

# **Matalalämpöisen kaukolämpöverkon lämpöhäviöt**

LAB-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK), Ympäristö- ja energiatekniikka  
2024  
Mikko Hietala

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Hietala, Mikko	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2024
	Sivumäärä 18	
Työn nimi <b>Matalalämpöisen kaukolämpöverkon lämpöhäviöt</b>		
Tutkinto Insinööri (AMK), Ympäristö- ja energiatekniikka		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Kasper Lehtinen, Kaukolämpöinsinööri, Lahti Energia Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia kaukolämpöverkon lämpöhäviöiden pienentymistä matalalämpöisemmällä menolämpötilalla. Opinnäytetyölle tehtiin Lahti Energia Oy:n toimeksi antamana. Työ sisälsi selvityksen nykyisestä kaukolämpöverkosta ja sen toiminasta sekä asiakaslaitteista ja tutkimusosuuden matalalämpöisen verkon lämpöhäviöistä. Työssä käytettiin materiaalina Kaukolämmön käsikirjaa sekä aiheesta aikaisemmin tehtyjä tutkimuksia sekä Lahti Energialla kaukolämpösuunnittelijana tekemäni harjoittelujakson yhteydessä hankittuja havaintoja ja tietoja. Työn tarkoituksena oli saada Lahti Energia Oy:lle tulevaisuutta varten suuntaa antava prosentuaalinen lukema lämpöhäviöistä kaukolämpöverkossa, kun menolämpötilaa lasketaan.</p>		
Asiasanat Kaukolämpö, kaukolämpöverkko, lämpöhäviö, matalalämpöinen kaukolämpöverkko		

## Abstract

Author(s) Hietala, Mikko	Type of Publication Thesis, UAS Number of Pages 18	Published 2024
Title of Publication <b>Heat losses of low-temperature district heating networks</b>		
Name of Degree Engineer(UAS), Enviromental and Energy Engineering		
Name, title and organization of the client Kasper Lehtinen, District Heating Engineer, Lahti Energia Oy		
Abstract <p>The purpose of this thesis was to study the reduction of heat losses in a district heating network with a lower supply temperature. The thesis was commissioned by Lahti Energia Oy. The work included an investigation of the current district heating network and its operations, as well as customer equipment and a research section on heat losses in a low-temperature network. The material used in the work included the District Heating Handbook, previous studies on the topic, and observations and information gathered during my internship as a district heating designer at Lahti Energia. The aim of the work was to provide Lahti Energia Oy with an indicative percentage figure of heat losses in the district heating network when the supply temperature is reduced, for future reference.</p>		
Keywords District heating, district heating network, heat loss, low-temperature district heating network		

## Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Toimeksiantaja .....	2
2.1	Lahti Energia Oy.....	2
3	Kaukolämpö.....	3
3.1	Yleistä .....	3
3.2	Tuotanto .....	3
3.3	Polttoaineet & ympäristöystävällisyys .....	3
3.4	Kaukolämmön jakeluverkosto .....	5
3.5	Lämmönsiirtimet .....	6
3.6	Asiakaslaitteisto.....	8
3.7	Pumppaus .....	9
3.8	Paine-erot ja -häviöt .....	9
4	Matalalämpöinen kaukolämpöverkko .....	10
4.1	Pääpiirteet .....	10
4.2	Matalalämpöverkkojen haasteet .....	10
4.3	Kaukolämpöteho .....	10
4.4	Painehäviöt .....	11
4.5	Pumppauskustannukset .....	13
4.6	Lämpöhäviöt.....	14
4.7	Pohdinta .....	15
5	Yhteenveto .....	16
	Lähteet .....	17

## 1 Johdanto

Energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys ovat tällä hetkellä jokaisen yhtiön tavoitteiden kärjessä. Kaukolämmöntuotannossa on monta eri vaihetta, joissa näitä molempia voidaan vielä parantaa.

Tässä opinnäytetyössä pyritään tutkimaan minkälaisia vaikutuksia kaukolämmön menolämpötilan alentamisella nykyverkossa olisi lämpöhäviöiden suhteen ja pyritään antamaan suuntaa antavia vastauksia taloudelliseen kannattavuuteen menolämpötilan laskemisen suhteen siihen liittyvien säästöjen, mutta myös aiheutuvien lisäkustannuksien kannalta. Lisäksi katsastellaan miten se vaikuttaisi ympäristöystävällisyyteen ja energiatehokkuuteen. Työssä käydään läpi myös pintapuolisesti matalalämpöisen kaukolämpöverkon muita mahdollisuuksia vaihtoehtoisten lämmönlähteiden suhteen. Lisäksi käydään läpi kaukolämmön toimintaperiaatteet sekä niihin liittyvää teoriaa ja fysiikkaa.

## 2 Toimeksiantaja

### 2.1 Lahti Energia Oy

Lahti Energia on nimensä mukaan lahtelainen energia-alan yhtiö, joka tuottaa kaukolämpöä Lahteen, Hollolaan sekä Asikkalaan ja sähkön jakeluverkko ulottuu edellä mainittujen lisäksi osittain Asikkalan ja Iitin kuntiin. Tämän lisäksi Lahti Energia tuottaa myös räätälöityjä energiaratkaisuja yrityksille sekä taloyhtiöille. Kaukolämpöä ja sähköä tuotetaan pääosin kierrätys- ja biopolttoaineilla. Kaukolämmöstä 94 prosenttia tuotetaan uusiutuvilla tai kierrätyspolttoaineilla, ja 93 prosenttia sähkön tuotannosta on myös päästötöntä. Lahti Energian arvot ovat asiakaskeskeisyys, uteliaisuus, aktiivisuus ja vastuullisuus. Arvoihin perustuu Lahti energian koko toiminta, jonka keskiössä ovat hyvä asiakaskokemus ja asiakaslähtöinen toiminta, ympäristöystävällisyys sekä ilmastoposiitivisuus. Lahti Energia on asettanut tavoitteekseen olla ilmastoposiitivinen vuoteen 2035 mennessä, joka tarkoittaa, että yhtiön toiminta sitoo enemmän hiilidioksidia kuin muodostaa sitä. (Lahti Energia 2023)

Lahti Energialla on noin 8 900 lämpöasiakasta ja noin 92 000 sähköverkkoasiakasta. Kaukolämpöverkon pituus on noin 690 kilometriä. Sähköverkon pituus on noin 4 860 kilometriä. Lahti Energia liikevaihto vuonna 2022 oli noin 200 miljoonaa euroa. Lahti Energia työllistää noin 200 vakituista työntekijää. (Lahti Energia 2023)

### 3 Kaukolämpö

#### 3.1 Yleistä

Kaukolämpö on yleisin käytetty lämmitysmuoto Suomessa. Vuonna 2018 Suomen asuin- ja palvelurakennuksien lämmittämiseen käytetystä lämmitysenergiasta 46 prosenttia tuotettiin kaukolämmöllä. Kaukolämmitys on käytössä yhteensä 166 Suomen kunnassa. Kaukolämmössä käytettävä lämmitysenergia tuotetaan yhdistetyissä sähkön- ja lämmöntuotantolaitoksissa, joita kutsutaan myös CHP-laitoksiksi (Combined Heating & Power) sekä erillisissä lämpölaitoksissa. Yhteistuotanto laitoksissa pystytään hyödyntämään myös tuotannossa syntyvä hukkalämpö, joka tekee siitä hyvin energiatehokkaan tavan tuottaa energiaa. Yhteistuotantolaitoksissa tuotettu lämpöenergia on lisääntynyt huomattavasti viimeisen parin kymmenen vuoden aikana kaukolämmön tuotannossa. (Motiva Oy 2022) Tuotettu lämpöenergia jaellaan asiakkaille kaukolämpöverkoston välityksellä. Kaukolämmön ollessa vielä tuore lämmitysmuoto käytettiin lämmön välityksineenä höyryä, mutta nykyään yleisin käytetty välittäjäaine on vesi (Mäkelä & Tuunanen 2015, 11.) Kaukolämpöverkossa kiertävä vesi on värjätty vihreällä väriaineella vuotojen havaitsemisen helpottamiseksi. Lisäksi verkossa kiertävä vesi on puhdistettua ja siitä on poistettu happi korroosion minimoimiseksi. (Motiva Oy 2022)

#### 3.2 Tuotanto

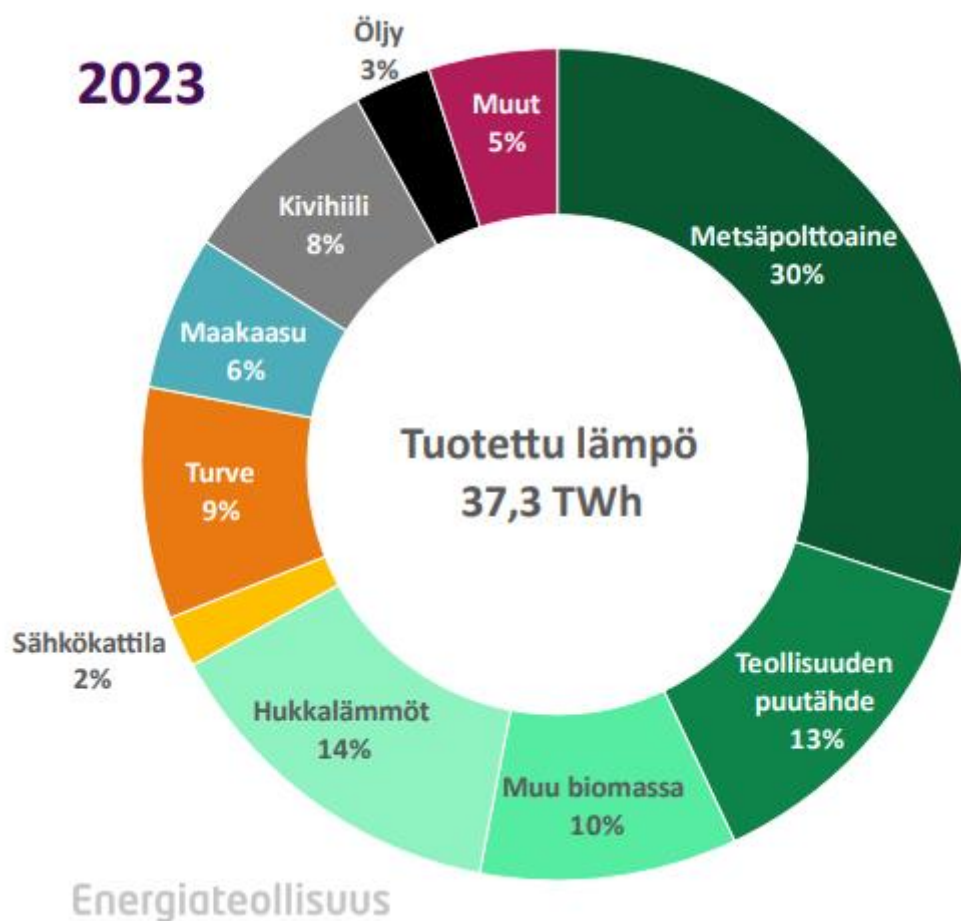
Kaukolämpöä tuotetaan suurimmaksi osin sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa, joita kutsutaan yleisemmin CHP-laitoksiksi. Nimi tulee englannin kielestä sanoista Combined Heating and Power. Kulutushuippujen kattamiseksi kaukolämpöä tuotetaan tarvittaessa myös yksittäisillä lämmöntuotantolaitoksilla. CHP-laitokset ovat yleisesti energiatehokkain ja ympäristöystävällisin tapa tuottaa niin kaukolämpöä kuin sähköäkin.

#### 3.3 Polttoaineet & ympäristöystävällisyys

Kaukolämmitys, tuotettuna etenkin CHP-laitoksessa on erittäin tärkeä osa kohti vihreää siirtymää, kohti parempaa energiatehokkuutta sekä puhtaampaa ympäristöä. Kaukolämmityksestä voidaan helposti erotella sen neljä vahvuutta, jotka ovat ympäristöystävällisyys, energiatehokkuus, kokonaistaloudellisuus sekä toimintavarmuus. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 12.)

Kaukolämmön ympäristövaikutukset vaihtelevat sen mukaan, millaisessa voimalaitoksessa se tuotetaan ja minkälaista polttoainetta lämpöenergian tuotannossa käytetään. Yhteistuotantolaitokset eli CHP-laitokset, joissa tuotetaan sekä sähköä että lämpöä samanaikaisesti ovat omaavat erittäin hyvän hyötysuhteen ja jos käytetään uusiutuvia polttoaineita kuten, puuta, haketta, pellettiä tai biokaasua paranee tuotetun kaukolämpöenergian ympäristöystävällisyys entisestään. (Motiva Oy 2022.)

Kuvaajasta 1 (Motiva Oy 2024) on näkyvillä kaukolämmön tuotossa käytettyjen polttoaineiden osuudet vuodelta 2023. Kaukolämmöstä tuotettiin fossiilisilla polttoaineilla 26 prosenttia ja hukkalämmöt hyödyntämällä sekä uusiutuvalla energialla tuotetun kaukolämmön osuus samana vuonna oli 69 prosenttia. Loput viisi prosenttia tuotettiin muilla keinoilla.

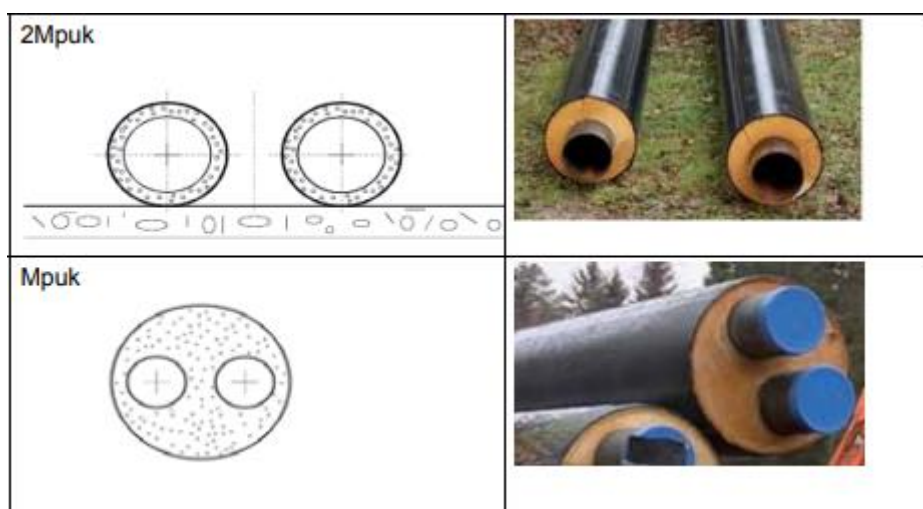


Kuva 1. Kaukolämmön tuotannossa käytettyjen polttoaineiden prosentuaaliset osuudet vuodelta 2023 (Motiva Oy 2024.)



### 3.4 Kaukolämmön jakeluverkosto

Yhteistuotantolaitoksilla ja lämpökeskuksissa tuotettu lämpö siirretään kaukolämpöverkkoa pitkin asiakkaalle. Kaukolämpöverkko on kaksiputkinen, jossa on meno- ja paluuputki. Nykyään rakentamisessa käytetään kahta eri putkityyppiä: Mpuk- ja 2Mpuk-johtoja (Kuva 2). Mpuk-johdossa sekä meno- että paluuputki ovat saman suoja- ja eristekuoren sisällä, kun taas 2Mpuk-johdossa meno- ja paluuputket ovat erillään eristettynä ja suojattuna. Molempien putkityyppien suojakuori on yleensä polyeteeniä ja eristysmateriaalina käytetään polyuretaania, joka on kiinnivaahdotettu sisällä olevaan varsinaiseen teräksiseen virtausputkeen. Tuloksena on helposti tehdasvalmisteinen kokonaisuus esitettynä kuvassa 2. (Hilamo, Energiateollisuus)



Kuva 2. 2Mpuk ja Mpuk kaukolämpöputki tyypit. (Energiateollisuus ry, Kaukolämpöverkonrakentamis- ja suunnitteluohjeet Suositus 2013, 11.)

Jakeluverkosto koostuu siirto-, runko-, ja talojohdoista. Nykypäivän rakentamisessa talojohdot pyritään lämmöntarjoajan puolesta pitämään mahdollisimman lyhyinä riskirakenteiden määrän minimoimiseksi. Talojohdolla tarkoitetaan kiinteistön sisäpuolella kulkevaa kaukolämpöjohtoa. Jakeluverkosto on yleensä koko kaukolämpöjärjestelmän kallein osa, sen pituuden ja tästä johtuvan kaivuun urakan määrän takia. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 50–51.)

Kaukolämpövesi itsessään ei kierrä kiinteistöissä, vaan lämpö luovutetaan lämmönsiirtimen kautta asiakkaan verkkoon. Jäähdyntynyt kaukolämpövesi palaa paluuputkea pitkin takaisin tuotantolaitoksille uudelleen lämmitettäväksi. Kaukolämpöveden menolämpötila nykyverkoissa on 75°C - 115°C tilanteen mukaan ja paluulämpötila on yleensä 45°C - 25°C. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 18.) Kaukolämpöveden menolämpötilaan tai toisinsanottuna tehontarpeeseen vaikuttaa eniten vuodenaika ja kellonaika sekä lisäksi kiinteistö kohtaiset

tarpeet. Esimerkiksi teollisuuden käytössä olevilla tiloilla on todennäköisesti suurempi lämmöntarve kuin asuinkiinteistöillä. Paluulämpötilaan vaikuttaa asiakkaan lämmitysverkosto sekä laitteiden tehokkuus ja toimivuus. Vanhat ja huonosti toimivat asiakaslaitteet ovat yksi suurista kaukolämmön paluulämpötilaa nostavista tekijöistä.

### 3.5 Lämmönsiirtimet

Lämmönsiirtimellä tarkoitetaan lämmönvaihainta, esitettynä kuvassa 3, jolla siirretään lämpöenergiaa eri lämpötilassa olevien nesteiden välillä. Laitteisto koostuu lämmönsiirrinelementeistä sekä säiliöistä ja putkistoista, jotka erottavat laitteistossa kiertävät nesteet. Lämmön siirto nesteeltä toiselle, ilman niiden sekoittumista, tapahtuu lämmönsiirrinelementissä johtamalla. (KL-lämpö Oy 2023.)

Lämmönsiirtimen pinnat voivat likaantua lämmönsiirtoprosessissa, kun vedessä olevat kovuusosat ja muut epäpuhtaudet kerääntyvät ajan mittaan siirtimen pinnalle. Lämmönsiirtimen pinnan likaantuminen laskee merkittävästi sen tehokkuutta lämmönsiirtoon, joka puolestaan aiheuttaa virtauksien hidastumista ja painehäviöitä. Virtauksen hidastuminen sekä painehäviöt vaikuttavat suoraan energiatehokkuuteen pumppaus- ja polttoainekustannusten kautta. Erityisesti teollisuuden lämmönsiirtimet ovat alttiina likaantumiselle teollisuuden prosesseissa käytettyjen aineiden takia. (Motiva Oy 2016.)

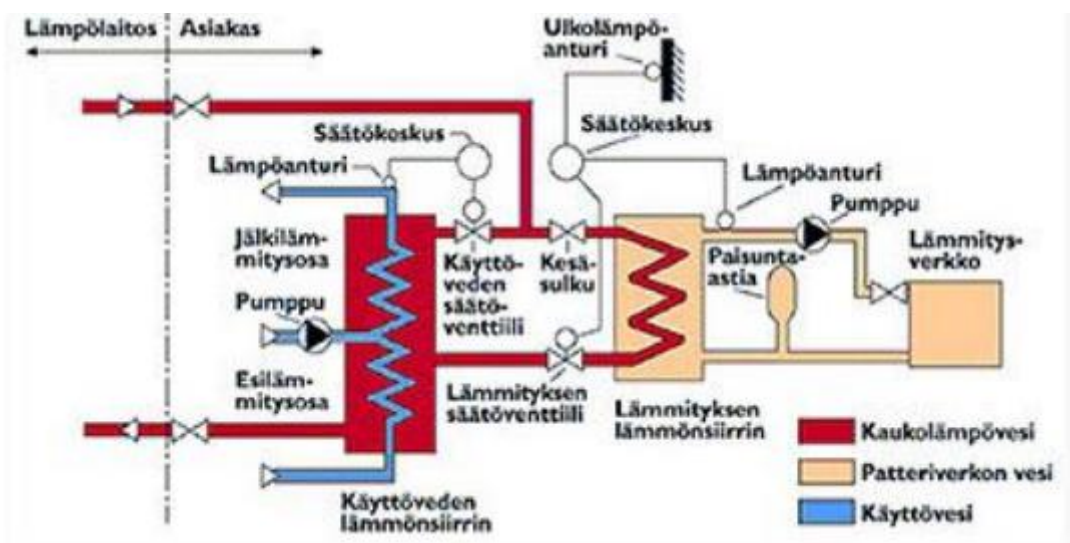


Kuva 3. HögforsGST Unis 25-2R pientalon lämmönvaihdin. (HögforsGST 2023.)

### 3.6 Asiakaslaitteisto

Kuvassa 4 on kuvattuna lämmönjakohuoneessa sijaitsevat kaukolämpölaitteiston asiakaslaitteet, jotka on jaettu kahteen eri osaan, mittauskeskukseen ja lämmönjakokeskukseen. Mittauskeskus on vielä lämmöntarjoajan vastuulla ja sen hankkii, omistaa ja huoltaa lämmönmyyjä. Mittauskeskus koostuu lämpömäärän laskijalaitteesta, johon on kytketty meno- ja paluuveden lämpötila anturit ja virtausanturi. (Siltakoski 2013, 15.) Lämmönjakokeskuksen omistaa ja huoltaa asiakas. Lämmönjakokeskuksen oleelliset osat:

- lämmityksen lämmönsiirrin
- käyttöveden lämmönsiirrin
- säätölaitteet
- pumput
- paisunta- ja varolaitteet
- lämpömittari
- painemittari
- sulkuventtiilit



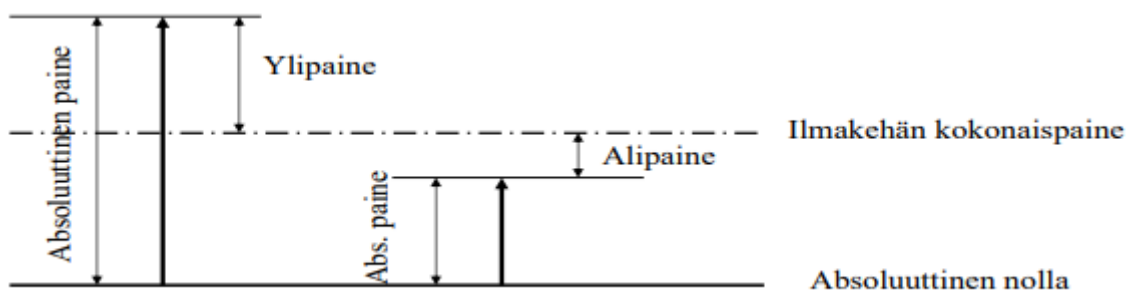
Kuva 4. Asiakaslaitteiston kytkentäkaavio. (Siltakoski 2013, 15.)

### 3.7 Pumppaus

Pumppausta vaaditaan kaukolämpöverkossa, jotta voidaan ylläpitää tarvittavat paine-erot veden virtauksen varmistamiseksi. Verkossa menopuolella täytyy olla suurempi paine kuin paluupuolella. Verkostossa painehäviöitä voivat aiheuttaa putkien mutkat ja niiden pinnan- karheus sekä venttiilit. Lisäksi suurempi veden virtaama tarkoittaa suurempia painehäviöitä. Tarvittavien paine-erojen ylläpitoa varten, joudutaan yleensä rakentamaan välipumppaamoita. (Siltakoski 2013, 21–22.)

### 3.8 Paine-erot ja -häviöt

Kaukolämpöverkon paine-eron suuruus putkiston meno- ja paluuputken välillä vaihtelee sen rakenteen mukaan. Tuotantolaitosten läheisyydessä paine-ero saattaa nousta yli 10 baariin. Sen sijaan muilla verkon osuuksilla paine-ero pysyy yleensä merkittävästi alhaisempana. Kun uusia lämmönlähteitä liitetään kaukolämpöverkkoon, on tärkeää ottaa huomioon kyseisen kohdan paineet ja paine-erot. Jokaiselle verkon asiakkaalle tulee olla taatuna luvattu minimipaine-ero, joka on 0,6 baaria. Kaukolämpöverkon paineen tulee aina olla suurempi kuin ilmanpaine, toisin sanoen verkossa täytyy olla ylipaine. Alipainetta muodostuu, kun verkko on pienemmässä paineessa kuin ilmakehän kokonaispaine. Alla olevassa kuvassa 5 on demonstroitu yli- ja alipaineen muodostuminen. (Siltakoski 2013, 22.)



Kuva 5. Ali – ja ylipaineen muodostuminen (Siltakoski 2013, 22.)

## 4 Matalalämpöinen kaukolämpöverkko

### 4.1 Pääpiirteet

Neljännän sukupolven kaukolämpöverkkojen yksi merkittävin piirre liittyy menolämpötiloihin, joka myös erottaa ne selkeästi kolmannen sukupolven eli tämänhetkisistä kaukolämpöverkoista. Kolmannen sukupolven kaukolämpöverkot toimivat tyypillisesti 75 °C – 115 °C lämpötiloissa, kun taas neljännän sukupolven matalalämpöiset verkot voivat toimia jopa alle 70 °C lämpötiloissa. (Hynynen 2018, 28.) Tässä työssä laskelmat tehtiin menolämpötilan pienentymisellä 90 °C.

Matalammalla lämpötilalla on useita hyötyjä ja mahdollisuuksia, joita se tarjoaa. Alhaisempi lämpötila vähentää verkoston lämpöhäviöitä lämpötilaeron ulkoilman ja kaukolämpöveden välillä pienentyessä, joka tekee verkosta energiatehokkaamman. Lisäksi etenkin yhdistetyssä sähkön- ja lämmön tuotannossa (CHP-laitokset) alhaisempi kaukolämmön lämpötila mahdollistaa höyryn paisuttamisen turbiinissa matalampaan paineeseen, jolloin myös voidaan tuottaa enemmän sähköä. (Hynynen 2018, 28.)

Matalalämpöisien verkkojen käyttöönotto tarjoaa myös uusia mahdollisuuksia lämmöntuotannossa. Lämpöpumput, hukkalämmön talteenotto ja aurinkolämpöjärjestelmät voivat tuottaa korkealaatuista ja ympäristöystävällistä lämpöä kaukolämpöverkkoon ilman lämmön erillistä priimaamista eli lämpötilan nostamista, joka on tarvittavaa nykyisiin kaukolämpöverkkoihin. (Hynynen 2018, 28.)

### 4.2 Matalalämpöverkkojen haasteet

On tärkeää huomioida, että kaukolämpöverkon menolämpötilan laskemiseen liittyy myös haasteita. Lämpöteho vähenee, kun lämpötila laskee, mikä voi johtaa siihen, että osa asiakkaista ei saa tarvitsemaansa lämmitystehoa. Kun näin käy asiakkaiden lämmönsiirtolaitteet kasvattavat niiden lävitse kulkevaa virtaamaa tarvittavan lämmitystehon saamiseksi. Tämä lisää koko verkon virtaamaa ja virtaaman kasvu johtaa painehäviöihin, joita joudutaan kompensoimaan lisäämällä pumppausta. Tämä tarkoittaa pumppauskustannusten nousua sekä mahdollisesti investointeja uusiin välipumppaamoihin. Lisäksi on otettava huomioon asiakkaiden lämmitysjärjestelmiä mitoituksessa kylmimmät mahdolliset lämpötilat sekä käyttöveden lämmityksen tarpeet, jotka ovat yleensä hetkellisiä kulutushuippuja.

### 4.3 Kaukolämpöteho

Veden tiheys ja ominaislämpökapasiteetti muuttuvat lämpötilan mukaan. Kuitenkin tarkastellulla lämpötilavälillä (40–120 °C) voidaan olettaa näiden ominaisuuksien pysyvän

vakioina. Tämä implikoi, että kaukolämmön lämpötehon muutos korreloi suoraan jäähtymisen ja tilavuusvirran muutosten kanssa. Pyrkiessämme säilyttämään lämpötehon vakaana samalla kun alennamme menolämpötilaa, vähenee kaukolämpöveden jäähtyminen. Tämä puolestaan aiheuttaa kaukolämpöveden tilavuusvirran kasvun suhteessa jäähtymisen vähenemiseen. (Hynynen 2018, 36.) Kun tiedetään aineen massa, ominaislämpökapasiteetti ja lämpötilan vaihtelu, kaukolämpöteho saadaan yhtälöstä 1.

$$Q = q_v c_p \Delta T \quad (1)$$

Missä:

- $Q$  on kaukolämpöteho
- $q_v$  on veden massavirta
- $c_p$  on aineen ominaislämpökapasiteetti
- $\Delta T$  on lämpötilaeron muutos

#### 4.4 Painehäviöt

Kaukolämpöputkiston vesivirrassa ilmenee painehäviöitä, jotka johtuvat erilaisista paikallisista vastuksista kuten putkiston kulmista, haarakohdista, halkaisijan muutoksista ja venttiileistä ja lisäksi kitka vaikuttaa myös painehäviöihin. Kun kaukolämpöverkon menolämpötilaa alennetaan, on välttämätöntä lisätä vesivirtaa, jotta koko järjestelmän läpi kulkeva lämpöteho säilyy ennallaan. (Hynynen 2018, 36) Kasvaessaan virtaus lisää myös painehäviöitä, jolloin pumppaus vaatii enemmän sähkötehoa mikä nostaa pumppauskustannuksia. Virtauksen aiheuttama painehäviö putkistossa, kun tiedetään putken ominaisuudet ja veden virtausnopeus, lasketaan kaavalla 2. Kaava ei ota huomioon mahdollisia haarakohtia tai putkiston kulmia eikä venttiilejä, sillä niistä aiheutuvat painehäviöt oletetaan olevan minimiaalisia.

$$\Delta P = \frac{4fL_p v^2}{D} \quad (2)$$

Missä:

- $\Delta P$  on painehäviö (pascalia, Pa)
- $f$  on putken kitkakerroin
- $L$  on putken pituus (metreinä, m)
- $\rho$  on aineen tiheys (kilogrammoina kuutiometrissä, kg/m<sup>3</sup>)
- $V$  on virtausnopeus putkessa (metreinä sekunnissa, m/s)
- $D$  on putken halkaisija (metreinä, m)

Hynysen (2018, 36–38) mukaan Kitkakerroin  $f$  riippuu putken pintamateriaalista ja virtauksen ominaisuuksista, ja sitä on tavallisesti löydettävissä putkien virtauslaskentoihin liittyvistä taulukoista tai ohjelmistoista.



## 4.5 Pumppauskustannukset

Pumppauskustannuksia laskettaessa tarvitsee tietää pumppausteho, joka saadaan kaavasta 3.

$$P = \frac{\rho Q g H}{\eta} \quad (3)$$

Missä:

- $P$  on pumppausteho (wattina, W)
- $\rho$  on pumpattavan aineen tiheys (kilogrammoina kuutiometriä kohti, kg/m<sup>3</sup>)
- $Q$  on virtausnopeus (kuutiometriä sekunnissa, m<sup>3</sup>/s)
- $g$  on painovoiman kiihtyvyys (metriä sekunnissa toisessa potenssissa, m/s<sup>2</sup>)
- $H$  on nostokorkeus (metreinä, m)
- $\eta$  on pumpun hyötysuhde (prosentteina, %)

Hyötysuhde voi vaihdella eri pumpputyypeillä ja käyttöolosuhteissa. Kaavaa voidaan käyttää pumppaustehon laskemiseen, kun tunnetaan muut suureet.

Putkistossa vallitsevan turbulenttisen virtauksen aiheuttama painehäviö on verrannollinen tilavuusvirran toiseen potenssiin. Ilmiö perustuu moneen tekijään, joista merkittävimpinä voidaan mainita virtauksen luonne sekä putken geometria. (Kasperin Lehtinen, 2023.) Painehäviön verrannollisuus tilavuusvirran toiseen potenssiin voidaan todistaa yhtälöllä 4.

$$\Delta p \sim q v^2 \quad (4)$$

Verrannollisuus voidaan johtaa putkiston ominaiskäyrän yhtälöstä, joka on toisen asteen paraabelin yhtälö 5.

$$\Delta p = K q_v^2 \quad (5)$$

Missä:

- $\Delta p$  = Putkiston kokonaispainehäviö turbulenttisessa virtauksessa
- $K$  = putkistolle ominainen vakio
- $q_v$  = aineen tilavuusvirta

## 4.6 Lämpöhäviöt

Lämpöhäviöt ovat yksi suurimmista yksittäisistä kustannuseristä nykyisessä kaukolämpöverkossa. Nykypäivän kaukolämpöverkossa lämpöhäviöt voivat olla suuremmissa verkostoissa 4–10 % ja pienemmissä verkoissa jopa 10–20 % tuotetusta lämmöstä. (Energiateollisuus 2006.) Edellä mainitut lämpöhäviöt ovat suuruudeltaan merkittävä kustannuserä lämmöntuottajalle, jonka takia lämpöhäviöt kaukolämpöverkossa pyritään minimoimaan. Matalalämpöisessä kaukolämpöverkossa lämpöhäviöt pienenevät matalamman menolämpötilan ansiosta, kun verkkoon ajettavan veden ja maaperän lämpötilaero on jo lähtökohtaisesti pienempi. Mitä suurempi ero kaukolämpöveden ja putken ulkopuolen välillä on, sitä suuremmat ovat lämpöhäviöt. Pienempien verkkojen suhteellisesti suuremmat lämpöhäviöt ovat seurausta suuremmasta vaippapinta-alasta suhteessa verkon siirtokykyyn. (Energiateollisuus ry 2006, 203.)

Kaukolämpöverkon lämpöhäviöitä voidaan laskea kaavalla 6.

$$H_{tot} = k \cdot (T_m + T_p - T_l - 2T_g) \quad (6)$$

Missä:

- $H_{tot}$  = lämpöhäviö
- $k$  = lämmönsiirtovakio
- $T_m$  = menoveden lämpötila
- $T_p$  = paluuv veden lämpötila
- $T_l$  = lämpötilan muutos
- $T_g$  = maaperän lämpötila

Nykyisessä kolmannen sukupolven kaukolämpöverkossa havaitaan lämpöhäviöitä, jotka vaihtelevat verkoston mittakaavan mukaan. Pienemmässä mittakaavassa nämä häviöt ovat noin 27 %, kun taas suuremmassa mittakaavassa ne ovat noin 21 %. Kun samat putket ja eristykset otetaan käyttöön neljännen sukupolven kaukolämpöverkossa, jossa käytetään alhaisempaa lämpötilatasoa, saavutettaisiin merkittävästi alhaisemmat lämpöhäviöt. Pienemmässä mittakaavassa nämä häviöt ovat noin 19 %, ja suuremmassa mittakaavassa noin 15 % (Sorknæs ym., 2020). Tämä merkitsee huomattavia säästöjä energiantuotannon kustannuksissa. Tämä ilmiö korostuu Tanskan kaukolämpöverkkoon liittyvässä tutkimuksessa, jossa havaittiin, että kaukolämmön tuotanto on peräti 1,3 TWh vuosittain suurempi

kolmannen sukupolven lämpötilatasolla verrattuna neljänteen sukupolveen (Sorknæs ym., 2022).

Kaavan (6) mukaan maksimimitoitusmenolämpötilaa  $115^{\circ}\text{C}$  verrattaessa  $90^{\circ}\text{C}$  sekä olettaen, että muut muuttujat pysyisivät vakioina, lämpöhäviöt pienevät noin 15 % putkikoosta huolimatta. Tämä tulos on hyvin verrattavissa viime kappaleessa mainittuun Tanskan kaukolämpöverkon tutkimuksessa saatuun tulokseen. 15 % lämpöhäviöstä koostuvat tuotantokustannukset ovat jo merkittävät vuositasolla, joten siirtyminen matalalämpöisempään kaukolämpöverkkoon olisi suositeltavaa taloudellisuuden, ympäristöystävällisyyden sekä energiatehokkuuden kannalta katsottuna.

#### 4.7 Pohdinta

Kaukolämpöverkon lämpötilan laskemiseen jo aikaisemminkin mainittu virtaaman kasvu ja sen myötä pumppauksen tarpeen kasvu ja sen kustannukset ovat pois lämpöhäviöiden pienentymisen tuomista säästöistä. Lämpötilan lasku avaa mahdollisuuksia kuitenkin myös vaihtoehtoisten lämmönlähteiden hyödyntämiseen, jotka eivät nykyisessä verkossa olisi mahdollisia. Tällaisia ovat esimerkiksi teollisuuden hukkalämpöjen hyödyntäminen ja lämpöpumpuilla tuotettu energia sekä jossakin määrin jopa aurinkoenergian avulla tuotettu lämpö. Alemmat tuotantokustannukset pienempien lämpöhäviöiden takia sekä vaihtoehtoisten lämmönlähteiden tuottaman lämmön lisääminen kaukolämpöverkkoon todennäköisesti tuottavat suuremmat säästöt suhteessa pumppauskustannuksien nousuun. Pumppauksen kulujen nousua ja tuotantokustannuksien laskua sekä muiden lämmönlähteiden tuomia säästöjä olisi edullista vertailla ja tutkia lisää neljännen sukupolven kaukolämpöön siirtymistä varten.

Toinen keino kompensoida menolämpötilan alentamisesta aiheutuvaa virtaaman kasvua vastaan olisi suurempi putkikoko verkostossa, mutta koko verkoston putkikoon kasvattaminen matalalämpöverkkoa varten on erittäin kallista ja aikaa vievää ja näin ollen voisi olla pidemmän aikavälin tavoite kaukolämpöverkoille.

## 5 Yhteenveto

Tämä opinnäytetyö tehtiin Lahti Energian toimeksiannosta ja tavoitteena oli selvittää min-kälaiset vaikutukset kaukolämpöverkon menolämpötilan alentamisella nykylämpötiloista 90 °C. Työssä käytiin aluksi läpi kaukolämpöverkon toimintaperiaatteet sen nykylämpötiloilla. Kaukolämpöverkon menolämpötilan alentaminen pelkästään olettamalla, että vain meno-lämpötila laskisi, vähenisivät verkon lämpöhäviöt jo 15 % ja todellisuudessa tuo prosentti olisi todennäköisesti suurempi. Kuitenkin jo tämän tuloksen pohjalta voidaan todeta, että kaukolämpöverkon menolämpötilan pudottaminen 90 °C vähentäisi lämpöhäviöitä huomattavasti, joka taas johtaisi huomattaviin säästöihin tuotantokustannuksissa ja parantaisi energiatehokkuutta sekä samalla ympäristöystävällisyyttä. Työssä käytiin läpi myös matalalämpöisen kaukolämpöverkon tuomia mahdollisuuksia vaihtoehtoisten lämmönlähteiden hyödyntämiseksi kaukolämpöveden lämmityksessä. Näitä ovat esimerkiksi lämpöpumpuilla tuotettu lämpö ja teollisuuden hukkalämmöt, jotka eivät tarvitse priimausta ennen lämmön ajamista kaukolämpöverkkoon. Vaihtoehtoisten lämmönlähteiden lisääminen kaukolämmön lämpöenergian tuotantoon laskisi tuotantokuluja entisestään sekä parantaisi kaukolämmön ympäristöystävällisyyttä. Lisäksi käytiin läpi matalalämpöiseen verkkoon siirtymiseen liittyviä haasteita. Siirtymään liittyvistä lisäkustannuksista ja matalalämpöverkon tuomien säästöjen vertailu olisi kannattava kohde lisätutkimukselle. Yleinen oletus on kuitenkin, että matalalämpöiseen verkkoon siirtyminen olisi pitkällä matkalla kannattavampaa kuin nykyhetken tilanne, varsinkin ottaen huomioon muut neljännen sukupolven kaukolämmön tuomat mahdollisuudet.

## Lähteet

Energiateollisuus ry. Kaukolämmön käsikirja. 2006. Helsinki: Energiateollisuus ry.

Hartman, A 2022. Kaukolämmön mitoituslämpötila laskee 25 astetta – näin kaukolämpö muuttuu. Viitattu 28.10.2023 Saatavissa: <https://hogforsgst.com/fi/ajankohtaista/kaukolampo-mitoitus>

Hynynen, H 2018. Menolämpötilan alentaminen kaukolämpöverkon kehitystyössä. Viitattu 28.10.2023 Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/66bae4f0-1e0b-4ba1-a31a-f081c65d0d89/content>

HögforsGST 2023. Neljännen sukupolven kaukolämmön lyhyt oppimäärä. Viitattu 28.10.2023 Saatavissa: <https://hogforsgst.com/fi/ajankohtaista/neljannen-sukupolven-kaukolammon-lyhyt-oppimaara>

Kallunki, J 2018. KAUKOLÄMPÖVERKOSTON SANEERAUS. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu. Viitattu 28.10.2023 Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/144194/Kallunki\\_Jukka.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/144194/Kallunki_Jukka.pdf?sequence=1)

KL-Lämpö 2023. Lämmönsiirrinpalvelut. Viitattu 28.10.2023 Saatavissa: <https://www.kl-lampo.com/lomake/palveluratkaisut/teollisuuden-palvelut/lammonsiirrinpalvelut/158>

Kosonen, P 2021. Kaukolämpöjohtojen jatkoseristeiden testaus ja vertailu. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Viitattu 28.10.2023 Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/505338/Kosonen\\_Pyry.pdf?sequence=5](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/505338/Kosonen_Pyry.pdf?sequence=5)

Motiva 2022. Kaukolämpö. Viitattu 28.10.2023 Saatavissa: [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo)

Motiva 2022. Lämpöä kotiin verkosta. Viitattu 28.10.2023 Saatavissa: [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/lampoa\\_kotiin\\_verkosta](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/lampoa_kotiin_verkosta)

Mäkelä & Tuunanen 2015. SUOMALAINEN KAUKOLÄMMITYS. Kaukolämmityksen oppikirja. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Viitattu 28.10.2023 Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf>

Pöyry Management Consulting Oy 2018. Älykäs kaupunkienergia, Raportti Energiateollisuus ry:lle. Viitattu 28.10.2023 Saatavissa: [https://energia.fi/files/2862/Alykas\\_kaupunkienergia\\_LOPPURAPORTTI\\_20180614.pdf](https://energia.fi/files/2862/Alykas_kaupunkienergia_LOPPURAPORTTI_20180614.pdf)

Pöyry, O 2022. Matalalämpö tulee – ei kai kaukolämpötaloissa palella jatkossa? Viitattu 28.10.2023 Saatavissa: <https://www.lempealampo.fi/2022/10/matalalampo-tu-lee/#69cc4341>

Siltakoski, A 2013. KAUKOLÄMMÖN PUMPPAUKSEN OHJAUKSEN TEHOSTAMINEN. Opinnäytetyö. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Viitattu 28.10.2023 Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/56001/Siltakoski\\_Ari.pdf;jsessionid=D604177B42504C6962A4CEC1B3FC61FB?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/56001/Siltakoski_Ari.pdf;jsessionid=D604177B42504C6962A4CEC1B3FC61FB?sequence=1)

Sirola, V-P & Tiitinen, M 2018. Tekniset toimintaohjeet verkkoon liittamisestä, Hukkalämpöjen hyödyntäminen kaukolämpöjärjestelmässä. Viitattu 28.10.2023 Saatavissa: [https://energia.fi/files/3127/Hukkalammot\\_kaukolampoverkkoon\\_tekniset\\_ohjeet\\_20181016.pdf](https://energia.fi/files/3127/Hukkalammot_kaukolampoverkkoon_tekniset_ohjeet_20181016.pdf)

Sorknæs, P. 2022. The benefits of 4th generation district heating and energy efficient data-centers. Viitattu 28.10.2023 Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544222021053?via%3Dihub>

Vento, M. 2021. Kaukolämpö nyhjää tyhjästä lämpöpumpuilla - Ulkoilma lämmittää. Viitattu 28.10.2023 Saatavissa: <https://kuntatekniikka.fi/2021/09/26/kaukolampo-nyhjaa-tyhjasta-lampopumpuilla-ulkoilma-lammittaa/>