölaitteista ja suurin sallittu käyttölämpötila
- mittaustulokset

(Sähköinfo Oy 2015.)

Asennusstandardissa vaaditaan kolmenlaista dokumentointia:

- suunnitelma asennusta varten
- asennuksen dokumentointi tulevia huolto- ja korjaustoimenpiteitä varten
- käyttöä varten laaditut käyttöohjeet.

(Sähköinfo Oy 2015.)

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä opas lämpökaapeleiden käytöstä, suunnittelusta ja asentamisesta siten, että se olisi jokaisen ymmärrettävissä riippumatta henkilön taustoista. Lisäksi tarkoitus oli lisätä omaa ammattitaitoa työskennellessäni sulanapito- ja saattolämmityskaapeleiden parissa auttaen niitä asentavia urakoitsijoita ja järjestelmiä suunnittelevia sähkösuunnittelijoita.

Lämpökaapeleita on käytetty eri tarkoituksiin liki sadan vuoden ajan ja niiden ominaisuuksia kehitetään koko ajan soveltumaan paremmin tarpeisiimme. Suurimpia kehitysaskelaita on otettu lämpökaapeleiden materiaaleissa, ohjaustekniikassa ja lämpötila-antureilta saatavan tiedon siirrossa. Suurienkin saattolämmitysjärjestelmien ohjaaminen olematta fyysisesti prosessivalvomossa onnistuu nykyisen tietotekniikan avulla helposti.

Lämpökaapeleita on erityyppisiä ja jokaiselle on oma suositeltu käyttöympäristö, johon ne parhaiten soveltuvat. Yhdet kestävät UV-säteilyä, joka on ulosasennettaville kaapeleille tärkeää. Osa kaapeleista kestää hyvin lämpöä ja jotkin kaapelit kestävät kemikaaleja. Kaapelointeja suunnitellessa on otettava huomioon lämmitystehon lisäksi kaapelin ympäristössä vallitsevat olosuhteet ja kaapeleille annetut rajoitukset. Ohjaustekniikalla on suuri merkitys järjestelmien energiatalouteen, joka suunnittelussa kannattaa ottaa huomioon, etteivät lämpökaapelit ole päällä tarpeettomasti. Huonolla suunnittelulla voidaan myös vaarantaa jonkin prosessin luotettava toiminta mitoittamalla kaapelointi väärin tai sulana pidettävä pyörätuoliluiska ei pysykään sulana, jos lämmitys on alimitoitettu.

Kaapeleiden asentamisessa on otettava huomioon hyvät asennustavat, säädökset ja standardit. Lisäksi kaapelivalmistajilla on asennuksille omat suosituksensa niiden asentamisesta. Sulanapitokaapeleiden ja teollisuuden saattolämmityskaapeleiden asentaminen vaatii yhteistyötä muiden urakoitsijoiden kanssa.

Tämän opinnäytetyön sisältämän tutkimustyön perusteella voin todeta lämpökaapeleiden käytön olevan usein tarpeellista kiinteistö- ja teollisuuskohteissa parantamassa turvallisuutta, vähentämässä mahdollisia kosteusvaurioita ja prosessien toimivuuden takaajina.

## LÄHTEET

Finnorvica Oy / Eristekeskus. 2022. *Eroja lämmön eristeissä*. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://eristeakeskus.fi/>. Viitattu 15.1.2022.

Ilmatieteenlaitos. 2022. *Havaintojen lataus*. Www-dokumentti. Saatavilla: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>. Viitattu 15.1.2022.

Lapp Automaatio Oy. 2022. *Miten toimii Pt100-anturi*. Www-dokumentti. Saatavilla: <https://www.epicsensors.fi/faq/miten-pt100-anturitoimii/>. Viitattu 25.2.2022.

Pistesarjat Oy. 2022. *Pistesarjat Oy tuotteet*. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://pistesarjat.fi>. Viitattu 25.2.2022.

Sähköinfo Oy. 2015. *ST55.18 Lämmityskaapeli- ja kelmuasennusten mittaus ja dokumentointi*. Www-dokumentti. Saatavilla: <https://severi-sahkoinfo-fi.ezproxy.centria.fi/item/540?search=55.18>. Viitattu 25.2.2022.

Thermon, Inc. 2022. *Electric Heat Tracing installation, maintenance & troubleshooting*. Www-dokumentti. Saatavilla: [https://content.thermon.com/pdf/us\\_pdf\\_files/PN50207-EHT-Installation.pdf](https://content.thermon.com/pdf/us_pdf_files/PN50207-EHT-Installation.pdf). Viitattu 25.2.2022.

Thermon, Inc Genesis network. 2022. *Genesis Network*. Www-dokumentti. Saatavilla: [http://resources.thermon.com/Genesis\\_Brochure/index-h5.html#page=1](http://resources.thermon.com/Genesis_Brochure/index-h5.html#page=1). Viitattu 25.2.2022.

Verleyen, K. 2020. *Heating up history*. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://electricalreview.co.uk/2020/03/05/heating-up-history/>. Viitattu 25.2.2022.

Vettenranta, T. 2015. *Teollisuuden saattolämmitysten suunnittelu- ja asennusohje*. Insinööriyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Www-dokumentti. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/93546/tommi\\_vettenranta.pdf?sequence](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/93546/tommi_vettenranta.pdf?sequence). Viitattu 25.2.2022.

