

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0202 Energiatekniikan kandidaatintyö

## Lämpöhäviöt kaukolämpöverkossa

Työn tarkastaja: Markku Nikku

Työn ohjaaja: Markku Nikku

Lappeenranta 19.6.2020

Matias Majamäki

## **TIIVISTELMÄ**

Opiskelijan nimi: Matias Majamäki

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyön ohjaaja: Markku Nikku

Kandidaatintyö 2020

26 sivua, 8 kuvaa ja 10 taulukkoa

Hakusanat: lämpöhäviö, kaukolämpö

Tämä kandidaatintyö käsittelee kaukolämmön jakelusta aiheutuvia lämpöhäviöitä. Kandidaatintyö on tehty Lappeenrannan Energiaverkot Oy:n tarjoamasta aiheesta. Työn tavoitteena on selvittää laskennallisesti Lappeenrannan kaukolämmön kantaverkon lämpöhäviöt putkityypeittäin sekä tehdä investointilaskelma betonikanavajohtojen perusparantamiselle. Lämpöhäviölaskentaa varten on tehty oma Excel-tiedosto, jonka avulla voidaan tarkastella Lappeenrannan kantaverkon lämpöhäviöiden määrää eri lämpötiloissa. Excel-tiedosto on rakennettu Energiateollisuuden julkaisemien kaukolämpöjohtojen eristyspaksuuksien optimointityökalujen ja Lappeenrannan Energiaverkot Oy:ltä saatujen putkitietojen pohjalta. Laskentamenetelmänä on käytetty ruotsalaisen Chalmersin teknillisen yliopiston raportissa ”Jämförelse mellan dubbel- och enkelrör” esitettyä menetelmää. Investointilaskelmassa on käytetty Energiateollisuuden julkaisemaa kaukolämpöverkon uudisrakentamisen ja perusparantamisen energia- ja kustannustehokkuus laskentatyökalua.

Kirjallisuusosassa esitetään kaukolämpöverkossa aiheutuvia lämpöhäviöitä sekä käydään läpi kaukolämmön taustaa Suomessa ja Lappeenrannassa. Lisäksi työssä esitellään Lappeenrannan Energia konserniyhtiö ja sen tarjoamat palvelut.

Lappeenrannan kaukolämmön kantaverkon vuotuisiksi laskennallisiksi kokonaislämpöhäviöiksi työssä saadaan noin 109 908 MWh. Betonielementtikanavien perusparantamisen korolliset takaisinmaksuajat vaihtelevat 9 ja 23 vuoden välillä. Työn tulokset ovat suuntaa antavia, johtuen työssä käytetyistä useista oletuksista ja arvioista. Tuloksien voidaan kuitenkin katsoa olevan realistisia niiden suuruusluokan perusteella.

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>Tiivistelmä</b>	<b>2</b>
<b>Sisällysluettelo</b>	<b>3</b>
<b>Symboli- ja lyhenneluettelo</b>	<b>4</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>5</b>
<b>2 Kaukolämpö</b>	<b>6</b>
2.1 Kaukolämpö Suomessa .....	6
2.2 Kaukolämpö Lappeenrannassa.....	8
2.3 Lappeenrannan Energia Oy .....	9
<b>3 Kaukolämpöjohdot</b>	<b>10</b>
3.1 Yleistä.....	10
3.2 Kiinnivaahdotetut johdot.....	10
3.2.1 Yksiputkijohto 2Mpuk .....	10
3.2.2 Kaksiputkijohto Mpuk .....	11
3.3 Muovisuojakuorijohto liikkuvien teräsputkin .....	12
3.4 Betonikanavajohdot.....	13
<b>4 Lämpöhäviöt</b>	<b>15</b>
4.1 Lämpöhäviöt kaukolämpöverkossa .....	15
4.2 Lämpöhäviölaskenta.....	16
4.2.1 Kiinnivaahdotetun yksiputkielementin 2Mpuk lämpöhäviöt.....	16
4.2.2 Kiinnivaahdotetun kaksiputkielementin Mpuk lämpöhäviöt.....	18
4.3 Lappeenrannan Energiaverkkojen kantaverkon lämpöhäviöt .....	19
<b>5 Lämpöhäviöiden Tulokset</b>	<b>22</b>
5.1 Betonikanavajohtojen perusparantamisen investointilaskenta .....	24
<b>6 Yhteenveto</b>	<b>26</b>
<b>Lähdeluettelo</b>	<b>27</b>

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

### Roomalaiset aakkoset

$D$	puolet virtausputkien välisestä etäisyydestä	[m]
$H$	upotussyvyys	[m]
$h_a$	lämmönsiirtokerroin putkien välillä	[-]
$h_s$	lämmönsiirtokerroin ympäristöön	[-]
$R_g$	maaperän lämpövastus/pituus	[m°C/W]
$R_i$	vaipan lämpövastus/pituus	[m°C/W]
$R_m$	putkien keskinäinen lämpövastus/pituus	[m°C/W]
$r_s$	suojakuoren säde	[m]
$r_t$	virtausputken säde	[m]
$T_0$	ulkoilman lämpötila	[°C]
$T_m$	menoputken lämpötila	[°C]
$T_p$	paluuputken lämpötila	[°C]

### Kreikkalaiset aakkoset

$\Phi_a$	putkien välinen lämpövirta	[W/m]
$\Phi_m$	menoputken lämpöhäviö	[W/m]
$\Phi_p$	paluuputken lämpöhäviö	[W/m]
$\Phi_s$	lämpöhäviö ympäristöön	[W/m]
$\Phi_{tot}$	kokonaislämpöhäviö	[W/m]
$\lambda_C$	eristeen ja vaipan lämmönjohtavuus	[W/m°C]
$\lambda_G$	maaperän lämmönjohtavuus	[W/m°C]

### Dimensiottomat luvut

$\beta$	apusuure	[-]
$\gamma$	apusuure	[-]
$\delta$	apusuure	[-]

## 1 JOHDANTO

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto, vuoden 2018 lopussa 2,92 miljoonaa ihmistä asui kaukolämmitetyssä asunnossa. Lappeenrannan osuus tästä määrästä oli 59 100 ihmistä (Energiateollisuus 2018). Lämpöhäviöt ovat suurin käyttökustannuserä lämmönjakelussa (Energiateollisuus 2006, 209).

Tämä kandidaatintyö tehtiin Lappeenrannan Energiaverkot Oy:lle heidän tarjoamastaan aiheesta. Työn tarkoituksena oli selvittää laskennallisesti Lappeenrannan kaukolämmön kantaverkon lämpöhäviöt sekä tehdä investointilaskelma betonikanavajohtojen perusparantamiselle. Yhtiölle lämpöhäviöitä ovat tuotetun ja myydyn lämmön erotus, mutta laskennallisesti lämpöhäviöitä ei ollut vielä yhtiössä määritelty.

Kandidaatintyön toisessa luvussa tarkastellaan kaukolämmön kehitystä Suomessa ja Lappeenrannassa. Lisäksi toisessa luvussa esitellään lyhyesti Lappeenrannan Energia Oy ja sen tarjoamat palvelut. Kolmannessa luvussa esitetään eri kaukolämpöjohtotyypit sekä niiden rakenteet. Neljännessä luvussa esitetään kaukolämpöverkossa aiheutuvat lämpöhäviöt sekä siihen liittyvä lämpöhäviölaskenta. Viidennessä luvussa esitetään laskennan tulokset sekä tulosten tarkastelu. Lisäksi esitetään lyhyt investointilaskelma betonikanavajohtojen perusparantamiselle. Kuudes luku on työn yhteenveto, joka kokoaa työssä käsitellyt asiat.

## **2 KAUKOLÄMPÖ**

Kaukolämmityksellä tarkoitetaan rakennusten ja käyttöveden lämmittämisessä käytetyn lämmön keskitettyä tuotantoa ja lämmön julkista jakamista asiakasverkossa oleville kiinteistöille. Kaukolämmitykseen liittyy myös liiketoimintaa, jolla se eroaa aluelämmityksestä. Siirtoaineena käytetään höyryä tai vettä. Kaukolämmön hyötyjä voidaan katsoa olevan sen energiatehokkuus, ympäristöystävällisyys, käyttövarmuus ja sen helppokäyttöisyys asiakkaalle. Ongelmia kaukolämmityksessä ovat sen suuret investoinnit, suuret kulutusvaihtelut eri vuodenaikoina, sen soveltumattomuus harvaan asutuille alueille ja siirrossa syntyvät häviöt. (Energiateollisuus 2006, 25.)

### **2.1 Kaukolämpö Suomessa**

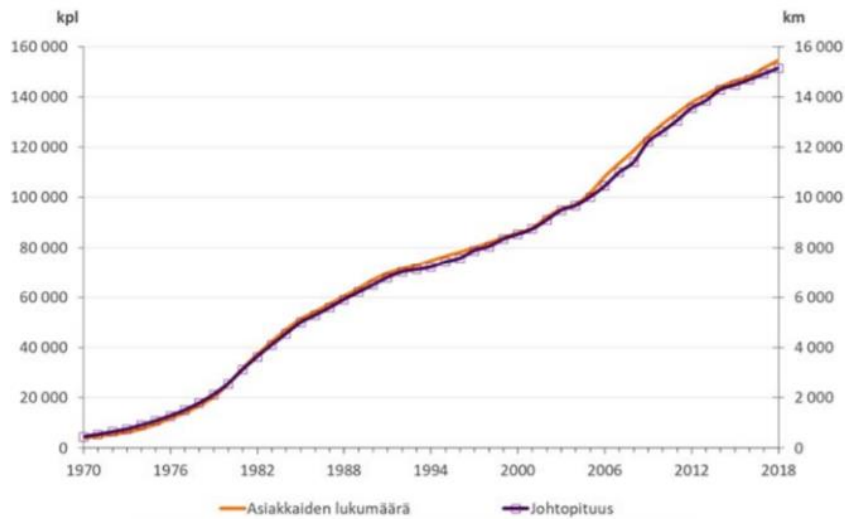
Suomessa kaukolämmitys alkoi 1950-luvulla. Espoossa kaukolämmityksen tuotanto aloitettiin vuonna 1953 ja samalla vuosikymmenellä kaukolämmityksen oli aloittanut Helsinki, Joensuu, Mikkeli ja Lahti. Kaukolämmön leviäminen oli alkuun hidasta. Suomi oli 1950-luvulle asti suhteellisen omavarainen, kunnes alkoi siirtyminen kotimaisista uusiutuvista polttoaineista ulkomaisiin fossiilisiin polttoaineisiin. Neste Oy tarjosi pieniä kuntia varten kehitettyä kaukolämpöpakettia, johon kuului lämpölaite, kaukolämpöverkko ja polttoainehuolto.

Valtio ohjasi kaukolämmön käyttöön. 1960-luvun alusta saakka kauppa- ja teollisuusministeriön määrärahoista oli myönnetty avustuksia kaukolämpölaitosten ja hakevoimalaitosten suunnitteluun ja rakentamiseen.

1970-luvun öljykriisin myötä kaukolämmön merkitys Suomessa alkoi kasvaa. Energiankäytön rajoituksia tuli voimaan valtioneuvoston toimesta ja energiakysymykset tulivat ajankohtaisiksi. Kaukolämpö näyttäytyi keinona vähentää energiahuollon tuontiriippuvuutta. Öljyn hinnankasvun seurauksena alettiin panostamaan turpeen tuotantoon ja pieniin hakelämpökeskuksiin. 1980-luvulla öljyn hinnan laskiessa laski myös kiinnostus turpeen ja hakkeen käyttöön.

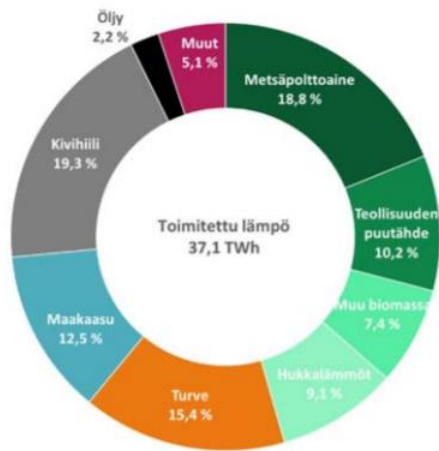
Kaukolämpö vakiinnutti asemansa taajama-alueen lämmitysmuotona 1990-luvulla. Samaan aikaan se laajeni entistä pienempiin taajamiin. (Energiateollisuus 2006, 34-35.)

Nykyään Suomen yleisin lämmitysmuoto on kaukolämpö sen markkinaosuuden ollessa lähes puolet lämmitysenergiasta. (Energiateollisuus K1/2013). Vuoden 2018 lopussa kaukolämpöasiakkaita oli 154 500 kpl ja kaukolämmitettyjen asuntojen asukasluku oli 2,92 miljoonaa henkilöä. Kaukolämmön verkon pituus vuoden 2018 lopussa oli 15 140 km, kun sen pituus vielä 2005 oli 10 000 km (Energiateollisuus 2005). Verkon pituuden kehitys vuodesta 1970 on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1: Verkon pituuden ja kaukolämmön asiakkaiden määrän kehittyminen vuodesta 1970. (Energiateollisuus 2018, 5)

Kaukolämpöä hankittiin 37,1 TWh, josta polttoaineilla tuotettiin 33,7 TWh ja loput lämpöpumpuilla sekä lämmön talteenotolla. Vuonna 2018 hankitun kaukolämmön energialähteet on esitetty kuvassa 2. (Energiateollisuus 2018.)



Kuva 2: Vuonna 2018 hankittu kaukolämpö energialähteittäin. (mukailten Enerגיעateollisuus 2018, 4)

## 2.2 Kaukolämpö Lappeenrannassa

Vuonna 1965 Lappeenrannan kaupunginvaltuusto teki periaatepäätöksen kaukolämpötoiminnan aloittamisesta. Kaukolämpöverkon rakentaminen aloitettiin Voisalmen alueelta, jonka jälkeen kaukolämpöä lähdettiin tuomaan kantakaupunkiin ja muihin kaupunginosiin. 1980-luvun alussa Lappeenrannan kaukolämpöverkoston pituus oli jo 100 km ja noin 27 000 asukasta asui kaukolämmitetyssä talossa. Vuonna 2017 Lappeenrannan kaukolämpöverkoston pituus oli 404 km. (Lappeenrannan Energia, 2017.) Kaukolämmitettyjä asuntoja Lappeenrannassa vuonna 2018 oli 24 503 ja asukkaita näissä 59 100 (Enerגיעateollisuus 2018).

Nykyään Lappeenrannan kaukolämmöstä noin 85 prosenttia tuotetaan Kaukaan Voimaalla. Kaukaan Voiman biovoimalaitos otettiin käyttöön 2009 ja se käyttää polttoaineinaan kuorta, kantoja, metsätähdettä, muita puuperäisiä polttoaineita sekä turvetta. Kaukolämmön lisäksi laitos tuottaa prosessihöyryä ja sähköä. Lappeenrannan Energia Oy omistaa 46 % Kaukaan Voimasta. (Pohjolan Voima.)

Kulutushuippujen aikana kaukolämpöä Lappeenranta saa erillisiltä maakaasu- ja kevyt polttoöljykäyttöisiltä lämpökeskuksilta. Pieni osuus kaukolämmöstä on myös paikallisen teollisuuden ylijäämäprosessilämpöä. (Lappeenrannan Energia Oy 2018b.)



### **2.3 Lappeenrannan Energia Oy**

Lappeenrannan kaupunki omistaa kokonaan Lappeenrannan Energia konserniyhtiön. Yhtiö tuottaa sekä myy vesi- ja energiapalveluita. Lisäksi Lappeenrannan Energia hallinnoi ja kehittää jakeluverkkoja.

Lappeenrannan Energia Oy on emoyhtiö, joka hoitaa konsernin yhtiöiden yhteiset palvelut. Asiakkuudet -yksikköön kuuluu asiakaspalvelu, mittauspalvelu, tekninen asiakaspalvelu ja laskutus. Yhteiset palvelut -yksikköön kuuluu henkilöstön, tietohallinnon, energianhankinnan, talouden, laadunhallinnan, yritysviestinnän ja hallinnon palvelut.

Konserniin kuuluu emoyhtiön lisäksi kaksi tytäryhtiötä, jotka ovat Lappeenrannan Energiaverkot Oy ja Lappeenrannan Lämpövoima Oy. Lappeenrannan Lämpövoima Oy vastaa toiminta-alueen lämpö- ja höyrylaitosten, vedenottamoiden ja jätevedenpuhdistamoiden käytöstä sekä kunnossapidosta. Lappeenrannan Energiaverkot Oy taas vastaa veden ja energian siirtämisestä asiakkaille. Lisäksi Energiaverkot huolehtii, ylläpitää ja kehittää energia- ja vesiverkkoja.

Lappeenrannan Energia Oy on osakkaina Väre Oy:ssä, Kaukaan Voima Oy:ssä, Suomen Hyötytuuli Oy:ssä, Tuulisaimaa Oy:ssä, Lähituuli Oy:ssä, Vainikkalan Vesi Oy:ssä ja Elvera Oy:ssä. (Lappeenrannan Energia Oy 2019a.)

## **3 KAUKOLÄMPÖJOHDOT**

### **3.1 Yleistä**

Kaukolämpöjohdot ryhmitellään niiden kanavarakenteiden perusteella. Nykyään uusissa kaukolämpöjohdoissa käytetään lähes aina kiinnivaahdotettua johtojärjestelmää. Suomessa kaukolämmön siirtämiseen käytetään kaksiputkijärjestelmää. Muovisia virtausputkia lukuun ottamatta kaikki johdot on suunniteltu kestämään 16 bar paine sekä 120 °C käyttölämpötila. Kaukolämpöjohdon eristeenä käytetään yleisesti polyuretaania. Aiemmin yleinen eriste oli mineraalivilla, jota käytettiin betonikanavajohdoissa. (Energiateollisuus 2006, 137, 203.)

Johtoelementeille sekä niiden valmisosille on myös vaatimuksia. Normaaleissa käyttöolosuhteissa ja -kohteissa johtoelementtien sekä niiden valmisosien pitkäaikainen lämpötilakestävyys ja tekninen käyttöikä tulee olla vähintään 30 vuotta 120 °C:een jatkuvassa käyttölämpötilassa, vähintään 50 vuotta kun jatkuva käyttölämpötila on 115 °C ja yli 50 vuotta jos käyttölämpötila on vieläkin alhaisempi. (Energiateollisuus 2006, 137.)

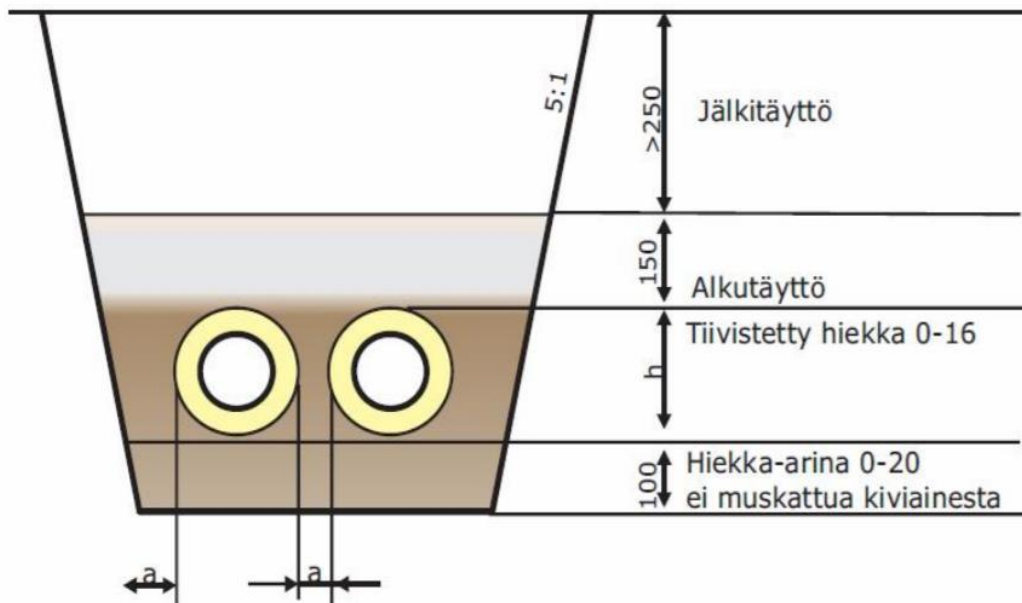
### **3.2 Kiinnivaahdotetut johdot**

Kiinnivaahdotetussa kaukolämpöjohdoissa virtausputki ja polyeteenisuojakuori ovat liitetty yhteen polyuretaanieristeellä muodostaen kokonaisuuden. Kyseinen johtotyyppi tuli Suomessa käyttöön 1970-luvun puolivälissä. Se on nopeasti syrjäyttänyt muut kaukolämmön johtotyypit ja nykyään lähes kaikki johdot rakennetaan kiinnivaahdotettuina. Kiinnivaahdotetuille johdoille on laadittu Euroopassa yhtenäiset standardit, jotka kattavat rakenteen, mitat sekä tekniset vähimmäisvaatimukset. (Energiateollisuus 2006, 138-139.)

#### **3.2.1 Yksiputkijohto 2Mpuk**

Yksiputkijohdossa 2Mpuk on kaksi erillistä putkea, joista toinen on menojohdo ja toinen paluujohdo. Molempien johtojen virtausputki ja polyeteenisuojaputki on liitetty kiinteästi

yhteen polyuretaanieristeellä. 2Mpuk tyyppiä valmistetaan yleensä kokoluokissa DN 20-DN 600, mutta tarpeen vaatiessa sitä valmistetaan jopa kokoon DN 1200 asti. (Energiateollisuus 2006, 139.) 2Mpuk on esitetty kuvassa 3.

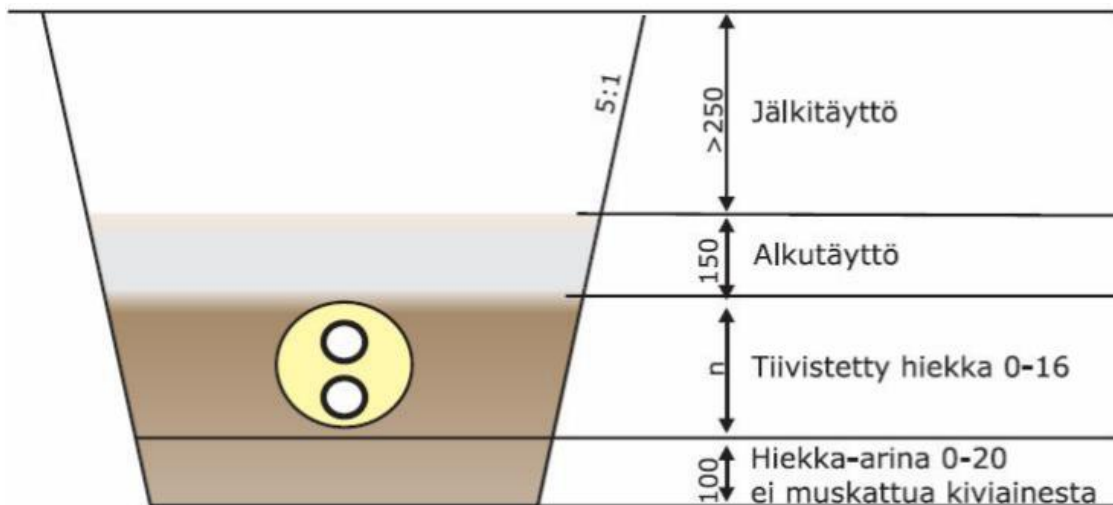


Kuva 3: Kiinnivaahdotettu yksiputkijohto 2Mpuk (Energiateollisuus 2006, 139)

### 3.2.2 Kaksiputkijohto Mpuk

Kaksiputkijohdossa Mpuk molemmat virtausputket ovat saman suojaputken sisällä, joka on liitetty virtausputkiin yhteisellä polyuretaanieristeellä. Menojohto on sijoitettu paluuputken alle, jotta lämpöhäviöitä saadaan vähennettyä. Kaksiputkijohdon lämpöhäviöt ovatkin näin ollen pienemmät kuin yksiputkijohdolla ja sen materiaalin tarve on niin ikään pienempi. Maahan upotettu Mpuk johto on esitetty kuvassa 4.

Kaksiputkijohtoa valmistetaan yleensä kokoluokissa DN 2x20-DN 2x200. (Energiateollisuus 2006, 139.)



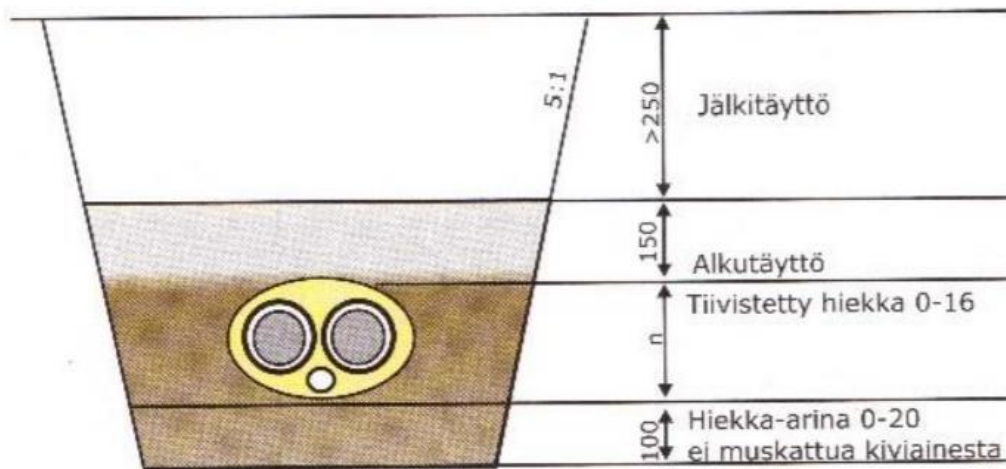
Kuva 4: Poikkileikkauskuva Mpuk (Energiateollisuus 2006, 140)

### 3.3 Muovisuojakuorijohto liikkuvien teräsputkien

Muovisuojakuorijohto liikkuvalla teräsputkella, eli Mpul on johtotyyppi, jota rakennettiin 1960-luvulta lähtien noin 20 vuoden ajan. Kyseisessä johtotyypissä polyuretaanieristeellä on liitetty yhteen polyeteenisuojakuori ja virtausputkia suojaavat lasikuituiset putket. Virtausputket eivät ole kiinni suojaputkissaan vaan pääsevät liikkumaan vapaasti lämpöliikkeen seurauksena. Suojakuoren sisällä on lisäksi erillinen vuotovesiputki. Muovisuojakuorta liikkuvien teräsputkien rakennettiin niin yksiputkisena Mpul kuin kaksiputkisina 2Mpul johtoina.

Tämän johtotyypin käytössä esiintyi useita ongelmia, kuten maan painumisen aiheuttamia muutoksia putken toiminnassa ja muovisuojaputkien liitosrakenteiden herkyys maaperän liikkumiselle.

Suurien ongelmien takia Mpul tai 2Mpul johtotyyppien rakentamisesta on luovuttu. (Energiateollisuus 2006, 145.) Muovisuojakuorijohto liikkuvien teräsputkien on esitetty kuvassa 5.

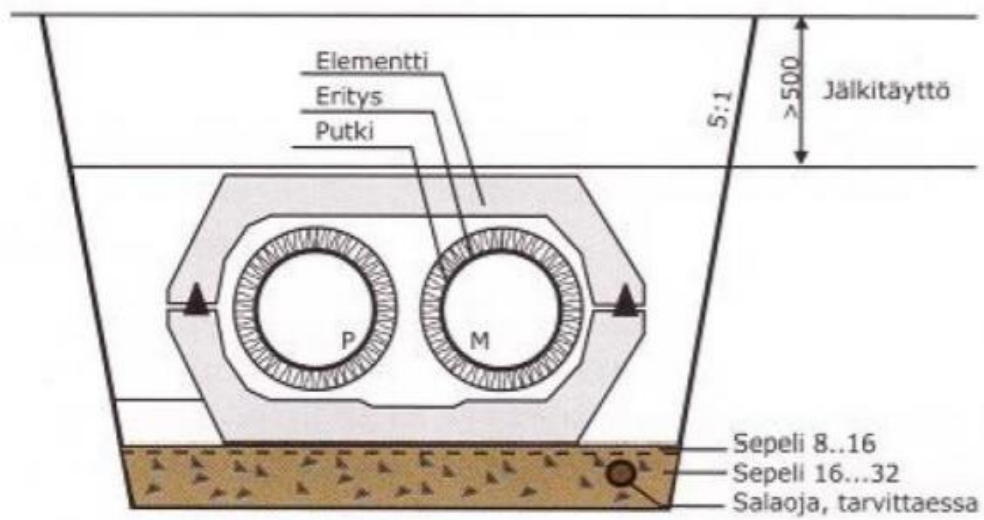


Kuva 5: Poikkileikkaus johtotyypistä Mpul (Energiateollisuus 2006, 145)

### 3.4 Betonikanavajohdot

Betonikanavajohtoja on useita eri tyyppiä kuten, kokoelementtikanavat Emv ja Epu, yläelementtikanava Ymv ja kevytbetoni eristeinen puolielementtikanava Pkb. Niistä yleisin on kokoelementtikanava Emv, joka koostuu tehdasvalmisteisista betonielementeistä, teräksisistä virtausputkista ja mineraalivillaeristeestä. Betoniset elementit muodostavat kanavan, jonka sisällä virtausputket ovat ohjattu ja tuettu alaelementistään. Virtausputket on hitsattu kiinni kiintopiste-elementteihin, joiden avulla myös lämpötilavaihteluista aiheutuvat liikkeet siirretään maahan. Virtausputkien ja kanavan seinämien väliin jää tilaa tuuletukselle ja eristeelle, joista yleisimpänä ovat mineraalivilla ja polyuretaani.

Uusia betonikanavajohtoja ei ole rakennettu enää vuosikymmeniin, mutta niitä on käytössä edelleen. (Energiateollisuus 2006, 144.) Kuvassa 6 on esitetty betonielementtikanava.



Kuva 6: Poikkileikkauskuva kokoelementtikanavasta Emv (Energiateollisuus 2006, 144)

## 4 LÄMPÖHÄVIÖT

### 4.1 Lämpöhäviöt kaukolämpöverkossa

Pienissä kaukolämpöverkoissa lämpöhäviöt ovat luokkaa 10-20 % putkikoon ollessa keskimäärin DN50. Suurissa kaukolämpöverkoissa lämpöhäviöt laskevat luokkaan 4-10 % putkikoon ollessa keskimäärin DN 150. Pienempien verkkojen suhteellisesti suuremmat lämpöhäviöt selittyvät niiden suuremmasta vaippapinta-alasta suhteessa siirtokykyyn.

Lämmön johtuminen ja lämpötilaero ovat keskenään suoraan verrannollisia. Lämpöhäviöitä syntyy, kun lämpöä siirtyy kaukolämpöjohdosta maaperään ja ympäristöön. Kaikki poistuva lämpö ei kuitenkaan ole lämpöhäviötä, sillä osa lämmöstä siirtyy paluuputkeen, josta se siirtyy takaisin tuotantolaitokselle hyödynnettäväksi. (Energiateollisuus 2006, 203.)

Lämpöhäviöt ovat suurin käyttökustannuserä lämmönjakelukustannuksista. Yleisimpiä lämpöhäviöitä lisääviä tekijöitä kaukolämpöverkossa ovat:

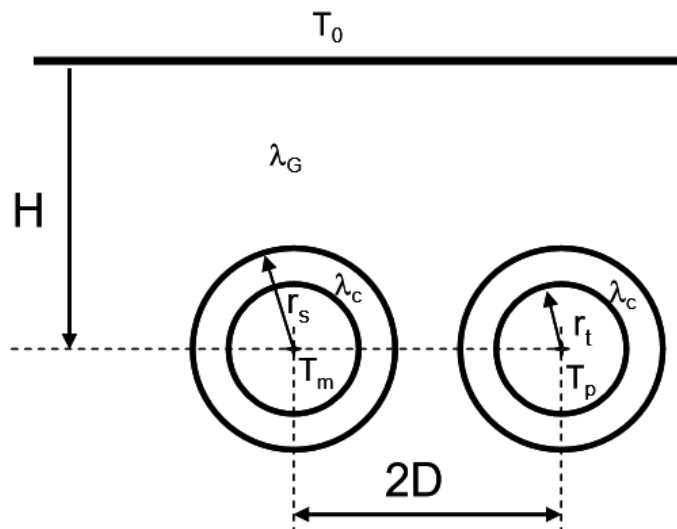
- kaukolämpöverkon liian korkea käyttölämpötila
- heikkolaatuinen eristystyö
- liian ohut eristys putkissa
- heikko eristys kaivoissa
- vanhentunut eristys putkissa, joka aiheuttaa suuren lämmönjohtavuuden
- maaperän suuri lämmönjohtavuus
- vuotovedet jäädyttävät ulkopuolelta
- putkikokojen ylimeritys – verkon huono käyttöaste
- mittausepä tarkkuudet kaukolämmössä (luokitellaan häviöiksi, sillä niitä ei voida laskuttaa)

Suurin osa näistä lämpöhäviöiden aiheuttajista on mahdollista poistaa oikeilla säädöillä sekä huolto- ja korjaustoimenpiteillä. (Energiateollisuus 2006, 209-210.)

## 4.2 Lämpöhäviölaskenta

Kaukolämpöjohtojen lämpöhäviöiden laskentaa varten on kehitetty useita eri menetelmiä. Tässä työssä on käytetty Lappeenrannan teknillisen yliopiston julkaisemassa raportissa ”Kaukolämpöjohtojen optimaalisen eristyspaksuuden tarkastelu” käyttämää laskentamenetelmää, joka pohjautuu ruotsalaisen Chalmersin teknillisen yliopiston raporttiin ”Jämförelse mellan dubbel- och enkelrör”. Kyseistä laskentamenetelmää on käyttänyt myös IEA omassa raportissaan. (Koskelainen, Meuronen, Sirola & Vakkinen, 2009.)

Lämpöhäviöt lasketaan sekä yksi-, että kaksiputkijohtotyypeille. Lämpöhäviöiden määrittämiseksi tarvitaan useaa eri komponenttia. Kuvassa 7 on esitetty osa vaikuttavista komponenteista yksiputkijohtotyypillä.



Kuva 7: Havainnollistava poikkileikkauskuva yksiputkisten kaukolämpöjohtojen lämpöhäviöiden määrittämiseksi. (Koskelainen et al. 2009)

### 4.2.1 Kiinnivaadotetun yksiputkielementin 2Mpuk lämpöhäviöt

Kokonaislämpöhäviö per pituusyksikkö  $\Phi_{tot}$  saadaan summaamalla menoputken lämpöhäviö per pituusyksikkö  $\Phi_m$  ja paluuputken lämpöhäviö per pituusyksikkö  $\Phi_p$ :

$$\Phi_{tot} = \Phi_m + \Phi_p \quad (1)$$



Voidaan myös ajatella lämpöhäviöiden koostuvan kaukolämpöjohdosta ympäristöön siirtyvästä lämpövirrasta  $\Phi_s$  ja johtojen välisestä lämpövirrasta  $\Phi_a$ . Tällöin lämpöhäviöt voidaan esittää muodossa:

$$\Phi_m = \Phi_s + \Phi_a \quad (2)$$

$$\Phi_p = \Phi_s - \Phi_a \quad (3)$$

Kun tunnetaan kaukolämpöveden menolämpötila  $T_m$ , paluulämpötila  $T_p$ , ulkoilman lämpötila  $T_0$  sekä maaperän lämmönjohtavuus  $\lambda_G$ , saadaan lämpöhäviö ympäristöön määriteltyä lämmönsiirtokertoimen  $h_s$  avulla:

$$\Phi_s = \left( \frac{T_m + T_p}{2} - T_0 \right) 2\pi\lambda_G h_s \quad (4)$$

Putkien välillä siirtyvä lämpövirta voidaan määrittää lämmönsiirtokertoimen  $h_a$  avulla yhtälöstä:

$$\Phi_a = \left( \frac{T_m - T_p}{2} \right) 2\pi\lambda_G h_a \quad (5)$$

Kaukolämpöjohtojen upotussyvyyden  $H$ , johtojen keskipisteiden välisen etäisyyden  $2D$ , elementin säteen  $r_s$  ja virtausputken säteen  $r_t$  avulla voidaan määrittää lämmönsiirtokertoimet  $h_s$  ja  $h_a$ . Lämmönsiirtokertoimissa on otettu huomioon eristeen ja vaipan lämpövastus  $R_i$ , maaperän lämpövastus  $R_g$  ja putkien keskinäinen lämpövastus  $R_m$ .

$$\frac{1}{h_s} = \ln\left(\frac{2H}{r_s}\right) + \beta + \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{H}{D}\right)^2}\right) - \frac{\left(\frac{r_s}{2D}\right)^2 + \left(\frac{r_s}{2H}\right)^2 + \frac{r_s^2}{4(D^2 + H^2)}}{\frac{1 + \beta}{1 - \beta} + \left(\frac{r_s}{2D}\right)^2} \quad (6)$$

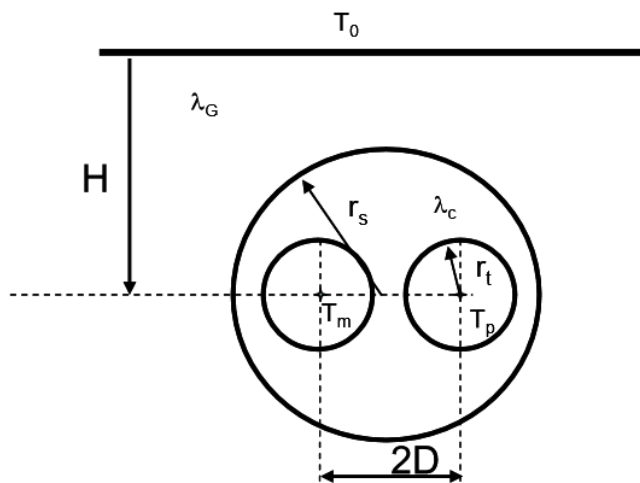
$$\frac{1}{h_a} = \ln\left(\frac{2H}{r_s}\right) + \beta - \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{H}{D}\right)^2}\right) - \frac{\left(\frac{r_s}{2D}\right)^2 + \left(\frac{r_s}{2H}\right)^2 + \frac{r_s^2}{4(D^2 + H^2)}}{\frac{1 + \beta}{1 - \beta} + \left(\frac{r_s}{2D}\right)^2} \quad (7)$$

Apusuure  $\beta$  voidaan määrittää yhtälöllä:

$$\beta = \frac{\lambda_G}{\lambda_c} \ln\left(\frac{r_s}{r_t}\right) \quad (8)$$

#### 4.2.2 Kiinnivaahdotetun kaksiputkielementin Mpuk lämpöhäviöt

Lämpövastukset määritellään samalla periaatteella kuin edellä. Laskennassa käytettäviä komponentteja on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8: Havainnollistava kuva kaksiputkielementin lämpöhäviölaskennassa käytettävistä komponenteista (Koskelainen et al. 2009)

Kokonaislämpöhäviö voidaan ratkaista kuten yksiputkielementillä yhtälöllä 1. Lämpöhäviöt saadaan jälleen määriteltyä lämmönsiirtokertoimien  $h_s$  ja  $h_a$  avulla.

Lämmönsiirtokertoimet  $h_s$  ja  $h_a$ , joissa on huomioitu maaperän-, eristeen-, vaipan- ja putkien keskinäisen vaikutuksen lämpövastukset voidaan määrittää, kun tunnetaan putkien upotussyvyys  $H$ , virtausputkien keskipisteiden etäisyys  $2D$ , maaperän

lämmönjohtavuus  $\lambda_G$ , eristeen lämmönjohtavuus  $\lambda_c$ , virtausputken säde  $r_t$  ja elementin säde  $r_s$ :

$$\frac{1}{h_s} = \frac{2\lambda_c}{\lambda_G} \ln\left(\frac{2H}{r_s}\right) + \ln\left(\frac{r_s^2}{2Dr_t}\right) + \delta \ln\left(\frac{r_s^4}{(r_s^4 - D^4)}\right) - \frac{\left(\frac{r_t}{2D} - \frac{\delta 2r_t D^3}{(r_s^4 - D^4)}\right)^2}{1 + \left(\frac{r_s}{2D}\right)^2 + \delta \left(\frac{2r_t r_s^2 D}{(r_s^4 - D^4)}\right)} \quad (9)$$

$$\frac{1}{h_a} = \ln\left(\frac{2D}{r_t}\right) + \delta \ln\left(\frac{r_s^2 + D^2}{r_s^2 - D^2}\right) - \frac{\left(\frac{r_t}{2D} + \gamma \frac{Dr_t}{4H^2} + \frac{2\delta r_t r_s^2 D}{(r_s^4 - D^4)}\right)^2}{1 - \left(\frac{r_t}{2D}\right)^2 - \gamma \frac{r_t}{2H} + 2\delta r_t^2 r_s^2 \frac{r_s^4 + D^4}{(r_s^4 - D^4)^2}} - \gamma \left(\frac{D}{2H}\right)^2 \quad (10)$$

Apusuureet  $\delta$  ja  $\gamma$  voidaan määrittää yhtälöillä:

$$\delta = \frac{\lambda_c - \lambda_G}{\lambda_c + \lambda_G} \quad (11)$$

$$\gamma = \frac{2(1 - \delta^2)}{1 - \delta \left(\frac{r_s}{2H}\right)^2} \quad (12)$$

### 4.3 Lappeenrannan Energiaverkkojen kantaverkon lämpöhäviöt

Energiateollisuudella on edellisten lämpöhäviöyhtälöiden avulla tehdyt laskentaohjelmat kaukolämpöjohtojen eristyspaksuuden optimointia varten. Laskentaohjelmat ovat rakennettu sekä yksiputkirakennetta, että kaksiputkirakennetta varten. Tässä työssä on lämpöhäviöiden määrittämistä varten hyödynnetty kyseisiä laskentaohjelmia ja niitä hieman soveltamalla on tehty oma Excel-tiedosto.

Lappeenrannan Energiaverkkojen kaukolämpökantaverkko koostuu useista eri kaukolämpöjohtotyypeistä. Koko kantaverkon yhteenlaskettu pituus on 374,9 km (Lappeenrannan Energiaverkot sisäinen lähde). Johtotyyppien pituudet kokoluokittain on esitetty alla. Betonielementtisarake sisältää sekä Emv, että Epu johtotyypit.

Taulukko 1: Lappeenrannan Energiaverkkojen teräksisten kaukolämpöjohtojen pituudet tyypeittäin (Lappeenrannan Energiaverkot sisäinen lähde)

DN	2Mpuk [m]	Mpuk [m]	Mpul [m]	2Mpul [m]	Betonielementti [m]	Apu [m]
20	4723	125	7852	-	-	-
25	11605	-	1244	-	-	-
32	351	-	382	-	-	-
40	10351	4303	11333	49	53	17
50	16428	9800	8792	69	370	30
65	12581	8203	6657	3	3048	-
80	15373	2380	1589	-	2161	-
100	13065	2875	3677	-	6489	-
125	3642	449	2856	-	5649	-
150	10954	347	4401	137	4946	-
175	-	-	96	-	-	-
200	4571	719	914	-	14397	-
250	4524	-	2	-	7739	-
300	2720	-	-	-	159	-
350	-	-	-	-	4462	-
400	3968	-	-	-	3102	-
500	1933	-	-	-	-	-
600	-	-	-	-	3452	-
yht.	116789	29200	49796	258	56027	47

Taulukko 2: Lappeenrannan Energiaverkkojen kuparisten kaukolämpöjohtojen pituudet tyypeittäin (Lappeenrannan Energiaverkot sisäinen lähde)

Virtausputken ulkohalkaisija [m]	Putken pituus			
	Cu2Mpuk [m]	CuMpul [m]	CuMmvl [m]	Cu2Mmvl [m]
0,015	73	37	500	-
0,018	-	33	8781	1127
0,022	36633	11	3858	16
0,028	13370	-	3375	27
0,035	16370	-	2966	1
0,042	23636	6	3452	-
0,054	7998	-	538	-
0,063	-	-	21	-
yht.	98079	88	23491	1171

Lämpöhäviöt kullekin putkityypille määritetään edellä esitettyjen kaavojen avulla, pois lukien asbestielementtisuojaputki (Apu), joka on jätetty pois laskennasta sen vähäisen

määrän vuoksi. Betonielementtien lämpöhäviöiden määrittämiseen on hyödynnetty Energiateollisuuden (2012) työkalussa ”Laskentatyökalu kaukolämpöverkon uudisrakentamisen ja perusparantamisen energia- ja kustannustehokkuustarkasteluja varten” esitettyjä valmiita arvioita kullekin betonielementin kokoluokalle.

Taulukossa 3 on esitetty eri putkityyppien eristeille laskennassa käytettyjä lämmönjohtavuuksia. Eristeiden paksuuksina on laskennassa käytetty vuoteen 2010 asti käytössä olleita eristyspaksuuksia. Lämpöhäviöiden selvittämiseksi varten tulee määrittää alkuarvot. Laskennassa käytetty lämmön hinta on saatu Lappeenrannan Energialta. Kaukolämmön paluulämpötila ja maaperän lämpötila voidaan olettaa pysyvän vakioina. Kaukolämmön menolämpötilana on käytetty keskimääräistä arvoa 85 °C. Tarkasteluajanjaksona on käytetty vuotta. Laskennassa käytetyt alkuarvot ovat esitetty taulukossa 4.

Taulukko 3: Laskennassa käytetyt lämmönjohtavuudet eristeille

Putkityyppi -	Eristeen lämmönjohtavuus [W/mK]
Mpuk	0,027
2Mpuk	0,027
Cu2Mpuk	0,027
Mpul	0,038
2Mpul	0,038
CuMpul	0,038
CuMmvl	0,037
Cu2Mmvl	0,037
Betonielementti	0,050

Taulukko 4: Laskennassa käytettävät alkuarvot

Kaukolämmön menolämpötila [°C]	85
Kaukolämmön paluulämpötila [°C]	45
Maaperän lämpötila [°C]	6
Kuoren lämmönjohtavuus [W/mK]	0,43
Maaperän lämmönjohtavuus [W/mK]	1,5
Peittosyvyys [m]	0,6
Aika [h]	8760

## 5 LÄMPÖHÄVIÖIDEN TULOKSET

Edellisen kappaleen alkuarvoilla ja lämpöhäviölaskennassa esitetyillä yhtälöillä voidaan ratkaista lämpöhäviötehot eri putkityypeille. Lämpöhäviötehot pituusyksikköä kohden esitetty taulukoissa 5 ja 6.

Taulukko 5: Teräksisten kaukolämpöjohtojen lämpöhäviötehot eri johtotyypeillä ja putkikokoluokilla pituusyksikköä kohden

DN	2Mpuk [W/m]	Mpuk [W/m]	Mpul [W/m]	2Mpul [W/m]	Betonikanava [W/m]
20	12,4	10,9	14,9	17,0	-
25	14,3	11,9	16,3	19,7	-
32	15,6	11,1	15,3	21,4	-
40	17,5	12,9	17,7	23,9	70,0
50	19,0	15,1	20,6	25,9	70,0
65	21,4	14,8	20,3	29,1	75,0
80	22,6	16,2	22,1	30,8	75,0
100	23,5	16,0	22,0	32,0	80,0
125	26,2	18,9	25,8	35,6	90,0
150	28,9	23,1	31,4	39,2	100,0
175	-	-	33,9	-	-
200	30,3	25,9	35,1	41,1	115,0
250	36,0	-	72,0	48,6	130,0
300	40,9	-	-	55,1	140,0
350	-	-	-	-	150,0
400	40,9	-	-	55,2	165,0
500	52,1	-	-	69,7	180,0
600	62,8	-	-	83,4	238,0

Taulukko 6: Kuparisten kaukolämpöjohtojen lämpöhäviötehot eri johtotyypeillä ja putkikokoluokilla pituusyksikköä kohden

Virtausputken ulkohalkaisija [m]	Cu2Mpuk [W/m]	CuMpul [W/m]	CuMmvl [W/m]	Cu2Mmvl [W/m]
0,015	10,1	10,9	10,1	13,6
0,018	10,5	12,3	10,5	14,2
0,022	11,8	12,6	11,8	15,9
0,028	12,7	15,5	12,7	17,0
0,035	14,7	17,2	14,7	19,7
0,042	15,6	15,3	15,6	20,8
0,054	19,3	21,8	19,3	25,7
0,063	19,8	23,1	19,8	26,4

Kun tunnetaan putkityyppien pituudet ja lämpöhäviötehot pituusyksikköä kohden voidaan niiden tulolla ratkaista lämpöhäviötehot kustakin putkityypistä. Alla esitetty lämpöhäviötehot.

Taulukko 7: Lämpöhäviötehot eri putkityypeille ja kokoluokille

DN	2Mpuk [kW]	Mpuk [kW]	Mpul [kW]	2Mpul [kW]	Betonielementti [kW]	
20	58,3	1,4	117,1	-	-	
25	166,5	-	20,3	-	-	
32	5,5	-	5,8	-	-	
40	180,7	55,6	201,0	1,2	3,7	
50	311,6	147,6	180,9	1,8	25,9	
65	268,6	121,5	135,1	0,1	228,6	
80	347,5	38,4	35,1	-	162,1	
100	306,7	46,1	80,9	-	519,1	
125	95,5	8,5	73,8	-	508,4	
150	316,8	8,0	138,3	5,4	494,6	
175	-	-	3,3	-	-	
200	138,5	18,6	32,1	-	1655,7	
250	162,7	-	0,1	-	1006,1	
300	111,3	-	-	-	22,3	
350	-	-	-	-	669,3	
400	162,2	-	-	-	511,8	
500	100,7	-	-	-	-	
600	-	-	-	-	821,6	
yht.	2733,1	445,8	1023,7	8,4	6629,1	10840,1

Taulukko 8: Lämpöhäviötehot eri putkityypeille ja kokoluokille

Virtausputken ulkohalkaisija [m]	Cu2Mpuk [kW]	CuMpul [kW]	CuMmvl [kW]	Cu2Mmvl [kW]	
0,015	0,7	0,4	5,3	-	
0,018	-	0,4	105,3	16,0	
0,022	432,2	0,1	47,6	0,3	
0,028	169,3	-	51,0	0,5	
0,035	241,4	-	49,7	0,0	
0,042	367,8	0,1	51,7	-	
0,054	154,7	-	11,5	-	
0,063	-	-	0,5	-	
yht.	1366,1	1,0	322,5	16,8	1706,5

Vuotuinen lämpöhäviö kaukolämpöverkolle voidaan nyt määrittää, kun kerrotaan lämpöhäviöteho vuoden tunneilla. Vuotuiset lämpöhäviöt putkityypeittäin esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9: Eri putkityyppien lämpöhäviötehot ja lämpöhäviöt vuodessa

	Lämpöhäviö	
	Lämpöhäviöteho [kW]	vuodessa [MWh]
2Mpuk	2733	23942
Mpuk	446	3905
Mpul	1024	8968
2Mpul	8	74
Betonielementti	6629	58071
Cu2Mpuk	1366	11967
CuMpul	1	9
CuMmvl	323	2825
Cu2Mmvl	17	147
yht.	12547	109908

Yllä olevasta taulukosta voidaan lukea näillä alkuarvoilla saatu Lappeenrannan Energiaverkkojen kantaverkon kokonaislämpöhäviö vuodessa, joka on noin 109 908 MWh. Laskenta ei kuitenkaan ole tarkka, mutta se antaa kattavan arvion Lappeenrannan Energiaverkkojen lämpöhäviöistä. Tarkkuuteen vaikuttaa erityisesti maahan upotettujen, eri ikäisten kaukolämpöjohtojen eristeiden lämmönsiirto-ominaisuuksien vaikea arviointi. Excel-tiedoston alkuarvoja muuttamalla voi kuitenkin tutkia niiden vaikutusta lämpöhäviöihin.

## 5.1 Betonikanavajohtojen perusparantamisen investointilaskenta

Tässä kappaleessa määritetään takaisinmaksuaika investoinnille, jossa betonikanavajohdot korvataan Mpuk- ja 2Mpuk johtotyypeillä. Laskennassa käytetään Energiateollisuuden (2012) valmista Excel-tiedostoa.

Syöttämällä laskentataulukkoon alkuarvot, antaa se vastaukseksi jokaisen putkikoon korottoman ja korollisen takaisinmaksuajan sekä niiden sisäiset korot. Betonikanavien lämpöhäviötehot ovat samat kuin lämpöhäviölaskennassa käytetyt. Mpuk- ja 2Mpuk tyyppien lämpöhäviötehot ovat valmiiksi Energiateollisuuden määrittämät. Niiden lämpöhäviötehojen määrittämiseen on käytetty vuonna 2011 käyttöön tullutta



eristyspaksuutta. Lämpöhäviötehona on käytetty Mpuk arvoja, kun putkikoko on DN 150 tai pienempi, muulloin on käytetty 2Mpuk arvoja. Taulukossa 10 on esitetty Energiateollisuuden (2012) työkalulla saadut tulokset ja niiden laskennassa käytettyjä lähtöarvoja. Perusparannuksen rakennuskustannukset ovat valmiiksi esitetyt. Rakennuskustannukset ovat tehty Energiateollisuuden 2011 julkaiseman kaukolämpöjohtojen rakennuskustannusten pohjalta. Häviöenergian hintana on käytetty 45 €/MWh ja korko takaisinmaksuaikatarkastelussa on 3 %.

Taulukko 10: Betonielementtikanaavien perusparannuksen takaisinmaksuajat

DN	Lämpöhäviöteho, betonik., W/m	Lämpöhäviöteho, Mpuk/ 2Mpuk, W/m	Lämpöhäviötehon säästö, W/m	Vuosisäästö, lämpöhäviöt, kWh/m	Vuosisäästö, lämpöhäviöt, €/m	Muu vuosisäästö, esim. kp-kust. €/m	Säästöt yhteensä, €/m	Rakennuskustannus, €/m	Koroton takaisinmaksuaika, vuotta	Korollinen takaisinmaksuaika, vuotta	Sisäinen korko, %
80	75	14,3	60,7	532	24		24	195	8	9	12 %
100	80	14,2	65,8	576	26		26	225	9	10	11 %
125	90	13,8	76,2	668	30		30	250	8	10	12 %
150	100	15,6	84,4	739	33		33	290	9	10	11 %
200	115	32,3	82,7	724	33		33	340	10	13	9 %
250	130	32,4	97,6	855	38		38	405	11	13	9 %
300	140	35,6	104,4	915	41		41	570	14	18	7 %
400	165	35,2	129,8	1137	51		51	750	15	20	7 %
500	180	42,5	137,5	1205	54		54	900	17	23	6 %
600	238	49,0	189,0	1656	75		75	1150	15	21	6 %

Taulukosta voidaan lukea, että korolliset takaisinmaksuajat vaihtelevat 9 ja 23 vuoden välillä. Sisäiset korot vaihtelevat 6 ja 12 % välillä. Tämä tukisi investoinnin kannattavuutta, sillä uusien kaukolämpöjohtojen teknisen käyttöiän tulee olla vähintään 50 vuotta jatkuvassa 115 °C käyttölämpötilassa (Energiateollisuus 2006, 137).

## 6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää laskennallisesti Lappeenrannan kaukolämmön kantaverkon lämpöhäviöt sekä tehdä investointilaskelma betonikanavajohtojen perusparantamiselle. Lämpöhäviöiden tarkka laskenta osoittautui haastavaksi, sillä kaukolämpöputkien lämmönjohtavuusominaisuuksien tarkka arviointi vuosikymmeniä vanhojen putkien osalta on lähes mahdotonta. Tässä työssä saadut tulokset ovatkin vain suuntaa antavia arvioita, johtuen työssä käytetyistä useista oletuksista sekä arvioista. Tarkasteltavan kantaverkon yhteenlaskettu pituus oli 374,9 km. Vuotuisen kaukolämpöverkon laskennallinen kokonaislämpöhäviön 109 908 MWh voidaan kuitenkin katsoa olevan realistinen tulos sen suuruusluokan perusteella. Huomattavimman osuuden lämpöhäviöistä aiheutti betonielementtikanavat, joiden yhteenlaskettu vuotuinen lämpöhäviömäärä oli 58 071 MWh, eli yli puolet koko verkon lämpöhäviöstä.

Investointilaskelma jäi työssä suppeaksi, jotta työn laajuus ei ylittäisi kandidaatintyölle asetettuja rajoja. Investointilaskelmasta saadaan kuitenkin tieto, että betonielementtikanavien perusparantaminen maksaisi itsensä takaisin reilusti ennen uuden putken käyttöiän päätymistä (korolliset takaisinmaksuajat 9-23 vuotta ja uuden putken käyttöikä 50 vuotta).

Työn kirjallisuusosassa esitettiin kaukolämmön taustaa Suomessa sekä Lappeenrannassa. Lappeenrannan Energia konserniyhtiö esiteltiin lyhyesti sekä sen tarjoamat palvelut. Kaukolämpöputket esitettiin putkityypeittäin ja lämpöhäviöiden teoriaosuus sekä laskenta esitettiin omassa kappaleessaan.

Työssä täyttyi Lappeenrannan Energiaverkoilta saadut työn tavoitteet ja kandidaatin työhön vaadittu laajuus. Laskennan tuloksia voidaan mahdollisesti käyttää hyödyksi Lappeenrannan Energiaverkkojen tulevilla saneeraussuunnitelmissa ja Excel-tiedoston avulla voidaan tarkastella lämpöhäviöiden määrän vaihtelua eri lämpötiloilla tarpeen mukaan.

## LÄHDELUETTELO

Energiateollisuus 2005: Kaukolämpötilasto 2005. Julkaistu 2006. Saatavilla: [https://energia.fi/files/1197/kaukolampotilasto2005julkaisu\\_0.pdf](https://energia.fi/files/1197/kaukolampotilasto2005julkaisu_0.pdf). Viitattu 14.3.2020.

Energiateollisuus 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki. Energiateollisuus ry. 566 s. ISBN 952-5615-08-1

Energiateollisuus 2012. Laskentatyökalu kaukolämpöverkon uudisrakentamisen ja peruserantamisen energia- ja kustannustehokkuustarkasteluja varten. Excel-tiedosto.

Energiateollisuus 2013. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2013. Päivitetty 9.5.2014. Saatavilla: [https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1\\_2013\\_20140509.pdf](https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1_2013_20140509.pdf). Viitattu 15.3.2020.

Energiateollisuus 2018. Kaukolämpötilasto 2018. Julkaistu 2019. Saatavilla: <https://energia.fi/files/3935/Kaukolampotilasto2018.pdf>. Viitattu 15.3.2020.

Koskelainen, Lasse; Meuronen, Vesa; Sirola, Veli-Pekka; Vakkilainen, Esa. 2009. Kaukolämpöjohtojen optimaalisen eristyspaksuuden tarkastelu. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Energiatekniikan osasto. Lappeenranta.

Lappeenrannan Energia Oy. Kaukolämpöä Lappeenrannassa jo 50 vuotta. Verkkojulkaisu. Julkaistu 22.5.2017. Saatavilla: <https://www.lappeenrannanenergia.fi/elamaa-ja-energiaa/kaukolampoa-lappeenrannassa-jo-50-vuotta>. Viitattu 17.3.2020.

Lappeenrannan Energia Oy a. Saatavilla: <https://www.lappeenrannanenergia.fi/yritys>. Viitattu 29.10.2019.

Lappeenrannan Energia Oy b. Saatavilla: <https://www.lappeenrannanenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/kaukolampoa-biovoimalla>. Viitattu 29.10.2019.

Pohjolan Voima. Verkkojulkaisu. Saatavilla: <https://www.pohjolanvoima.fi/tuotanto/lampovoima/lappeenranta>. Viitattu 3.11.2019.