

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SÄHKÖKATTILAN TEHON SIMU- LOINTI KAUKOLÄMPÖVERKOSSA

TEKIJÄ Lari Vuori

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Lari Vuori	
Työn nimi Sähkökattilan tehon simulointi kaukolämpöverkossa	
Päiväys 9.4.2024	Sivumäärä/Liitteet 27/1
Toimeksiantaja Hyvinkään Lämpövoima Oy	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön lähtökohtana oli Hyvinkään Lämpövoima Oy:n tarve selvittää mahdollista sähkökattilainvestointia varten sähkökattilan optimaalinen koko hyödyntäen jo olemassa olevaa kaukolämmön runkolinjaa. Kattilahankinta olisi tarkoitus sijoittaa Hyvinkään Kaupungin omistamalle tontille Martinlehdon teollisuusalueella, joka on energiateollisuuskäyttöön varattu. Tontti sijaitsee Fingridin 110 kV kantaverkon läheisyydessä, johon sähkökattila olisi tarkoitus liittää. Kattilaa olisi tarkoitus käyttää, kun pörssisähkön hinta alittaa muiden lämmöntuotantomuotojen tuotantokustannukset sekä osallistua säätösähkömarkkinoille sähkökattilan kapasiteetilla.</p> <p>Sähkökattilan optimaalista kokoa alettiin selvittämään Fluidit Heat -sovelluksella, joka on termohydraulinen kaukolämpöverkon mallinnustyökalu. Kaukolämpöverkoston toimintaa simuloitiin sähkökattilan 10–30 megawatin tehoilla. Simuloitavia arvoja olivat kaukolämpöverkon ominaispainehäviö siirtojohdossa sekä lähialueiden paine-erot kuluttajilla. Kokoa määrittelee olemassa olevan kaukolämpöverkon siirtojohto, johon on tarkoitus syöttää sähkökattilan tuotanto.</p> <p>Tutkimuksen perusteella olemassa olevan kaukolämpöverkon siirtokyky tulee vastaan, mikäli sähkökattila syöttäisi yli 20 megawatin tehoa alueelta. Kaukolämpöverkon ominaispainehäviön noustessa yli 2bar/km sekä lähialueiden kuluttajien ensiöpuolen paine-erot kasvaisivat niin korkeiksi, että mahdollisia virtauksen tuottamia ääniongelmia saattaisi ilmetä. Alueelle voitaisiin sijoittaa 15–20 megawatin kaukolämpötehoa syöttävä sähkökattila ongelmitta ilman, että kaukolämpöverkkoa on tarpeen vahvistaa.</p>	
Avainsanat Kaukolämpö, sähkökattila, kaukolämpöverkko	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering	
Author(s) Lari Vuori	
Title of Thesis Simulation of the Power of an Electric boiler in a District Heating Network	
Date April 9, 2024	Pages/Appendices 28/3
Client Organisation Hyvinkään Lämpövoima Oy	
<p>Abstract</p> <p>The starting point for this thesis was Hyvinkään Lämpövoima Oy's need to find out the optimal size of the electric boiler for a possible electric boiler investment, utilizing the existing district heating main pipeline. The boiler procurement should be located on a plot owned by the City of Hyvinkää in the Martinlehto industrial area, which is reserved for energy industry use. The plot is located in the vicinity of Fingrid's 110 kV main grid, to which the electric boiler should be connected. The boiler should be used when the price of electricity on the stock exchange is lower than the production costs of other forms of heat production, and to participate in the regulated electricity market with the capacity of the electric boiler.</p> <p>The optimal size of the electric boiler was determined using the Fluidit Heat application, which is a thermo-hydraulic district heating network modeling tool. The operation of the district heating network was simulated with electric boiler outputs of 10–30 megawatts. The values to be simulated were the specific pressure loss of the district heating network in the transmission line and the pressure differences in nearby areas at consumers. The size is determined by the transmission line of the existing district heating network, to which the production of the electric boiler is to be fed.</p> <p>Based on the study, the transmission capacity of the existing district heating network will be met if the electric boiler supplies more than 20 megawatts of power from the area. If the specific pressure loss of the district heating network rises above 2bar/km, and the pressure differences on the primary side of consumers in nearby areas would grow so high that possible sound problems caused by the flow might appear. An electric boiler supplying 15–20 megawatts of district heating power could be placed in the area without any problems, without the need to strengthen the district heating network.</p>	
<p>Keywords District heating, Electric boiler, District heating network</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	HYVINKÄÄN LÄMPÖVOIMA OY.....	7
3	KAUKOLÄMPÖ SUOMESSA.....	8
3.1	Kaukolämpöjärjestelmä	8
3.2	Tuotanto	8
3.2.1	Kaukolämmön päästöt	9
4	KAUKOLÄMPÖVERKKO	10
4.1	Kaukolämpöverkko.....	10
4.2	Kaukolämpöelementit.....	10
4.2.1	Yksiputkijohto 2 Mpuk.....	10
4.2.2	Kaksiputkijohto Mpuk.....	11
4.2.3	Muovisuojakuori johto liikkuvien teräsputkin (Mpul)	12
4.2.4	Betonielementtikanaavat EMV	12
4.3	Lämpöhäviöt kaukolämpöverkossa	13
4.4	Kaukolämpöverkon suunnittelu	13
4.4.1	Liittymisjohdot.....	14
4.4.2	Runkojohdot.....	14
4.4.3	Siirtojohdot	14
5	SÄHKÖKATTILAT KAUKOLÄMPÖJÄRJESTELMISSÄ	15
5.1	Sähkökattiloita kaukolämpöverkossa	15
5.2	Sähkökattilat kausivarastojen tukena.....	16
5.3	Sähkökattilan toimintaperiaate.....	17
6	SÄHKÖKATTILAINVESTOINTI HYVINKÄÄN LÄMPÖVOIMALLE	19
6.1	Yleistä	19
6.2	Fluidit Heat mallinnustyökalu	19
6.3	Kaukolämpöverkoston tarkastelu.....	19
6.3.1	Verkoston ominaispainehäviö 10 MW:n kattilateholla	20
6.3.2	Verkoston ominaispainehäviö 15 MW:n kattilateholla	20
6.3.3	Verkoston ominaispainehäviö 20 MW:n kattilateholla	21
6.3.4	Verkoston ominaispainehäviö 30 MW:n kattilateholla	22
6.3.5	Verkoston paine-erot 10 MW:n kattilateholla	23

6.3.6	Verkoston paine-erot 15 MW:n kattilateholla	23
6.3.7	Verkoston paine-erot 20 MW:n kattilateholla	24
6.3.8	Verkoston Paine-erot 30 MW:n kattilateholla	25
6.4	Kustannukset.....	25
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	26
	LÄHTEET	27
	LIITE 1	28

1 JOHDANTO

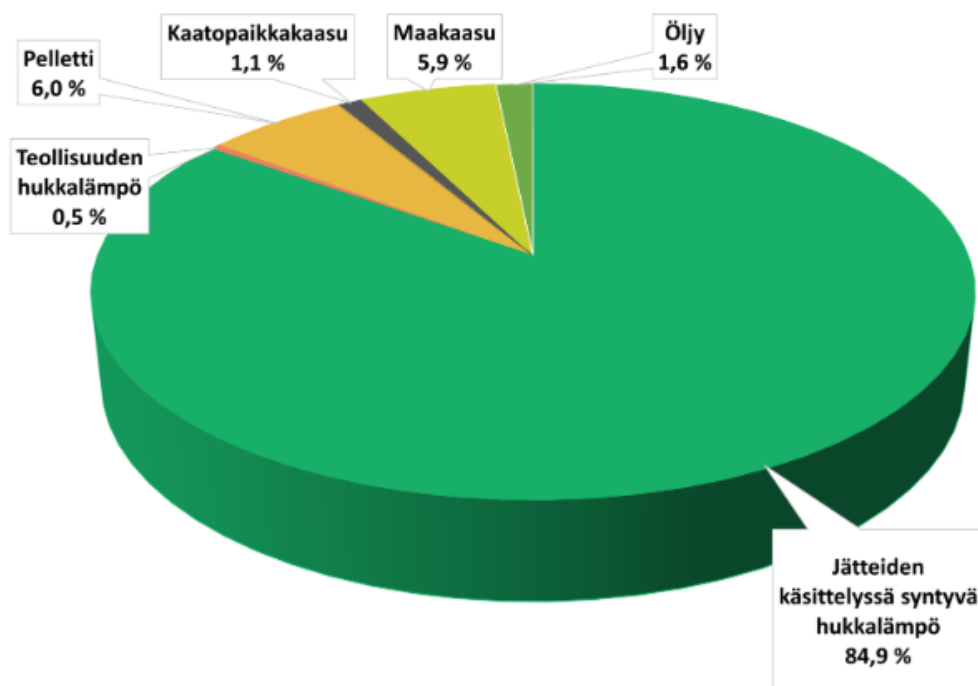
Opinnäytetyö tehdään Hyvinkään Lämpövoima Oy:lle, joka pyysi selvityksen sähkökattilan optimaalisen tehon määrittämiseksi. Sähkökattilaa varten Hyvinkään Kaupungilla on varattuna energiateollisuuskäyttöön soveltuva teollisuustontti, joka sijaitsee Fingridin 110 Kilovoltin kantaverkon välittömässä läheisyydessä Martinlehdon teollisuusalueella. Sähkökattilaa olisi tarkoitus operoida, kun pörsisähkön hinta alittaa käytössä olevien tuotantomuotojen kustannukset ja näin saada kustannussäästöjä lämmöntuotannossa. Vihreän sähköntuotannon lisääntyessä sähkökattiloista on tullut houkutteleva tuotantomuoto kaukolämpöön. Tulevaisuudessa sähkömarkkinoiden ylitarjontaa on helppo tasapainottaa sähkökattiloilla, jotka ovat kytketty kaukolämpöverkkoon. Sähkökattila myös mahdollistaa osallistumisen Fingridin säätösähkömarkkinoille, joissa sähkökäyttäjälle maksetaan korvausta tuotannon käyttämisestä tai kulutuksen vähentämisestä.

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä tarkastelua Fluidit Heat -sovelluksella ja selvittää sähkökattilan optimaalinen teholuokka. Tarkastelua suoritetaan nykyisellä tuotantorakenteella lisättynä verkkoon simuloitava sähkökattila. Simuloitu teho pitäisi pystyä syöttämään ja jakamaan alueen läheisyydessä kulkevaan kaukolämmön runkolinjaan, joka puolestaan jakaa lämpöä ympäri Hyvinkään kaukolämpöverkkoa sekä mahdollisesti myös auttaa tulevaisuudessa valmistuvan lämpövaraston lataamista.

2 HYVINKÄÄN LÄMPÖVOIMA OY

Hyvinkään Lämpövoima Oy on pohjoisella Uudellamaalla toimiva kaukolämpöä, energiapalveluita ja maakaasua toimittava energiayhtiö, joka on perustettu vuonna 1974. Yhtiö on täysin Hyvinkään kaupungin omistama, ja sillä on oma hallitus. Kaukolämpöasiakkaita yhtiöllä oli 1 993 vuoden 2023 lopussa. Työntekijöiden määrä oli puolestaan 25. Liikevaihto oli 29,3 miljoonaa euroa vuonna 2023. Hyvinkään asukkaista noin 75 % on kaukolämmön piirissä. (Hyvinkään Lämpövoima 2023.)

Kaukolämmön myyntimäärä oli vuonna 2023 324 GWh. Suurin osa kaukolämmöstä ostetaan Fortumin Riihimäen jätteenpolttolaitokselta, josta se toimitetaan kaukolämmön siirtojohtoa myöden Hyvinkäälle. Bio- ja hukkalämpöjen osuus energianhankinnasta oli yhteensä 92,5 % (kuva 1). Maakaasun myyntivolyymi oli 9,2 GWh vuonna 2022. (Hyvinkään Lämpövoima 2023.)



KUVA 1. Hyvinkään Lämpövoiman lämmönlähteiden osuudet (Hyvinkään Lämpövoima 2023)

3 KAUKOLÄMPÖ SUOMESSA

3.1 Kaukolämpöjärjestelmä

Kaukolämpöjärjestelmä koostuu kaukolämpöverkosta, joka käsittää meno- ja paluuputken. Menoputkeen syötetään voima- tai lämpölaitoksissa lämmitettyä vihreäksi värjättyä vettä (kuva 2). Kaukolämmön menolämpötila vaihtelee talvena tarvittavan 115 Celsiusasteen ja kesän 70 Celsiusasteen välillä. Lämmitetty vesi kiertää kiinteistön lämmönjakolaitteiden lämmönvaihtimissa ensiöpuolella, jossa se lämmittää kiinteistöön tarvittavan lämmitysverkoston veden sekä lämpimän käyttöveden. Tämän jälkeen kaukolämpövesi palaa kaukolämmön paluuputkeen ja sieltä voimalaitokseen 40–50 Celsiusasteisena. (Koskelainen ym. 2006.)

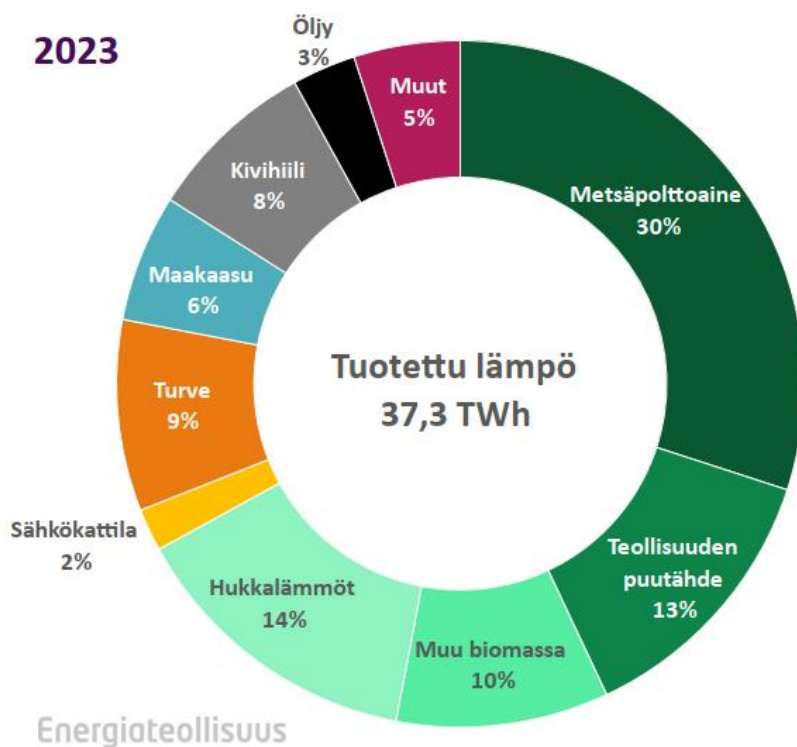


KUVA 2. Kaukolämpövesi on väriaineella värjätty vihreäksi. (Vuori 2022)

3.2 Tuotanto

Kaukolämmön tuotantoportfolio on muuttunut ajansaatossa fossiilisista polttoaineista yhä enemmän uusiutuviin lämmönlähteisiin. Biomassa ja hukkalämmöt ovat korvanneet huomattavan osan fossiilisesta kaukolämmön tuotannosta viimeisen viidenkymmenen vuoden aikana. Fossiilisia tuotantomuotoja ovat esimerkiksi öljy, maakaasu, kivihiili sekä turve. Biomassan käyttö on kaksinkertaistunut vuodesta 2010 vuoteen 2022 mennessä. Kaukolämpöä käyttävien kaupunkien lämmöstä noin 75 prosenttia tulee uusiutuvista polttoaineista tai hukkalämmöistä (kuva 3).

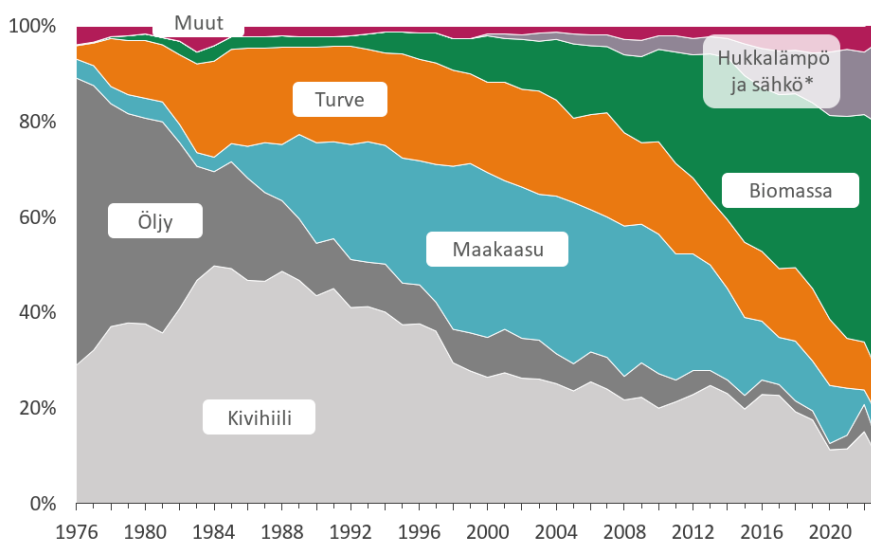
Kaukolämmön tuotanto on vuosittain noin 35–40 TWh. Kansallinen kaukolämmön kulutushuippu Suomessa oli 12 250 MW 15.1.2023 klo 9–10 mitatun tunnin keskiarvo. (Energiateollisuus, 2022;2023.)



KUVA 3. Kaukolämmön hankinnan energialähteet 2023 (Energiateollisuus 2023)

3.2.1 Kaukolämmön päästöt

Kaukolämmön päästöt ovat laskeneet tasaisesti 80-luvun puolivälin jälkeen. Ominaishiilidioksidipäästöt ovat olleet 80-luvulla lähes 300 gCO₂/kWh, kun vuoden 2023 kaukolämmön kansallinen ominaispäästökeskiarvo oli 83 gCO₂/kWh. Päästöjen alenemisen suurin yksittäinen syy on fossiilisten polttoaineiden käytön väheneminen lämmön tuotannossa (kuva 4). (Energiateollisuus 2023.)



KUVA 4. Kaukolämmön tuotantomuotojen prosentuaalinen osuus Suomessa 1976–2023 (Energiateollisuus 2023)

4 KAUKOLÄMPÖVERKKO

4.1 Kaukolämpöverkko

Suomessa on yli 200 erillistä kaukolämpöverkkoa ja niiden yhteispituus on noin 16 200 kilometriä. Verkkojen pituus kasvaa vuosittain noin 250–500 kilometriä, kun uusia kulutuskohteita lisätään verkostoihin tai rakennetaan uusia siirtojohtoja. Vanhoja kaukolämpöjohtoja saneerataan noin 50–70 kilometriä vuosittain, sillä noin puolet verkoista ovat rakennettu viimeisen 25 vuoden aikana, eikä suurta korjausvelkaa ole ehtinyt kasaantua verkonomistajilla. Suomen vanhimmat kaukolämpöverkot ovatkin vasta noin 50–60 vuotta vanhoja. (Energiateollisuus 2024; Koskelainen ym. 2006.)

4.2 Kaukolämpöelementit

Uudet asennettavat kaukolämpöelementit ovat kiinnivaahdotettuja, joissa polyuretaani on vaahdotettu teräsputken ja muovisuojuakuoren väliin. Kaukolämpöelementtien mitoitus perustuu 16 bar:n suunnittelupaineeseen 120 °C (celsiusasteen lämpötilassa. Elementtien käyttöiän tulee olla jatkuvassa 120 °C (celsiusasteen) käyttölämpötilassa minimissään 30 vuotta. Puolestaan 115 °C (celsiusasteen) jatkuvassa käytössä 50 vuotta ja alle 115 °C (celsiusasteen) käyttölämpötilassa yli 50 vuotta. Uusien kaukolämpöjohtojen käyttöikä tulee olemaan lähemmäs 100 vuotta. (Energiateollisuus 2024; Koskelainen ym. 2006, Logstor 2022.)

Elementeistä käytetään seuraavia nimilyhenteitä esimerkiksi teknisissä piirustuksissa ja suunnitelmissa. Iso M-kirjain tarkoittaa elementin polyeteenistä muovista tehtyä suojuakuorta. Polyuretaanieristeestä käytetään puolestaan lyhennettä pu. Kokoelementtikananavan lyhenne on E-kirjain. Kokoelementtikananavassa käytettävä mineraalivillaeriste tunnetaan lyhenteestä mv. Pieni I-kirjain tarkoittaa liikkuvaa putkea kaukolämpöelementin sisällä. Kiinnivaahdotetuissa kaukolämpöelementeissä käytettävä pieni k-kirjain ilmaisee putkien olevan kiinni eristyksessä, eli tavanomaisimmin polyuretaanissa. (Koskelainen ym. 2006.)

4.2.1 Yksiputkijohto 2 Mpuk

2 Mpuk yksiputkijohtorakenteessa ovat erilliset meno- ja paluuputket (kuva 5). 2 Mpuk elementtejä valmistetaan kokoluokassa DN 20 aina DN 1200 asti. Putken rakenteessa polyeteenisuojuakuori on liitetty teräsputkeen polyuretaanivaahdolla. Kaukolämpölinjat DN 200 koosta ylöspäin rakennetaan 2 Mpuk-elementeillä. (Koskelainen ym. 2006, Logstor 2022.)



KUVA 5. DN 200 2 Mpuk Kaukolämpöelementti (Vuori 2023)

4.2.2 Kaksiputkijohto Mpuk

Kaksiputkijohdossa sekä meno- ja paluuputket ovat molemmat saman polyeteenisuojakuoren sisällä (kuva 6). Menoputki liitetään elementin alempaan putkeen lämpöhäviöiden säästämiseksi. Materiaalitarve on myös jatkoksissa puolet pienempi Mpuk-elementissä kuin 2 Mpuk-elementin rakentamisessa. Kaksiputkijohtoa valmistetaan kokoluokissa DN 20 aina DN 200 asti. (Koskelainen ym. 2006, Logstor 2022.)



KUVA 6. MPUK Kaukolämpöelementtejä (Vuori 2023)

4.2.3 Muovisuojakuori johto liikkuvin teräsputkin (Mpul)

Mpul-johtotyyppi koostuu polyeteenisuojakuoresta, joka on polyuretaanilla eristetty teräsputkien lasikuituisiin suojaputkiin (kuva 7). Suojaputkien ansiosta teräsputket pääsevät vapaasti ottamaan lämpöliikkeet vastaan tuulettuvassa suojaputkessa. Elementin pohjaosassa on myös erillinen vuoto-vesiputki, josta mahdollisten vuotovesien on tarkoitus valua lähimpään kaukolämpökaivoon. Mpul-elementtejä on rakennettu 1960-luvun puolesta välistä alkaen noin parin kymmenen vuoden ajan. (Koskelainen ym. 2006)



KUVA 7. Mpul kaukolämpöelementti (Vuori 2023)

4.2.4 Betonielementtikanaavat EMV

Betonielementtikanaavien rakentaminen on lopetettu 1990-luvun alun jälkeen. Rakenne koostuu betonielementtikaukaloista, joiden sisällä teräsputket ovat kannakkeiden päälle (kuva 8). Teräsputket ovat eristetty joko mineraalivillalla tai polyuretaanikouruilla. Betonielementtikanaavien lämpöhäviöt ovat merkittäviä verrattuna kiinnivaahdotettuun kaukolämpöelementtiin, jonka vuoksi niitä säännöllisesti saneerataan kaukolämpöverkoissa. (Koskelainen ym. 2006)



KUVA 8. DN 150 EMV, Betonielementtikanava (Vuori 2022)

4.3 Lämpöhäviöt kaukolämpöverkossa

Kaukolämpöverkon jakelukustannuksista lämpöhäviöt muodostavat suurimman osan. Tämän ilmiön yleisimpiä aiheuttajia ovat: Putkikokojen ylityminen, joka johtaa verkon huonoon käyttöasteeseen, putkiston matala peitesyvyys, joka altistaa putket suuremmille lämpöhäviöille ulkolämpötilojen muuttuessa, eristystyön heikko laatu, jolla tarkoitetaan esimerkiksi putkien jatkosten olevan vain puoliltaan eristettyä, verkon liian korkea käyttölämpötila, putkiston liian ohut lämpöeristys tai eristeaineen vanhentuminen, joka vähentää eristyksen tehokkuutta, kaivojen huono lämmöneristys, joka mahdollistaa lämpöhäviöiden esiintymisen, suuri maaperän lämmönjohtavuus, joka lisää lämpöhäviöitä verkon läpi.

(Koskelainen ym. 2006)

Lämpöhäviöiden osuus siirrettävästä energiasta kaukolämpöverkoissa on keskimäärin 8–9 prosentin luokkaa. Suurissa kaukolämpöverkoissa päästää ainoastaan 5–8 prosentin lämpöhäviöihin, kun puolestaan pienien alueverkkoissa lämpöhäviöiden osuus voi olla peräti 10–20 prosenttia. Pienten alueverkkojen suuret lämpöhäviöt johtuvat putkistojen vaippapinta-alasta, joka on suurempi suhteessa johtojen siirtokykyyn.

(Energiamailma 2024; Koskelainen ym. 2006)

4.4 Kaukolämpöverkon suunnittelu

Verkoston mitoituksessa ja yleissuunnittelussa lähtökohdat muodostuvat liitettävistä alueista, näiden olemassa olevien sekä tulevaisuudessa rakennettavien kiinteistöjen tehontarpeesta. Lähtökohtaisesti verkostot rakennetaan 10–15 vuoden aikajänteellä. Verkoston tehonsiirtokapasiteettia voi myöhemmin nostaa esimerkiksi rakentamalla välipumppaamo tai uusi syöttöyhteys. Kaukolämpöverkko mitoi-

tetaan siten, että verkoston kaukaisimmallakin asiakkaalla on käytettävissä 60 kPa paine-ero mitoitusslämpötilassa. Verkoston mitoituksen määrittää järjestelmässä kierrätettävä vesivirta, joka riippuu verkoston kautta siirrettävästä lämpötehosta. Rakennusten lämmönjakolaitteiden optimaalinen toiminta suurentaa verkoston jäähtymää (ΔT) jonka ansiosta verkoston putkidimensiot saadaan mitoitettua mahdollisimman pieneksi ja samalla myös lämpölaitoksen pumppauskustannukset pienenevät.

(Koskelainen ym. 2006; Mäkelä, Tuunainen. 2015)

4.4.1 Liittymisjohdot

Liittymisjohdot mitoitetaan rakennusten mitoitusslämpötilojen vaatimien huipputehojen mukaisesti, jolloin kiinteistön jäähtymän ΔT tulisi olla mahdollisimman suuri, putkidimension ja virtauksen minimoimiseksi. Mitoituspainehäviö liittymisjohdoissa on yleensä 2 bar/km, verkoston latvaosilla 1 bar/km. Painehäviö on pidettävä kuitenkin kohtuullisena pumppauskustannusten optimoimiseksi. Lämpölaitoksen lähellä talojohtojen painehäviö on perinteisesti suurempi kuin verkoston latvaosilla, sillä se ei lisää pumppauksen painehäviöitä. Toisaalta kiinteistöjen lämmönjakolaitteissa saattaa ilmaantua ääniongelmaa verkoston suuren virtauksen vuoksi. (Koskelainen ym. 2006; Mäkelä, Tuunainen. 2015)

4.4.2 Runkojohdot

Runkojohdot mitoitetaan alueen kiinteistöjen yhteenlasketun huipputehon mukaisesti kertomalla samanaikaisuuskertoimella. Kertoimella otetaan huomioon huipputehontarpeen risteily kiinteistöjen lämmönkulutuksessa mitoitustilanteessa. Mitoituspainehäviö runkojohdoissa on yleensä 1 bar/km. Painehäviö pidetään kohtuullisena runkojohdoissa pumppauskustannusten optimoimiseksi. (Koskelainen ym. 2006.)

4.4.3 Siirtojohdot

Siirtojohdot lähtevät peruskuormalaitoksilta ja niiden mitoitus on yleisesti väljempi, jotta huippulaitosten ollessa pois päältä, saadaan lämpöenergia syötettyä pidemmälle kaukolämpöverkkoon. Siirtojohtojen suositeltava mitoituspainehäviö on 0,5-1bar/km maksimissaan. (Koskelainen ym. 2006.)

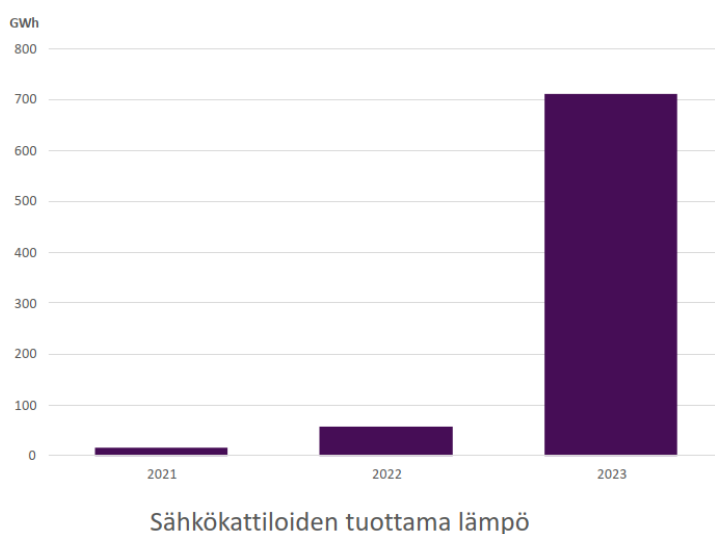
5 SÄHKÖKATTILAT KAUKOLÄMPÖJÄRJESTELMISSÄ

5.1 Sähkökattiloita kaukolämpöverkossa

Sähkökattiloiden käyttö on yleistynyt huomattavasti kaukolämmön tuotannossa vuonna 2023, jolloin kaukolämpöä tuotettiin 710 GWh sähkökattiloilla (kuva 9). Vuonna 2022 tuotantomäärä oli selvästi alle 100 GWh. Sähkökattiloita kaukolämpötuotannossaan hyödyntäviä paikkakuntia Suomessa vuonna 2023 olivat Espoo, Lappeenranta, Seinäjoki, Tampere, Vaasa sekä Turku. Tulevista sähkökattilainvestoinneista ovat päättäneet: Helsinki (280 MW), Lahti (60 MW), Turku (50 MW), Tampere (45 MW), Oulu (40 MW), Seinäjoki (40 MW), Vaasa (40 MW) ja Hyvinkää (20 MW).

(Energiategollisuus 2023; Pelli 2023; STT Info 2023.)

Sähkökattiloiden määrä kasvanut huomattavasti



KUVA 9. Sähkökattiloilla tuotettu kaukolämpö Suomessa. (Energiategollisuus 2023)

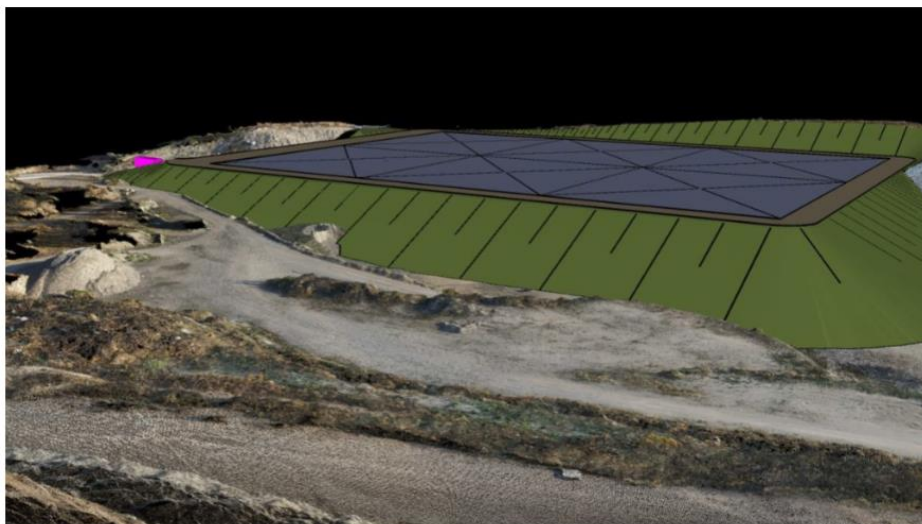
Hyvinkään Lämpövoiman jo toteutuksessa oleva 20 MW:n sähkökattilainvestointi tulee leikkaamaan fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Investoinnin valmistumisen jälkeen arvioidaan, että fossiilisten polttoaineiden osuus lämmöntuotannosta on noin kolmen prosentin luokkaa. Sähkökattilan tuotannolla voidaan korvata öljyn, maakaasun sekä pelletin käyttöä lämmöntuotannossa. Sähkökattila tuo joustavuutta Hyvinkään Lämpövoiman lämmöntuotantoportfolioon nopean ylösajokykynsä ansiosta, jossa ei toistaiseksi ole sähköä reservissä. Kattilaa on tarkoitus käyttää aina, kun uusiutuvan pörs-sisähkön hinta on kustannustehokasta kaukolämmön tuotantoon. Kattilalla tuotetun energian edullisuuden vuoksi kaukolämmön hinnan asiakkaille uskotaan pysyvän vakaana. Kattila tulee olemaan käytössä 10 MW:n teholla syksyllä 2024 ja täydellä 20 MW:n teholla vuoden 2025 kesällä. Investoinnin kokonaiskustannus on noin 5 miljoonaa euroa. Hanketta varten Caruna toimittaa sähkökattilalle vaadittavan 20 MVA:n suurjänniteliittymän Sahanmäen laitosalueelle. Kattilalla on myös tarkoitus tulevaisuudessa ladata sekä priimata, eli hienosäätää suunnitteilla olevan lämmön kausivaraston lämpöä. (Hyvinkään Lämpövoima 2023.)

5.2 Sähkökattilat kausivarastojen tukena

Lähtökohtaisesti sähkökattilat eivät ole peruskuormalaitoksia, vaan ne tukevat kaukolämmön tuotantoa, sähkön hinnan ollessa kustannustehokasta lämmöntuotantoon. Sähköllä tuotetun kaukolämmön hinta voi ajoittain olla jopa halvempaa kuin peruskuormalaitoksella tuotettu kaukolämpö. Peruskuormalaitoksen alas ajaminen tai tehojen pudottaminen voi olla lämmönhankintasopimusten vastaista, jos tuotantoa haluttaisiin korvata sähkökattilalla. Sähkökattilan tukena on yleisesti kannattavaa olla lämmön kausivarasto tai lämpöakku. Sähkökattilan koko tuotantokapasiteettia päästään hyödyntämään edullisen sähkön aikaan, kun kaukolämpöenergiaa pystytään varastoimaan, eikä kaikkea energiaa tarvitse syöttää kaukolämpöverkkoon. Kausivarastot ovat tärkeitä tulevaisuuden lämmöntuotannon investointien kannalta, sillä ne mahdollistavat kaikilla tuotantomuodoilla tuotetun kaukolämmön varastoinnin.

Kausivarastoja on rakennettu vanhoihin kallioon louhittuihin öljyvarastoihin. Vanhoja öljyluolia on muuntanut kaukolämpövarastoiksi muun muassa Helen ja Vaasan sähkö. Helsingissä Mustikkamaan kallioluolien tilavuus on 260 000 kuutiota ja niiden energiakapasiteetti on 11,5 GWh. Lataus- ja purkuteho on peräti 120 MW, jolla varaston purkaminen tai lataaminen kestää neljä vuorokautta. Vaasan Sähkön lämpöluolien tilavuus on 210 000 kuutiota ja niiden energiakapasiteetti on 7–9 GWh. Ne sijaitsevat 30 metriä maanpinnan alapuolella. (Helen 2020; Vaasan Sähkö 2019)

Hyvinkään Lämpövoimalle on myönnetty Työ- ja elinkeinoministeriön investointitukea reilut 7,7 miljoonaa euroa lämmön kausivaraston rakentamiseen (kuva 10). Lämmön kausivarasto perustuu uuteen varastointiteknologiaan, jota ei ole vielä käytetty Suomessa. Käytöstä poistetun sorakuopan pohjalle on tarkoitus rakentaa pinnoitettu allas ja sen päälle kelluva eristetty kansirakenne, jotta lämpöenergia ei pääse haihtumaan ilmaan. Kausivaraston tilavuus on 380 000 kuutiota ja sen energiakapasiteetti yhdellä latauskerralla on noin 20 GWh. Varastossa varastoitavan veden lämpötila pintakerroksissa on noin 90 °C (celsiusastetta). Varastoitava vesi on vesijohtovettä, jonka lämpöenergia johdetaan kaukolämpöverkkoon lämmönvaihtimien kautta. Varastoa on tarkoitus ladata loppukesän ja alkusyksyn aikana Hyvinkäällä ja sen lähistöllä syntyvillä teollisilla hukkalämmöillä. (Hyvinkään Lämpövoima 2023.)

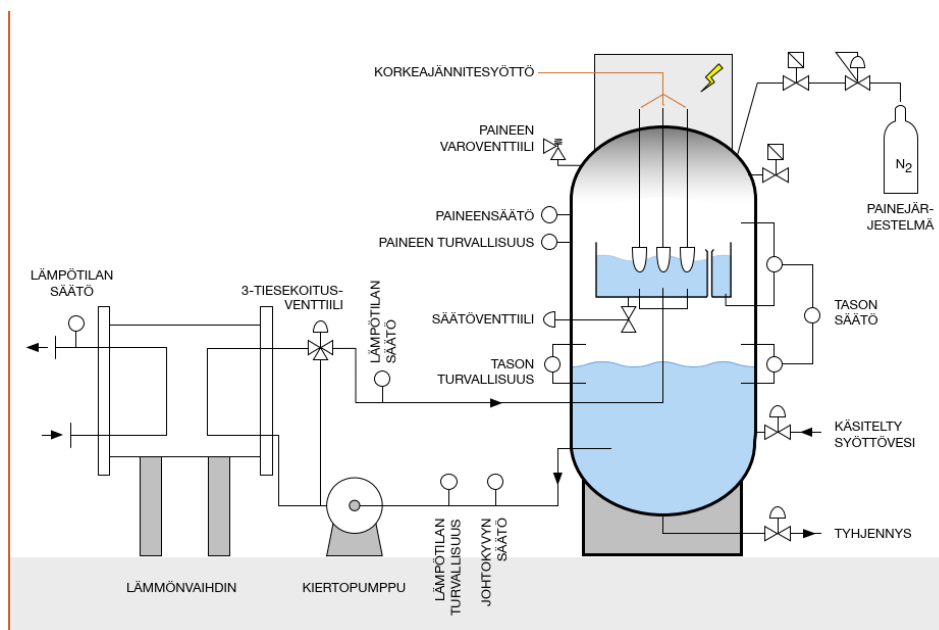


KUVA 10 Havainnekuva Hyvinkään Lämpövoiman kausivarastosta. (Hyvinkään Lämpövoima, 2023)

5.3 Sähkökattilan toimintaperiaate

Sähkökattiloiden hyödyt lämmöntuotannossa perustuvat niiden nopeaan ylösajokykyyn. Kattiloiden luvataan säätävän minitehosta maksimiteholla vain 30 sekunnin kuluessa, sekä seisovasta tilasta täyteen kuormitukseen alle viidessä minuutissa. Tämä mahdollistaa häiriöttömän ja tasaisen energian syötön verkkoon, mikäli peruskuormalaitos vikaantuisi ja sen tuotantoa olisi mahdollista paikata sähkökattilalla. Kattilat tarvitsevat myös huomattavasti vähemmän huoltoa verrattuna polttoon perustuviin lämpölaitoksiin, näin ollen huoltoseisakeista johtuvat kapasiteettivajeet ovat pieniä sähkökattiloiden lämmöntuotannossa. Sähkökattiloiden häviöt käytössä ovat minimaalisia ja täten niiden hyötysuhde on normaalisti yli 99 %. Kattiloilla on myös mahdollista osallistua sähkön säätömarkkinoille tai hyödyntää pörssisähkön halpoja tunteja, jolloin lämmöntuotanto on hyvinkin kustannustehokasta verrattuna peruskuormalaitoksiin. (Energiateollisuus 2023; Pelli 2023; STT Info 2023.)

Sähkökattilat ovat elektrodikattiloita, joissa elektrodit ovat ripustettu kattilan yläkammioon, jossa kierrätettävä kattilavesi kuumenee. Lämpöä syntyy elektrodien välillä olevassa vedessä ohmisen vastuksen vaikutuksesta. Kattila on päävirtapiirissä ainoastaan ohmisena vastuksena. Kattila-astia on paineistettu tyypellä ja se toimii suhteellisen pienen vesitilavuutensa vuoksi paisuntasäiliönä. Yläkammion veden pinnan säädöllä säädetään kattilan tehoa. Mikäli kaukolämpöverkkoon ajettavan veden lämpötila nousee yli asetusarvon, säätää kattila automaattisesti yläkammion veden pintaa alemmaksi ja näin kattilan teho laskee (kuva 11).



KUVA 11. Parat sähkökattila toimintaperiaate (Parat, 2021)

Kattilalaitos toimitetaan vedenkäsittelylaittoisten kanssa, jolla saadaan kattilaveden sähkön johtavuus alle $2\mu\text{S}/\text{cm}$. Optimaalisen elektrodirakenteen myötä veden johtokyky pysyy vakiona, joka minimoi vedenkulutuksen kattilapiirissä. Elektrodien geometrian ansioista niiden kuluminen käytössä on saatu minimoitua. Sähkökattila vaatii toimiakseen 20 kilovoltin sähköliittymän, josta johdetaan korkeajännitesyöttö kattilan päällä oleviin kolmeen elektrodiin (kuva 12).



KUVA 12 Parat sähkökattila (Parat, 2021)

6 SÄHKÖKATTILAINVESTOINTI HYVINKÄÄN LÄMPÖVOIMALLE

6.1 Yleistä

6.2 Fluidit Heat mallinnustyökalu

Fluidit Heat -mallinnustyökalu on hydraulinen offline-malli, joka simuloi kaukolämpöverkkoa ja sen käyttäytymistä erilaisissa verkon ajotilanteissa. Simulointityökalu analysoi laitosten toteutuneita vaurioita, lämpötiloja, paine-eroja sekä asiakkaiden kaukolämpömittareista kerättyä mittausdataa. Tällä datalla se muodostaa täydellisen mallin kaukolämpöverkosta ja sen avulla voi tarkastella kaikkia putkiosuuksia ja niiden virtausten, lämpötilojen, paine-erojen muutoksia, kun ulkolämpötila vaihtuu ja energiantarve lisääntyy. Mallinnustyökalu on erinomainen työkalu kaukolämpöverkkojen suunnittelussa, varsinkin jos kyseessä on rengasverkko, jossa monesta suunnasta syötetään energiaa verkostoon.

6.3 Kaukolämpöverkoston tarkastelu

Kaukolämmön päätuotantolaitos sijaitsee pohjoisosassa Hyvinkäätä, Sahanmäen teollisuusalueella. Sieltä kaukolämpöverkon ajoa ohjataan määrävällä paine-eroasetuksella sekä verkoston paineenpitoa hoidetaan normaalitilanteessa Sahanmäestä. Suurin osa lämmöstä tulee Fortumin Riihimäen jätepolttolaitokselta, jonka lämpö johdetaan lämmönvaihtimien kautta verkostoon. Huippu- ja varatuotantolaitokset puolestaan ajavat verkkoon halutulla tehoasetuksella. Tehotarkastelua suoritettiin 10–30 MW tehoilla, sillä alueella sijaitsevan DN 250 runkojohdon tehonsiirtokapasiteetti on rajoittava tekijä suuremmalle kattilalle. Sekä nykyiseen tuotantoportfolioon on jo tulossa 20 MW sähkökattila, joka mahdollisesti pystyy korvaamaan kolmasosan nollakelin tuotannosta.

Tarkastelua lähdettiin suorittamaan nollakelin ajotilanteella, jossa Sahanmäki ohjaa halutulla ja tarvittavalla paine-eroasetuksella verkostoa. Nollakelin tilanteessa ulkoilman lämpötila vaihtelee -0,8...1,0 °C välillä. Nollakelin kaukolämmön kulutus on keskimäärin 60 MW Hyvinkäällä. Simulointiin lisättiin Martinlehdon teollisuusalueelle tuotantolaitos ja laitokselta olemassa olevaan verkostoon DN 250 siirtojohto, pituudeltaan noin 500 metriä. Kun simulointiin lisätään tuotantolaitoksen tuottamaan tehoa verkon varrelta, pudottaa se virtausta ja tehoa päätuotantolaitokselta, mutta pitää paine-eroasetuksen päällä.

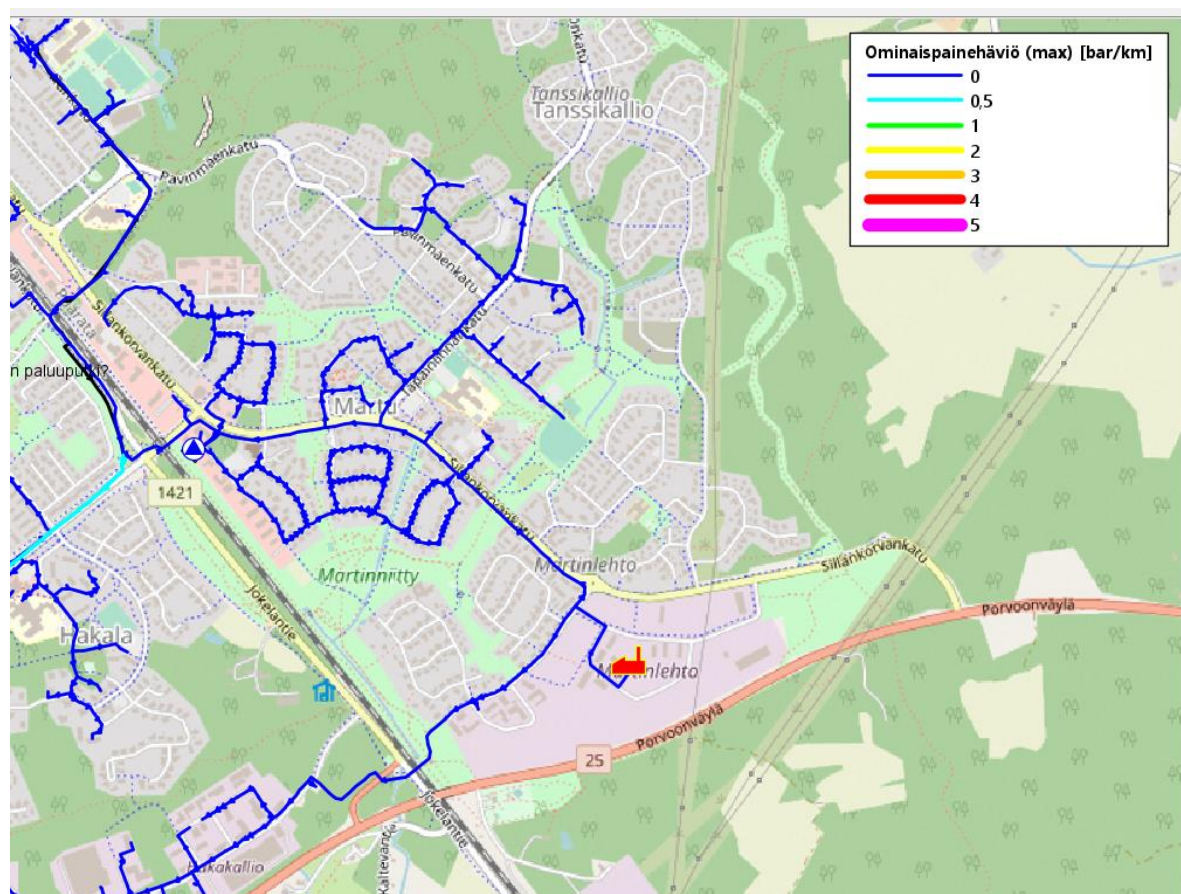
Verkostomallin simuloinnissa tarkasteltiin kaukolämpöverkon ominaispainehäviöitä 10, 15, 20 ja 30 megawatin sähkökattilatehoilla. Siirtojohdoilla on suositeltu maksimissaan 0,5–1 bar ominaispainehäviötä bar/kilometri. Toisena tarkastelukohteena olivat verkoston paine-erot. Kaukolämmön yleisten sopimusehtojen mukaisesti jokaiselle asiakkaalle on järjestettävä vähintään 0,6 bar paine-ero kaukolämmön ensiöpuolelle. Puolestaan liian suureksi kasvavat paine-erot voivat aiheuttaa ääni-ongelmia asiakkaiden lämmönjakolaitteissa, sekä turhan suuret paine-erot tarkoittavat suuria pumpauskustannuksia lämmön toimittamiseksi.

Simulointia verkoston ominaispainehäviöstä suoritettiin, koska haluttiin selvittää verkoston tehonsiirtokapasiteetti. Fluidit Heat indikoi verkosto-osuuksille värisymboleilla eri ominaispainehäviöitä. Tarkasteluasteikko on 0–5 bar/km. Simuloinnissa tarkasteltiin myös verkoston paine-eroja, koska halut-

tiin selvittää verkoston optimaalisia paine-eroa sähkökattilan tehonsyöttötilanteissa. Fluidit Heat indikoi verkosto-osuuksille värisymboleilla eri paine-eroille. Tarkasteluasteikko on 0–9 bar, asiakkaan kaukolämmön ensiöpuolella.

6.3.1 Verkoston ominaispainehäviö 10 MW:n kattilateholla

Tarkastelussa, kun syötetään 10 megawatin tehoa sähkökattilalla Martinlehdosta verkostoon, sen ominaispainehäviöt eivät muutu merkittävästi vaan ovat simuloinnin mukaisesti maksimissaan 0 bar/km, joka on normaali ja jää ominaispainehäviösuositusten alapuolelle. (Koskelainen ym. 2006.) Tämän perusteella verkoston värisymboli pysyy tumman sinisenä, joka indikoi ominaispainehäviön olevan 0 bar/kilometriltä. Kaukolämmön siirtojohto ei tässä tapauksessa rajoita tehon siirtymistä asiakkaiden kulutuspaikkoihin. Simuloinnin mukaisesti koko lähialueen kaukolämpöverkossa vallitseva ominaispainehäviö on 0 bar/km, lukuun ottamatta Eteläisen kehäkadun epäsymmetristä putki-osuutta, jossa ominaispainehäviö on nollakelissä 0,5bar/km ja tämä osuus on väriltään vaalean sininen (kuva 13).



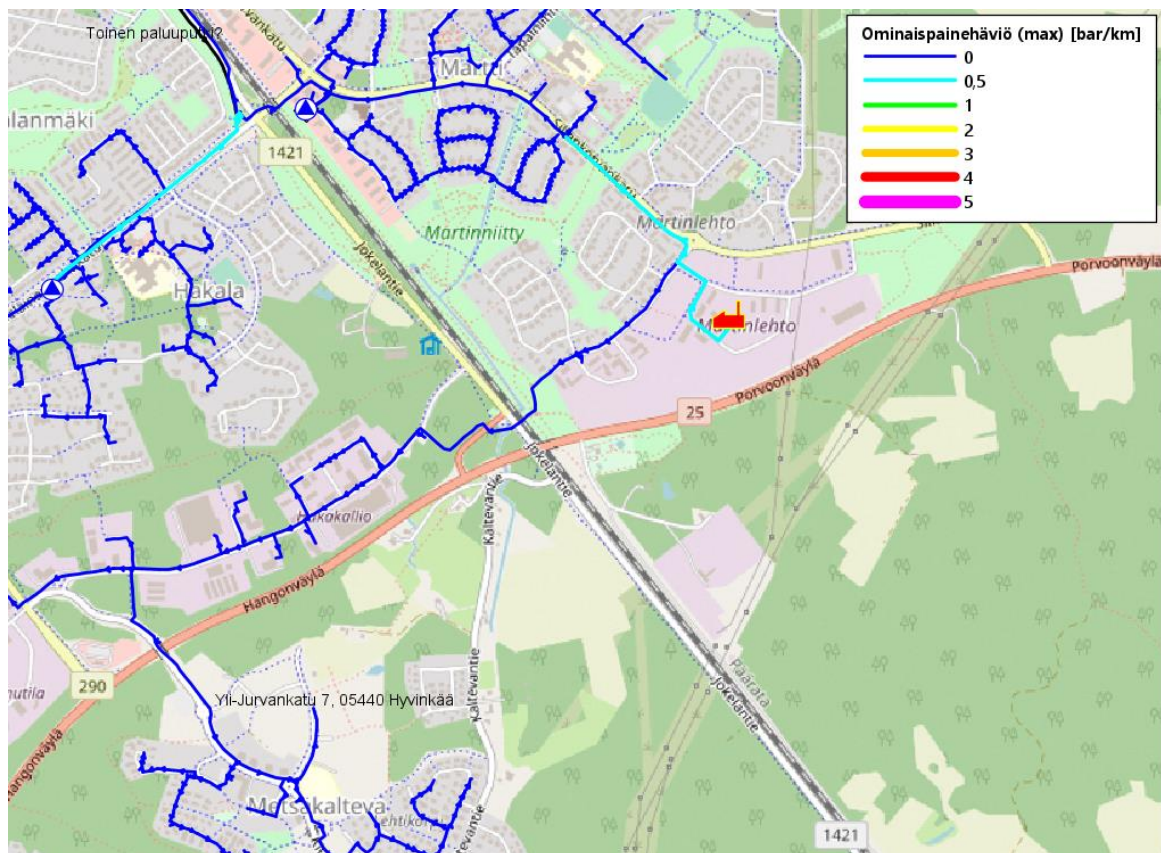
uidit

KUVA 13. Kaukolämpöverkon ominaispainehäviö sähkökattilan 10 MW teholla. (Fluidit Heat, 2024)

6.3.2 Verkoston ominaispainehäviö 15 MW:n kattilateholla

Tarkastelussa, kun syötetään 15 megawatin tehoa sähkökattilalla Martinlehdosta verkostoon, sen ominaispainehäviöt kasvavat 0,5 bar/km kaukolämmön siirtolinjassa, joka johtaa kohti Hyvinkään keskustaa (kuva 14). Ominaispainehäviö on ohjeistuksen mukaisissa rajoissa, ja ei vaikuta tehon siirtymistä asiakkaiden kulutuspaikkoihin. (Koskelainen ym. 2006) Tällä osuudella verkoston väri

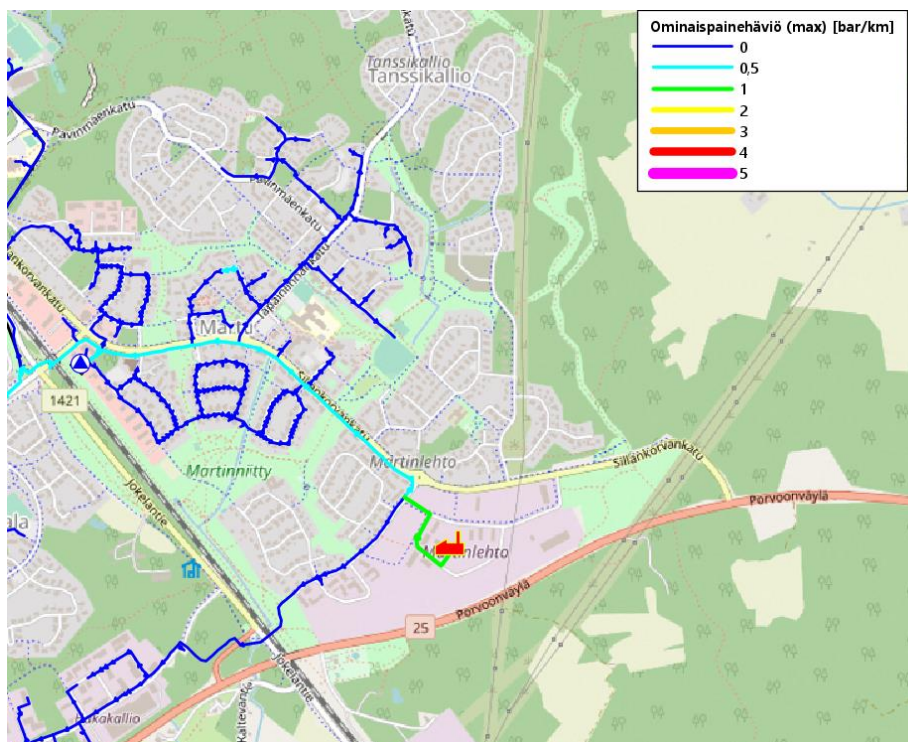
muuttuu vaalean siniseksi, ominaispainehäviön ollessa maksimissaan 0,5 bar/km. Muutoin tarkastelualueella ominaispainehäviöt ovat tumman sinisen värityksen mukaisesti nollan luokkaa, lukuun ottamatta Eteläisen kehäkadun epäsymmetristä putkiosuutta, jossa ominaispainehäviö on nolllakelissä 0,5bar/km ja tämä osuus on väriltään vaalean sininen.



KUVA 14. Kaukolämpöverkon ominaispainehäviö sähkökattilan 15 MW teholla. (Fluidit Heat, 2024)

6.3.3 Verkoston ominaispainehäviö 20 MW:n kattilateholla

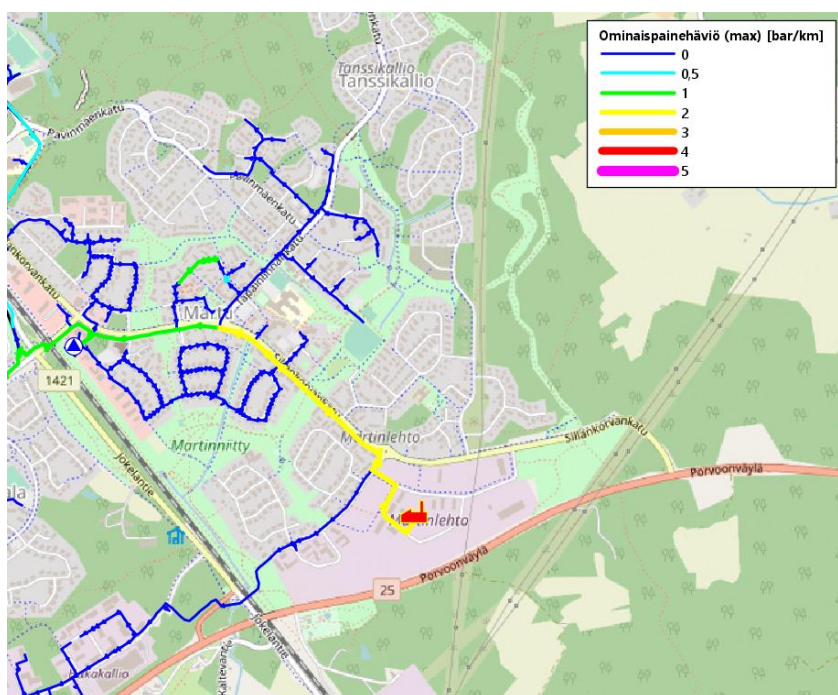
Tarkastelussa, kun syötetään 20 megawatin tehoa sähkökattilalla Martinlehdosta verkostoon, sen ominaispainehäviöt kasvavat 1 bar/km kaukolämmön siirtolinjassa, joka jakaa lämpöä keskustaan sekä eteläisestä Hyvinkäätä menevään siirtojohtoon. Tämä putkiosuus on väriltään kirkkaan vihreä (kuva 15). Vallitsevan siirtojohtoon siirtokapasiteetille on löydetty maksiminsa, suosituksen ollessa 0,5-1bar/km. (Koskelainen ym. 2006) Myös keskustaan päin menevän siirtojohtoon ominaispainehäviö nousee koko matkalta radan alitukselle asti 0,5 bar/km sekä jo aikaisimmissakin simuloinneissa ollut Eteläisen kehäkadun epäsymmetrisellä putkiosuudella ominaispainehäviö on edelleenkin 0,5bar/km ja tämä osuus on väriltään vaalean sininen.



KUVA 15. Kaukolämpöverkon ominaispainehäviö sähkökattilan 20 MW teholla. (Fluidit Heat, 2024)

6.3.4 Verkoston ominaispainehäviö 30 MW:n kattilateholla

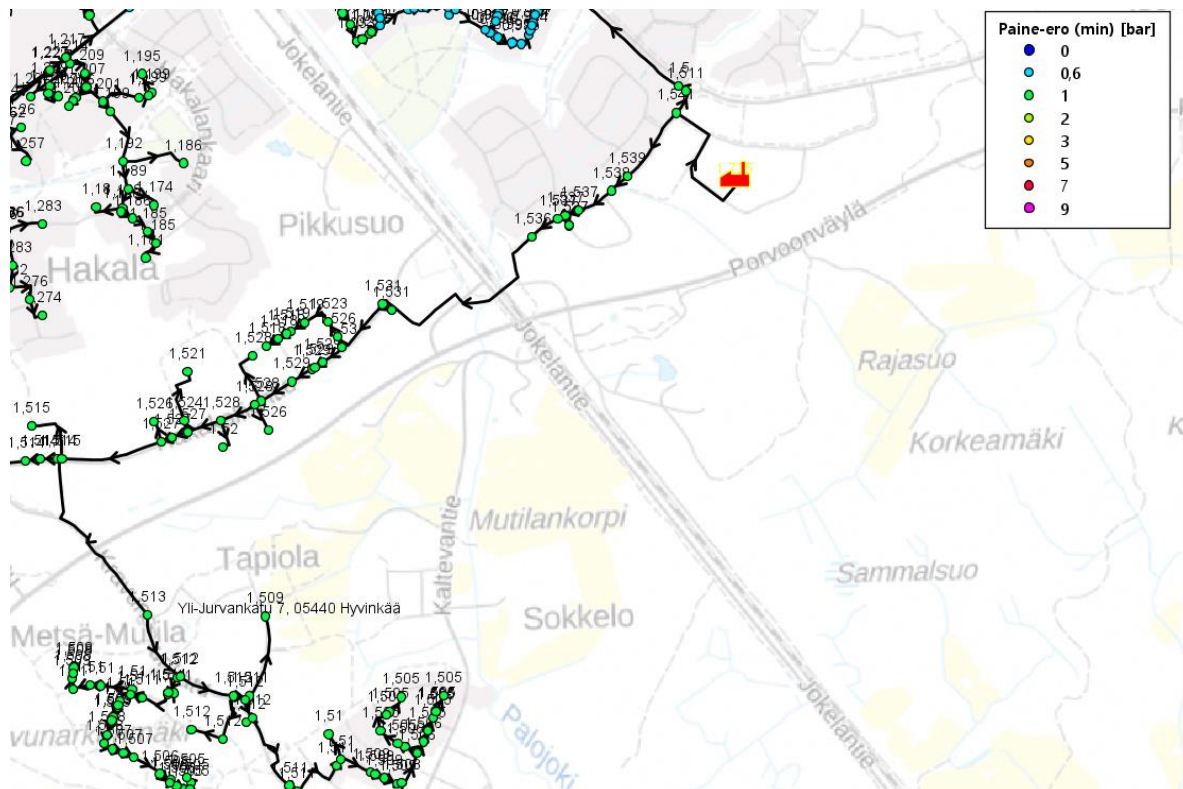
Tarkastelussa, kun syötetään 30 megawatin tehoa sähkökattilalla Martinlehdosta verkostoon, sen ominaispainehäviöt kasvavat 2 bar/km kaukolämmön siirtolinjassa. Tämä siirtolinaja jakaa lämpöä keskustaan sekä kohti eteläisestä Hyvinkäätä menevään siirtojohtoon. Tämä osuus on simulointikuvassa keltaisella osoitettu (kuva 16). Myös keskustaan päin menevän siirtojohtoon ominaispainehäviö nousee Tapainlinnankadun risteykseen asti 2 bar/km, ja siitä Martin pumppaamonkin ohitse vielä 1 bar/km. Siirtojohtoon ominaispainehäviön noustessa yli ohjeistusarvojen, kaukolämpötehon siirtämisestä tulee kustannustehotonta suurten pumppauskustannusten vuoksi ja samalla alueen paine-erojen noustessa liian suuriksi. (Koskelainen ym. 2006.)



KUVA 16. Kaukolämpöverkon ominaispainehäviö sähkökattilan 30 MW teholla. (Fluidit Heat, 2024)

6.3.5 Verkoston paine-erot 10 MW:n kattilateholla

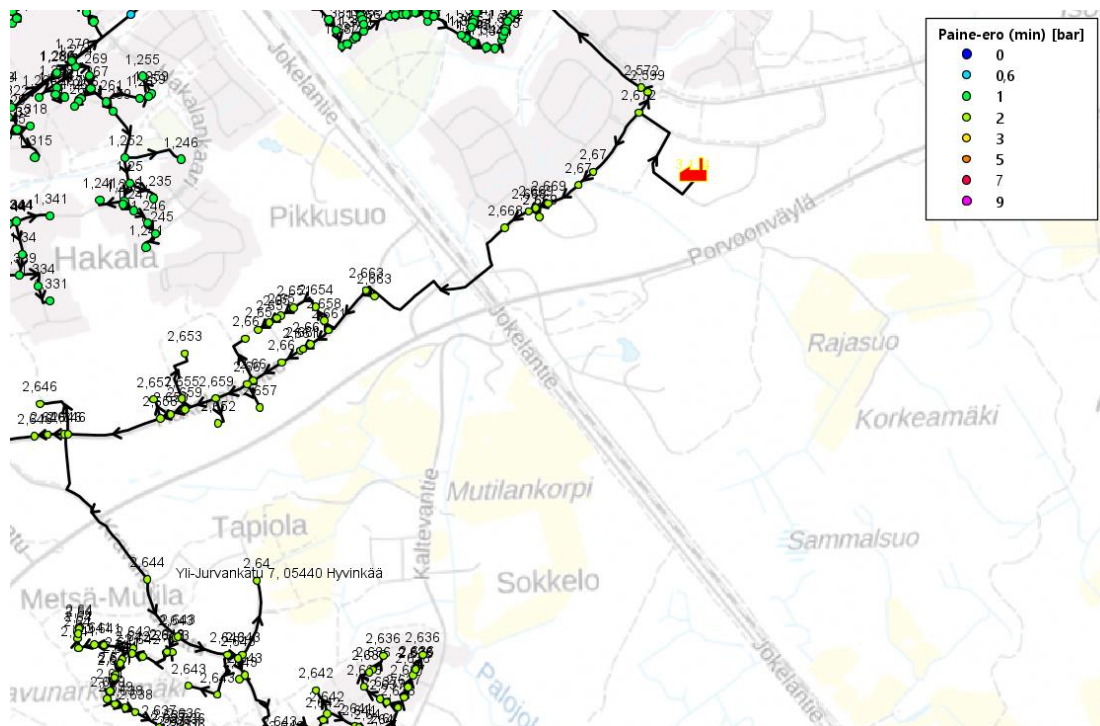
Verkoston paine-erot ovat Martinlehdon teollisuusalueen sekä eteläisen Hyvinkään Metsäkaltevan asuinalueella noin 1,5 bar keskimäärin, kun sähkökattila syöttää 10 MW tehoa verkostoon. Kulutuspaikkojen värisymbolina on kirkkaan vihreä, joka kertoo paine-eron 1,5 bar tasosta (kuva 17). Kaukolämmön yleisten sopimusehtojen mukaisesti asiakkailta on oltava käytössä 60 kPa:n (0,6bar) paine-ero kulutuspaikassaan kaukolämmön ensiöpuolella. (Mäkelä & Tuunainen 2015) Simuloinnin mukaisesti verkoston latvaosalla tämä vaatimus toteutuu sähkökattilan 10 megawatin ajotilanteella.



KUVA 17. Kaukolämpöverkon paine-erot sähkökattilan 10 MW teholla. (Fluidit Heat, 2024)

6.3.6 Verkoston paine-erot 15 MW:n kattilateholla

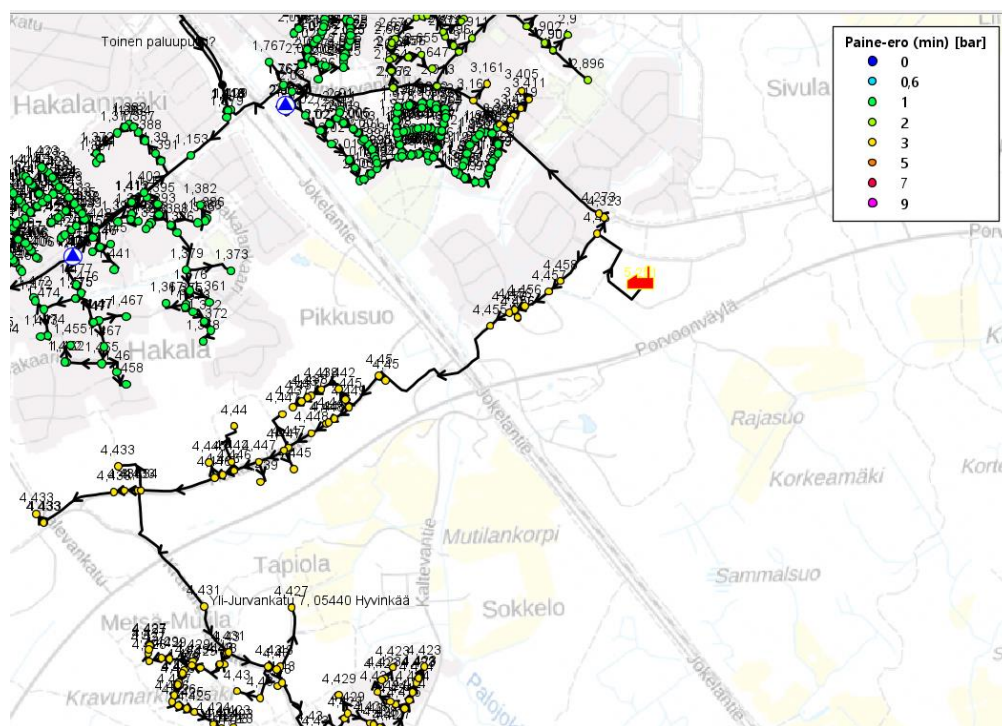
Verkoston paine-erot ovat Martinlehdon teollisuusalueen sekä eteläisen Hyvinkään Metsäkaltevan asuinalueella noin 2,5 bar paikkeilla, kun sähkökattila syöttää 15 MW tehoa verkostoon. Kulutuspaikkojen värisymbolit ovat 2,5 bar tasolla vaalean vihreitä. Lähialueiden paine-erot nousevat aina kattilalaitoksen tehon noustessa, joten asiakkaiden minimipaine-eron (60kPa) toteutumisesta ei ole ongelmaa (kuva 18).



KUVA 18. Kaukolämpöverkon paine-erot sähkökattilan 15 MW teholla. (Fluidit Heat, 2024)

6.3.7 Verkoston paine-erot 20 MW:n kattilateholla

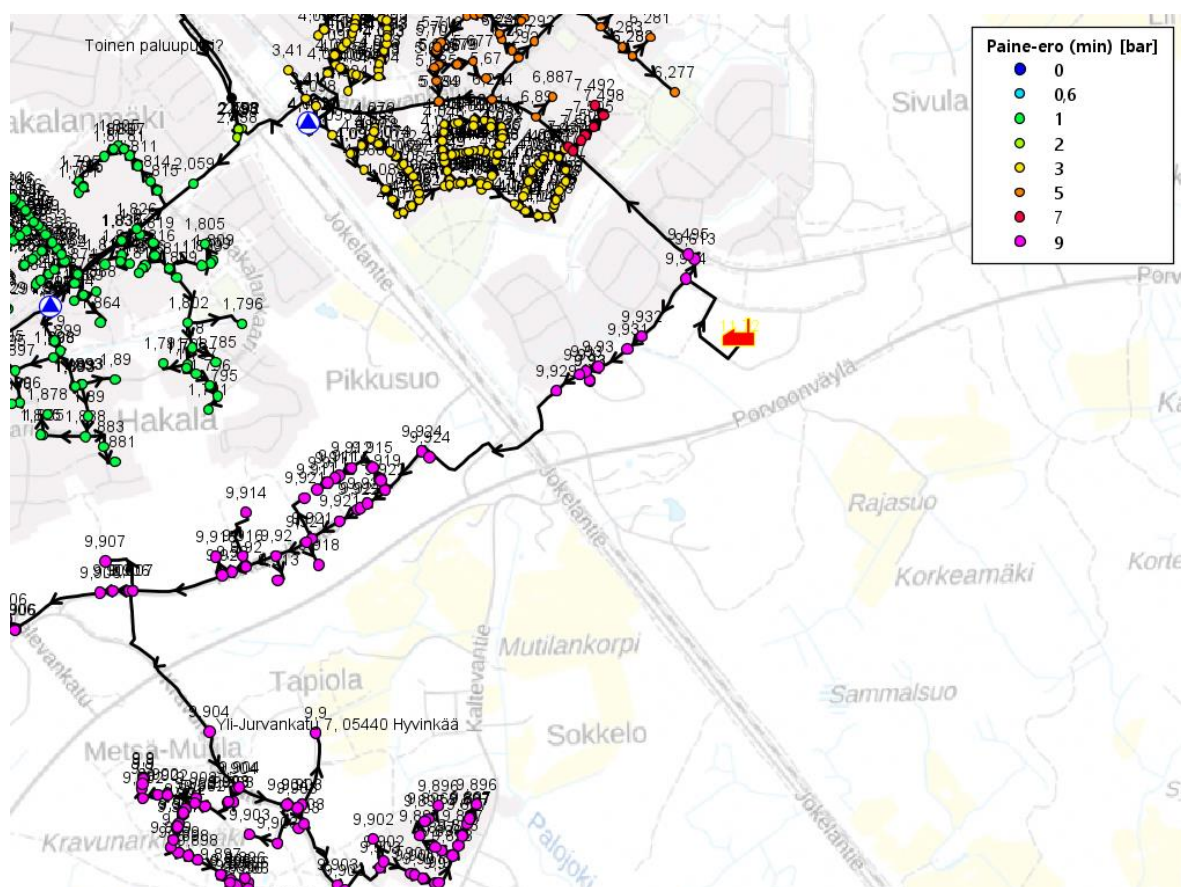
Verkoston paine-erot ovat Martinlehdon teollisuusalueen sekä eteläisen Hyvinkään Metsäkaltevan asuinalueella noin 4,4 bar keskimäärin, kun sähkökattila syöttää 20 MW tehoa verkostoon. Asiakkaiden kulutuspaikkojen värisymbolit muuttuvat keltaisiksi. (kuva 18) Paine-eron kasvaminen Hyvinkään eteläisellä puoliskolla, Metsäkaltevan alueella johtuu alueen prosentuaalisesti pienestä kaukolämmön kulutuksesta. Paine-erot nousevat myös Martin alueen eri osissa yli 3 bar:n ja kulutuspaikkojen värisymbolit ovat vaalean vihreitä (kuva 19).



KUVA 19. Kaukolämpöverkon paine-erot sähkökattilan 20 MW teholla. (Fluidit Heat, 2024)

6.3.8 Verkoston Paine-erot 30 MW:n kattilateholla

Verkoston paine-erot asiakkaiden ensiöpuolella kasvavat Martinlehdon teollisuusalueen sekä eteläisen Hyvinkään Metsäkaltevan asuinalueella lähemmäs 10 bar kun sähkökattila syöttää 30 MW tehoa verkostoon, asiakkaiden kulutuspaikkojen symboleiden ollessa pinkin värisiä simuloinnissa. Paine-erot nousevat jo Martin asuinalueellakin kolmen ja seitsemän bar:iin väliin, kulutuspaikkojen värisymbolien ollessa punaisia sekä keltaisia alueella (kuva 20). Paine-eron kasvaessa näin suureksi syntyy suuria kaukolämmön pumppauskustannuksia, sekä suuret paine-erot asiakkaiden ensiöpuolella aiheuttaa kovia virtausääniä putkistossa, joka voi olla erittäin häiritsevää. Paine-erosäätimien asentaminen jokaiseen kulutuspaikkaan, jossa paine-eroa kerääntyy yli 6 bar on huomattavan kustannustehotonta.



KUVA 20. Kaukolämpöverkon paine-erot sähkökattilan 30 MW teholla. (Fluidit Heat, 2024)

6.4 Kustannukset

Investoinnin kustannukset koostuvat tontin maarakennustöistä, muuntajasta, maakaapeloinnista, sähköliittymästä Fingridin kantaverkon 110 kV voimajohtoon, 20 MW:n sähkökattilan kokonaistoiimituksesta sekä kaukolämmön uudesta siirtojohtosta, jolla liitytään Martinlehdontien siirtojohtoon. Kaukolämpöverkon rakentamiskustannuksissa on käytetty Energiateollisuus ry:n vuoden 2019 tilastoa (liite 1) ja sen mukaista ylintä metrihintaa DN 250 putkiston rakentamisessa, johtuen rakentamiskustannusten huomattavasta noususta viime vuosina, näin ollen budjettivaraa ei ole huomioitu verkoston rakentamiskustannuksessa. Uutta kaukolämpöverkkoa tulisi rakentaa noin 500 metriä Martinlehdon tontille, jotta pystyttäisiin liittymään olemassa olevaan siirtojohtoon. Verkon vahvistamisen kustannusarvio on noin 0,4–0,45 miljoonaa euroa.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Verkostosimulointia suoritettiin nykyisen tuotantorakenteen kanssa sekä tontille asti vahvistettavalla kaukolämmön siirtojohdolla. Simulointia toteutettiin nollakelin ajotilanteella, koska tämä ulkolämpötila on lähimpänä ajotilannetta, jossa mahdolliselle lisätuotantokapasiteetille alkaa olla tarvetta. Kylmempien kelien koittaessa pörssisähkön hinta on yleisesti niin korkea, ettei kaukolämmön tuottaminen sähköllä ole kustannustehokasta. Nollakelin kaukolämmön kulutuksen ollessa noin 60 megawattia, saadaan normaalitilanteessa tarvittava teho Riihimäen jätteenpolttolaitokselta. Peruskuormalaitoksen vikaantuessa tai äkillisten huoltoseisakkien vuoksi voi saatavilla olevat tehot voivat tippua huomattavastikin, jolloin muodostuu tarvetta lämmöntuotannolle. Sahanmäkeen syksyllä 2024 valmistuva 20 MW sähkökattila pystyy paikkaamaan tätä tarvetta, mutta jos pörssisähkö tai sähkön säätömarkkinoilta on saatavilla edullista sähköä, on suositeltavaa käyttää sitä kaukolämmön tuotantoon kustannusrakenteen hillitsemiseksi. Sahanmäen tulevan sähkökattilan pääasiallinen tarkoitus olisi ladata lämmön kausivarastoa, joka on valmistumassa 2026. Näin ollen tämän selvityksen aiheena olleelle Martinlehdon sähkökattilalle olisi tilaa syöttää energiaa kaukolämpöverkkoon yhtäaikaisesti Sahanmäen sähkökattilan kanssa, koska sen kuormaa pystyisi säätelemään, joko kaukolämpöverkkoon tai lämpövarastoon sähkön hinnan ollessa kustannustehokasta tuotannossa.

Verkostosimuloinnin perusteella kaukolämpöverkon siirtojohdon ominaispaine pysyy ohjeistuksen mukaisella tasolla, kun Martinlehdosta syötetään kaukolämpötehoa 10–20 MW verkostoon. Puolestaan 30 megawatin teholla verkoston ominaispainehäviö siirtojohtossa kasvaa liian suureksi (2bar/km), joka ei ole ohjeistuksen mukainen sekä aiheuttaisi suuria pumppauskustannuksia.

Kaukolämpöverkon paine-erot pysyvät Hyvinkään verkolle tyypillisinä lähialueilla 15 megawatin syötöteholle asti (1,5–2,6bar). Kun verkkoon syötetään 20 megawatin teholla kaukolämpöä Martinlehdosta alkavat paine-erot nousta yli 4 bar:iin Metsäkaltevan alueella, johtuen alueen prosentuaalisesti pienestä kaukolämmön kulutuksesta ja tämä saattaa aiheuttaa varsinkin pientalojen lämmönjakokeskuksissa asumisviihtyvyyttä alentavaa virtausääntä tai kohinaa tietyillä kulutusohjelmilla. 20 MW:n kattilan lähtevää tehoa voidaan tietysti rajoittaa, tai säätää virtausta alueelle, mikäli kyseistä ongelmaa esiintyy. Simuloinnin mukaisesti paine-erot nousevat maksimiinsa, jos Martinlehdosta syötetään 30 megawattia verkkoon, eli tämän kapasiteetin siirtäminen on mahdotonta vallitsevalla siirtojohdon dimensiolla.

Tutkimuksen mukaan Martinlehdon teollisuustontille optimaalisin sähkökattila olisi 15–20 megawatin tehoinen. Tämän teholuokan syöttäminen olemassa olevaan kaukolämpöverkostoon on simuloinnin mukaan täysin mahdollista eikä aiheuta ongelmia lämmönjakelussa tai pumppauksissa.

LÄHTEET

- Energiateollisuus. (2022). Kaukolämpötilasto 2022. Verkkojulkaisu Saatavissa: <https://energia.fi/tilastot/kaukolampotilasto/> Viitattu 11.1.2024.
- Energiateollisuus. (2023). Kaukolämpötilasto. Saatavissa: https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/01/Kaukolampovuosi-2023_ennakkograafit.pdf Viitattu 30.1.2024.
- Energiateollisuus. (2019). Maanalaisten kiinnivaahdotettujen kaukolämpöjohtojen rakentamiskustannukset 2019. Saatavissa: https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/Johtorakennuskustannukset_2019.pdf. Viitattu 5.3.2024
- Energiamaailma (2024). Kaukolämpöverkko. Saatavissa: <https://energiamaailma.fi/energiasta/energian-tie-kotiin/kaukolampoverkko/> Viitattu 20.2.2024
- Fingrid. (2024). Kantaverkon liittymismaksut 2024. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/kulutuksen-ja-tuotannon-liittaminen-kantaverkkoon/kantaverkon-liittymismaksut-2024.pdf>. Viitattu 5.3.2024
- Fluidit. (2024). Fluidit Heat simulointityökalu.
- Helen. (2020) Mustikkamaan lämpöluolia aletaan täyttää vedellä. Saatavissa: <https://www.helen.fi/uutiset/2020/mustikkamaa> Viitattu 7.4.2024
- Hyvinkään Lämpövoima. (2023). Hyvinkään Lämpövoiman vuosikertomus 2023. Saatavissa: <https://hlv.fi/vuosi2023/liiketoiminnan-avainluvut-2023/> Viitattu 7.4.2024.
- Hyvinkään Lämpövoima. (2023). Hyvinkään Lämpövoimalle 7,7 milj. euron investointituki lämmön kausivarastohankkeeseen. Saatavissa: <https://hlv.fi/ajankohtaista/hyvinkaan-lampovoimalle-77-milj-euron-investointituki-lammon-kausivarastohankkeeseen/> Viitattu 7.4.2024
- Hyvinkään Lämpövoima. (2023). Hyvinkään Lämpövoima rakentaa sähkökattilan Sahanmäkeen. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://hlv.fi/ajankohtaista/hyvinkaan-lampovoima-rakentaa-sahkokattilan-sahanmakeen/> Viitattu 8.4.2024
- Koskelainen, L., Saarela, R., Sipilä, K. & Nuorkivi, A. (2006). Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Energia-teollisuus.
- Logstor. (2022). Logstor tuoteluettelo. Saatavissa: <https://www.logstor.com/media/7311/kingspan-logstor-district-heating-manual-specifications-fi-fi.pdf>. Viitattu 12.3.2024
- Mäkelä, V-M & Tuunainen J. (2015). Suomalainen kaukolämmitys. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-588-506-7> Viitattu 20.2.2024.
- Parat esittelyaineisto (2021). Saatavissa: <https://www.parat.no/fi/tuotteemme/industry/parat-ieh/> Viitattu 12.3.2024
- Pelli. (2023). "Suuri vedenkeitin" lämmittää yhä useampia koteja, ja rahaa säästyy – "Viikonloppuna täytettiin termari". Saatavissa: <https://www.hs.fi/talous/art-2000009894919.html> Viitattu 30.1.2024.
- STT Info. (2023). Energiatehokkuudella huipputuloksiin – päästöt kuriin sähkökattilan avulla. Saatavissa: <https://www.sttinfo.fi/tiedote/69997187/energiatehokkuudella-huipputuloksiin-paastot-kuriin-sahkokattilan-avulla?publisherId=69820076&lang=fi> Viitattu 30.1.2024.
- Vaasan Sähkö (2019). Vaasaan suuri maanalainen energiavarasto Saatavissa: <https://www.vaasan-sahko.fi/ajankohtaista/vaasaan-suuri-energiavarasto/> Viitattu 7.4.2024
- Vuori, Lari (2023). Valokuva. Lari Vuori, kuva-arkisto.

LIITE 1

Taulukko 1

Kiinnivaahdotettujen yksiputkisten (2Mpuk) kaukolämpöjohtojen verottomat rakentamiskustannukset 2019**Kokonaiskustannukset**

DN	Kustannukset keskimäärin €/m	Rakennettu m	Yrityksiä kpl	Ylin €/m	Alin €/m
20	156	415	2	159	127
25	225	1407	6	265	126
32	0	0	0	0	0
40	209	3784	9	385	78
50	217	3988	9	300	127
65	206	4949	8	285	88
80	275	4415	8	547	92
100	266	3259	9	370	109
125	315	4412	7	500	180
150	297	5357	10	530	190
200	485	3692	10	641	212
250	531	1189	7	871	293
300	644	4740	8	780	277
400	595	4977	7	1597	423
500	913	789	3	935	490
600	1126	1140	4	1293	642
700	1798	762	2	1869	1600