

Essi Kaikkonen

HUKKALÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN IMATRAN VOIMAN ALUEEN LÄMMITYK- SESSÄ

HUKKALÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN IMATRAN VOIMAN ALUEEN LÄMMITYK- SESSÄ

Essi Kaikkonen
Opinnäytetyö
Kevät 2022
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energia- ja ympäristötekniikka

Tekijä: Essi Kaikkonen

Opinnäytetyön nimi: Hukkalämmön hyödyntäminen Imatran Voiman alueen lämmityksessä

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Utilisation of Waste Heat in the Heating System of Imatran Voima Area

Työn ohjaaja: Timo Kiviahde & Veli-Matti Mäkelä

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: Kevät 2022

Sivumäärä: 41

Opinnäytetyön aiheena oli energiaselvityksen tekeminen Imatran Voiman alueelle ja hukkalämmön hyödyntäminen alueen lämmityksessä. Alueella on vanhoja suojeltuja rakennuksia ja suunnitteilla uusia. Energiaselvitys on hyvä tehdä uusia asuinalueita suunniteltaessa. Työn toimeksiantajana toimii Oy Culmentor Ltd, jolta saatiin tarvittavat lähtötiedot. Työ aloitettiin laskemalla alueen lämpötehontarve. Laskelmien ja niiden avulla tehdyn pysyvyyssäyrän perusteella pystyttiin arvioimaan erilaisten lämmöntuotantomuotojen soveltuvuutta alueelle.

Alueella on vesivoimalaitos, jonka generaattorit tuottavat hukkalämpöä. Hukkalämmön hyödyntämisestä alueen lämmöntuotannossa pohdittiin matalalämpöisen alueverkon kautta. Hukkalämpö riittäisi lähes kokonaan kattamaan alueen tarvitseman tehontarpeen. Työssä arvioitiin matalalämpöverkon soveltuvuutta alueelle tehtyjen tutkimusten, Suomeen jo rakennettujen matalalämpöverkkojen ja niiden asettamien vaatimusten perusteella.

Hukkalämpöä päälämmönlähteenään käyttävälle matalalämpöverkolle tarvitaan toinen lämmitysmuoto tuottamaan alueen huippu- ja varatehot. Tätä varten selvitettiin matalalämpöverkon liittämistä kaukolämpöön ja alueelle rakennettavaa omaa lämpölaitosta. Lisäksi pohdittiin lämpöakun mahdollisuutta hukkalämmön varastoinniseksi.

Matalalämpöverkko olisi järkevin vaihtoehto, sillä silloin hukkalämmölle ei tarvitsisi tehdä mitään vaan se voitaisiin käyttää sellaisenaan. Lisäksi hukkalämpö on jo alueella valmiina. Matalalämpöverkon liittäminen kaukolämpöverkkoon voisi olla helpoin ja kustannustehokkain ratkaisu verrattuna omaan lämpölaitokseen. Aluelämpölaitoksen myötä alue ei kuitenkaan olisi riippuvainen ulkoisista lämmöntoimittajista. Lämpöakku ei ehkä ole kannattavin ratkaisu hukkalämmön hyödyntämiseen sen matalan lämpötilan takia. Alueelle ei todennäköisesti edes voitaisi rakentaa niin isoa akkua, johon voitaisiin varastoida kaikki ylimääräinen hukkalämpö. Alueella ei myöskään ole käyttökohteita ylimääräiselle hukkalämmölle.

Asiasanat: matalalämpöverkko, hukkalämpö, alueverkko, kaukolämpö, aluelämpölaitos, lämpöakku

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Energy Technology

Author: Essi Kaikkonen

Title of thesis: Utilisation of Waste Heat in the Heating System of Imatran Voima Area

Supervisors: Timo Kiviahde & Veli-Matti Mäkelä

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2022

Number of pages: 41

The topic of this thesis was to do an energy study for the area of Imatran Voima and utilisation of waste heat in the area's heating system. Imatran Voima area is in the Southeast Finland. The area is an old residential area for hydropower plant's workers. It was built in the 1920's and some of the buildings in the area are culture historically protected. New buildings are also planned. Energy study is beneficial to do when planning new residential areas. The subject of this thesis and the initial information was given by Oy Culmentor Ltd. Thesis was started by calculating the area's demand for thermal power. Suitable heat production forms for the area were possible to assess based on the calculations and the stability curve.

Hydropower plant in the area produces waste heat and its' utilisation in the area's heating were pondered through low heat district network. Waste heat could almost cover the needed thermal power of the area. The suitability of the low temperature network was assessed based on previous research, low heat networks already built in Finland and the requirements set by the low heat network.

The low heat network that uses waste heat as a main heat source requires another form of heating to cover the peak and backup power production that the area might need. Connecting the low heat district network to Imatra's district heating network or a district heating plant were pondered as a hybrid model with waste heat. In addition, the possibility of a heat accumulator for storing waste heat was also considered.

The low heat network would be the most sensible option since the waste heat could be utilised as it is. Waste heat source is also already available in the area. Connecting the low heat network to the local district heating network could be the easiest and most cost-effective solution compared to a district heat plant. With the district heating plant, the area would not be dependent on external heat supplier. The heat accumulator may not be the most cost-effective solution for utilising waste heat due to its low temperature and its huge demand for space for storage.

Keywords: low heat network, waste heat, district heat network, district heating, heat accumulator

ALKULAUSE

Haluan ensimmäisenä kiittää Oy Culmentor Ltd:n toimitusjohtajaa Jukka Hellgreniä mielenkiintoisesta opinnäytetyöaiheesta. Erityinen kiitos Jukalle myös luottamuksesta, ystävydestä ja huumorista. Kiitän myös Oy Culmentor Ltd:n Jari Tirriä.

Kiitokset kuuluvat myös opinnäytetyön ohjaajilleni Timo Kiviahteelle ja Veli-Matti Mäkelälle. Veli-Matti Mäkelälle erityiskiitokset valtavasta tietämyksestä opinnäytetyöaiheen parissa.

Kiitän hyvää ystävääni, äidinkielenopettaja Katariina Mäkelää, opinnäytetyöni rakenteen ja oikeinkirjoituksen tarkistamisesta. Kiitokset myös perheelleni tuesta opinnäytetyöprosessin sekä koko opiskelujeni aikana.

12.05.2022

Essi Kaikkonen

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	TYÖN TAUSTA.....	8
2.1	Opinnäytetyön toimeksiantaja	9
2.2	Imatran Voiman alue	9
2.3	Rakennetut kulttuuriympäristöt	10
2.4	Imatran vesivoimalaitos	12
2.5	Hukkalämpö	12
3	IMATRAN VOIMAN ALUEEN LÄMMITYSTEHONTARVE.....	14
3.1	Pysyvyyssäikä.....	15
3.2	Lämmöntarpeen vaihtelu	16
4	MATALALÄMPÖVERKKO	18
4.1	Matalalämpöverkkoja Suomessa.....	18
4.2	Selvityksiä matalalämpöverkoista Suomessa.....	19
4.3	Matalalämpöverkko Imatran Voiman alueelle.....	20
4.3.1	Matalalämpöverkon vaatimukset verkostolle.....	22
4.3.2	Matalalämpöverkon vaatimukset asiakaslaitteille.....	23
4.4	Alueellisen matalalämpöverkon vara- ja huipputeho	25
5	KAUKOLÄMPÖ.....	27
5.1	Imatran Lämpö Oy.....	27
5.2	Alueellisen matalalämpöverkon yhdistäminen kaukolämpöön.....	28
6	ALUELÄMPÖLAITOS	30
7	LÄMPÖAKKU	33
7.1	Lämpöakun rakennevaihtoehdot	33
7.2	Varastoitava hukkalämpö	34
7.3	Lämpöakku Imatran Voiman alueelle	34
8	YHTEENVETO	37
	LÄHTEET.....	39

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tehdä energiaselvitys, jossa pohditaan hukkalämmön hyödyntämistä Imatralla sijaitsevan Imatran Voiman alueen lämmityksessä. Energiaselvitys on hyvä tehdä, kun suunnitellaan uusia asuinalueita. Imatran Voiman alue on Suomen suurimman vesivoimalaitoksen työntekijöille 1920-luvulla rakennettu asuinalue. Alueella on kulttuurihistoriallisesti tärkeitä rakennuksia ja nyt suunnitteilla uusia. Vesivoimalaitoksen turbiinien generaattorit tuottavat hukkalämpöä, jonka hyödyntämistä alueen lämmityksessä on pohdittu. Hukkalämpö on hyödyntämätöntä ylijäämälämpöä. Energiaselvityksen punaiseksi langaksi otettiin hukkalämpö ja sen hyödyntäminen alueen lämmityksessä. Työssä on ensin laskettu arvio alueen lämpötehotarpeesta, koska sen avulla voitiin pohtia mahdollisia lämmitysratkaisuja alueelle.

Hukkalämmön hyödyntäminen lämmöntuotannossa on selkeässä kasvussa. Energian tuotantoon käytettäviä polttoaineita koskevat erilaiset päästörajoitukset sekä ympäristölle haitallisten polttoainesten verotus. On perusteltua etsiä uusia, päästöiltään vähäisiä lämmöntuotantotapoja ja lisätä energiaomavaraisuutta.

Työssä arvioitiin hukkalämmön käyttömahdollisuutta matalalämpöverkon avulla. Matalalämpöverkko tarkoittaa lämpöverkkoa, jossa kiertävän veden lämpötila on huomattavasti alhaisempi kuin perinteisessä kaukolämpöverkossa. Matalalämpöisiä kaukolämpöverkkoja on Suomessa jo toiminnassa ja lisää kehitteillä. Hukkalämpöä hyödyntävä matalalämpöverkko tarvitsee kuitenkin toisen lämmitysmuodon rinnalleen, joten työssä pohdittiin hybridimallista lämmitysjärjestelmää. Matalalämpöverkko voitaisiin yhdistää Imatran kaupungin kaukolämpöverkkoon tai alueelle voitaisiin rakentaa oma aluelämpölaitos tukemaan matalalämpöverkkoa. Hukkalämmön suuren määrän takia työssä mietittiin myös lämpöakun rakentamisen mahdollisuutta alueelle. Työn toimeksiantajana on oululainen asiantuntijayritys Oy Culmentor Ltd.

2 TYÖN TAUSTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää lämmöntuotantovaihtoehtoja Imatralla sijaitsevalle Imatran Voiman alueelle siellä syntyvän hukkalämmön avulla. Energiayhtiö Fortum omistaa Imatran Voiman alueen. Alueella on vanhoja kulttuurihistoriallisesti tärkeitä rakennuksia sekä suunnitella uusia. Opinnäytetyön suunnittelun lähtökohtana on Imatralla sijaitsevan Suomen suurimman Fortumin omistaman vesivoimalaitoksen tuottama hukkalämpö ja sen mahdollinen hyödyntäminen alueen lämmityksessä. Voimalaitoksen hukkalämmön talteenoton teknologia on valmis ja odottaa tällä hetkellä hyödyntämistä.

Uusia asuinalueita suunniteltaessa on hyvä tehdä energia-analyysi, jonka avulla selvitetään alueelle parhaiten sopivat energiaratkaisut. Energia-analyysissä tehdään alueen energiankulutuksen arviointi, energiatuotantovaihtoehtojen kartoitus ja päästölaskenta. Analyysi toimii hyvänä apuna päätöksenteossa suunnittelevalle organisaatiolle. Tarkasteltavat energiavaihtoehdot tulee valita sen mukaan, mitkä voisivat olla mahdollisia toteuttaa alueelle. (1, s. 24.)

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan alueelle kolmea vaihtoehtoista lämmitysenergiaratkaisua, joista kaikki ovat hybridimallisia. Työn lähtökohtana pidettiin vesivoimalaitoksen tuottamaa hukkalämpöä, koska se alueella jo on odottamassa hyötykäyttöä. Työssä tarkasteltiin alueellisen matallämpöverkon mahdollisuutta, jossa päälämmönlähteenä toimisi hukkalämpö. Hukkalämmön tuotanto on epävarmaa, joten se tarvitsee vara- ja huipputehontarpeisiin toisen järjestelmän. Toisena tärkeänä vaihtoehtona tarkasteltiin alueverkon liittämistä Imatran kaukolämpöverkoston. Kolmantena vaihtoehtona oli alueelle rakennettava oma lämpövoimalaitos hukkalämmön rinnalle mutta myös vara- ja huipputehoksi koko Imatran kaukolämpöverkolle. Imatran Voiman alueelle on pohdittu myös lämpöakun mahdollisuutta hukkalämmön varastoimiseksi. Lämpöakku voisi toimia Imatran Voiman alueen lisäksi osana Imatran kaupungin kaukolämpöjärjestelmän tuotantoa tai tuotannon huippu- ja varatehona.

2.1 Opinnäytetyön toimeksiantaja

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii oululainen, vuonna 1999 perustettu, asiantuntijayritys Oy Culmentor Ltd. Yritys tarjoaa palveluja rakennusalan projektitoiminnalle sekä EU-rahoitteisille tutkimus- ja kehityshankkeille. Oy Culmentor Ltd on toteuttanut esimerkiksi energia-alan investointeihin projektiurakointeja sekä rakennuttamis- ja projektinjohtopalveluja. Yritys on osallistunut monialaisiin kehittämishankkeisiin sekä konsultoinut ja kirjoittanut lukuisia menestyneitä hakemuksia kansainvälisiin ja kansallisiin EU-rahoitusohjelmiin. (2.) Oy Culmentor Ltd on tehnyt useita yhteistyöprojekteja Imatran kaupungin konserniin kuuluvan kiinteistöpalveluja tarjoavan Mitran kanssa kiinteistöjen ja maa-alueiden kehittämiseksi. Imatran kaupunki ja Fortum ovat yhteistoiminnassa kehittämässä Imatran Voiman aluetta, ja Mitra on tähän pyytänyt Culmentorilta tukea alueen energiaratkaisujen selvitykseen opinnäytetyön muodossa. (3.)

2.2 Imatran Voiman alue

Imatran Voiman asuinalue on peräisin 1920-luvulta, jolloin voimalaitoksen työntekijöille rakennettiin Imatran Voiman toimeksiannosta asuinrakennuksia voimalaitoksen läheisyyteen. Alueella on kaksi asuinalueita eri aikakausilta: 1920- ja 1940-luvuilta (kuva 1).



KUVA 1. Imatran vesivoimalaitos ja sen vanha asuinalue (mukaillen 4)

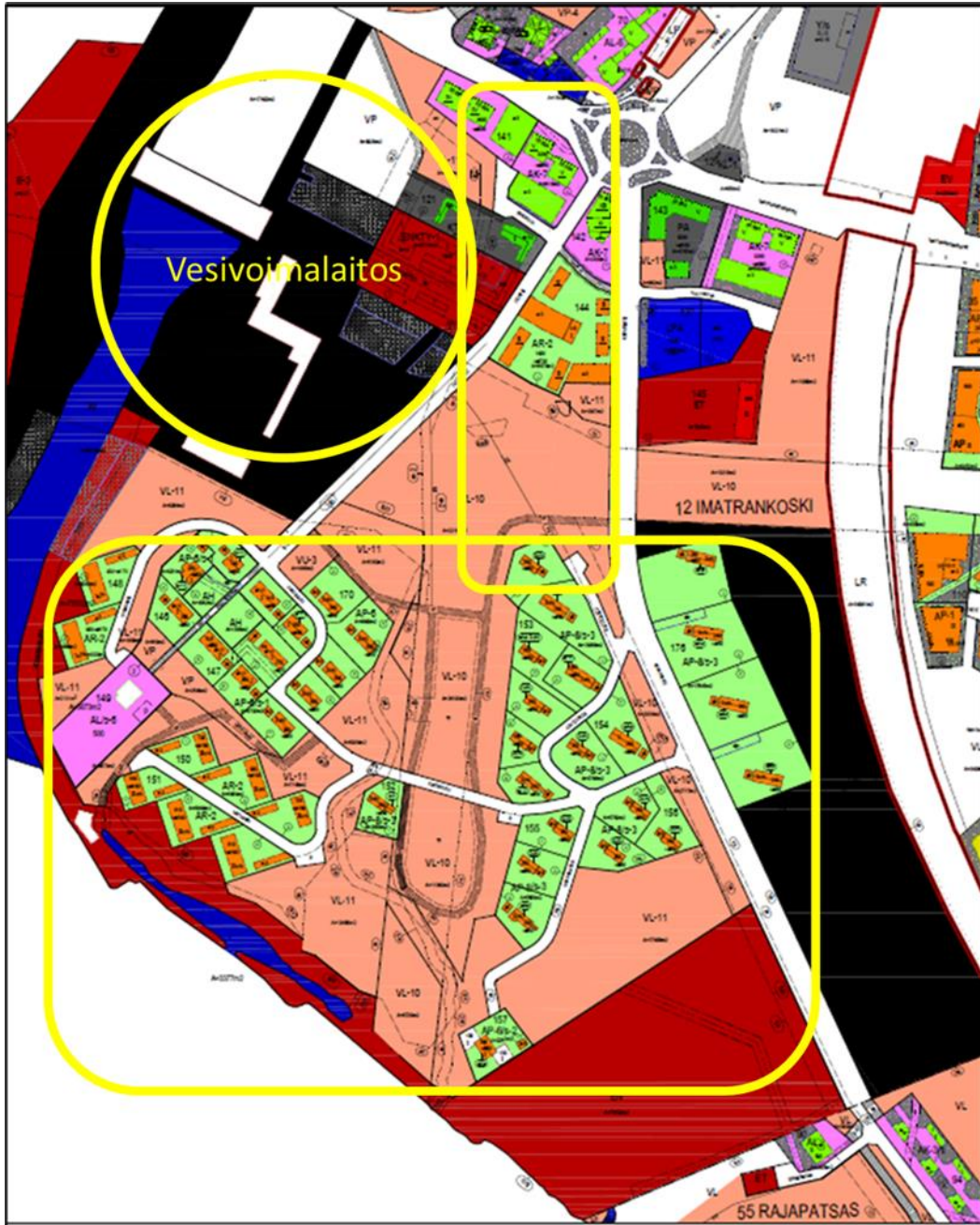
Johdon asunnoksi rakennettiin Vuoksen rannalle Villa Malmi, joka toimii edelleen juhla- ja kokoustilana. Asuntoalue on korkeatasoinen esimerkki teollisuuden pyrkimyksestä kohottaa työväestön

asuinoloja. Näillä tyyppitaloilla on arkkitehtuurihistoriallista merkitystä. Alueella on kymmenen aumakattoista asuinrakennusta sekä yhteiset talusrakennukset. Rakennukset on suunnitellut rakennusmestari Emil Ekegren. Aluetta laajennettiin 1940-luvulla, jolloin Aarne Ervin suunnitteli alueelle satulakattoisia ja puulla vaakavuorattuja kahdelle perheelle mitoitettuja tyyppitaloja. Alueeseen kuuluvat vielä kaksi omakotitaloa ja talusrakennus. (5.) Puuvuorattujen talojen asuinkäyttö lopetettiin vuonna 2016 taloissa piilevien terveystarpeiden myötä. Ervin suunnittelemat puutalot on sijoitettu alueelle väljästi ja upotettu maastoon. (6, s.10, 74.) Alueen rakennuksissa on käytössä suora sähkölämmitys, mutta se halutaan muuttaa. Alueella olevista rakennuksista tullaan purkamaan lattiat tarkoituksena asentaa lattialämmitys (3).

2.3 Rakennetut kulttuuriympäristöt

Imatran Voiman alue on osittain suojeltu, kulttuurihistoriallisesti merkittävä asuinalue ja siellä olevilla tyyppitaloilla katsotaan olevan arkkitehtuurihistoriallista merkitystä. Museovirasto on toteuttanut inventoinnin Valtakunnallisesti merkittävät rakennetut kulttuuriympäristöt, joka on saanut valtioneuvoston päätöksen vuonna 2009. Päätöksellä se on otettu maankäyttö- ja rakennuslakiin perustuvien valtakunnallisten alueidenkäyttötavoitteiden tarkoittamaksi inventoinniksi. Inventoinnin kohteet tulee huomioida alueidenkäytön suunnittelun lähtökohtana. (7.)

Asemakaavakartassa, kuvassa 2, rakennukset on merkitty merkinnällä sr-11, joka tarkoittaa suojeltavaa rakennusta. Maankäyttö- ja rakennuslain 57. §:n nojalla määrätään, ettei rakennusta saa purkaa ja siihen kohdistuvat korjaus- ja muutostyöt tulee tehdä niin, että rakennuksen rakennustaiteellisesti arvokas tai kaupunkikuvan kannalta merkittävä luonne säilytetään. Rakennusten julkisivuissa tulee erityisesti käyttää alkuperäisiä tai vastaavia materiaaleja ja värisävyjä. Alueelliselta vastuumuseolta tulee pyytää lausunto suunnittelu- ja rakennuslupavaiheessa. (3.)



KUVA 2. Imatran voiman alueen asemakaavakartta (3)

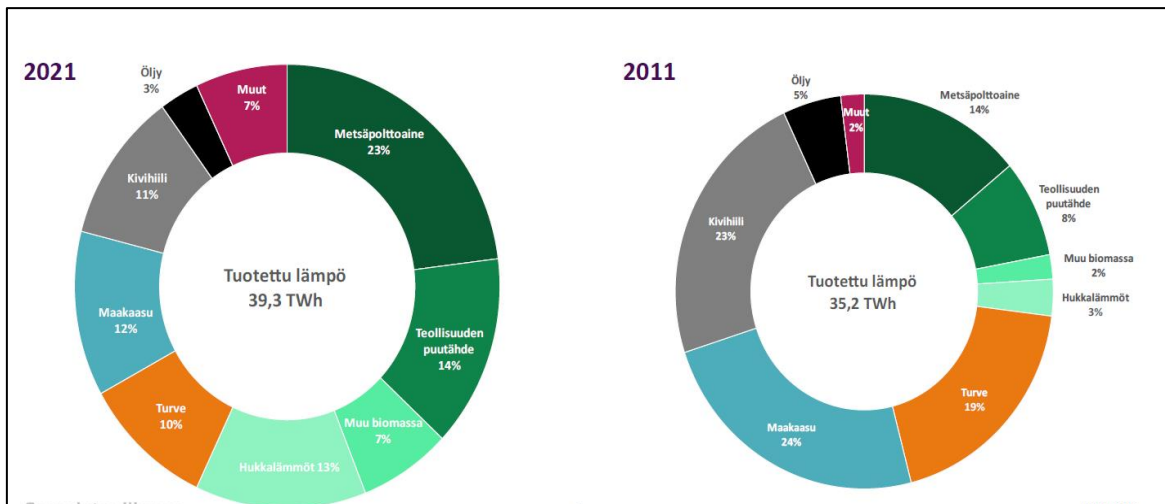
Suojellut rakennukset osaltaan vaikuttavat alueelle suunniteltaviin energiaratkaisuihin, sillä esimerkiksi erilaisten lämpöpumppujen käyttö voisi olla haasteellista. Ilmalämpöpumppuihin kuuluu esimerkiksi rakennusten ulkoseinälle asennettava ulkoyksikkö, ja sen asentaminen voi olla mahdollonta suojeltujen rakennusten kohdalla. Maalämpöpumppujen mahdollisuutta on myös mietitty, mutta alueen maaperän ei uskota soveltuvan kovin hyvin maalämpöpumppujen vaatimille porakairoille. Alla olevaan asemakaavakuvaan on merkitty keltaisella ympyrällä vesivoimalaitoksen alue ja kahdella suorakulmiolla energiaratkaisujen selvityksen kohteena oleva alue.

2.4 Imatran vesivoimalaitos

Imatran keskustassa sijaitseva Fortumin omistama vesivoimalaitos on Suomen suurin. Se valmistui jo vuonna 1929. Voimalaitoksen teho on 192 MW ja putoukorkuus 24 m. Teho tuotetaan kuudella Francis-turbiinilla ja yhdellä Kaplan-turbiinilla. Vuosituotanto, 1000 GWh, riittää noin 50 000 sähkölämmitystalouden vuosikulutukseen. (8.) Vesivoimalaitoksen neljä generaattoria tuottavat hukkalämpöä ja niiden tuottama teho on noin 1 MW ja talteenotosta saatavan veden lämpötila on 65 °C. Hukkalämpöä saadaan tasaisesti ympäri vuoden. Tällä hetkellä hukkalämpöä ei hyödynnetä, mutta teknologia hyödyntämistä varten on valmis. (3.)

2.5 Hukkalämpö

Hukkalämpöä on kaikki ylijäämälämpö, jota ei hyödynnetä mihinkään. Hukkalämpöä syntyy esimerkiksi erilaisista prosessi- ja savukaasuista, jätevesistä sekä erilaisista koneellisen jäähdetyksen lauhdelämmöistä. Hukkalämpöä voi muodostua hyvinkin paljon, ja yleisesti se on vain ohjattu ulos rakennuksista ilman hyötykäyttöä. Hukkalämpö on energiavara, jonka hyödyntäminen energiantuotannossa säästäisi muita energianlähteitä ja ympäristöä. Lisäksi se olisi kestävä kehityksen mukaista. (9.) Hukkalämmön hyödyntäminen on kasvussa esimerkiksi kaukolämmön yhteydessä, ja sen määrä onkin kolminkertaistunut 2010-luvulla (kuva 3). Uusia lämmönlähteitä tunnustetaan edelleen ja otetaan käyttöön. (10, s. 7.)



KUVA 3. Uusiutuvien polttoaineiden osuus kaukolämmöntuotannosta Suomessa vuosina 2021 ja 2011 (10, s. 6)

3 IMATRAN VOIMAN ALUEEN LÄMMITYSTEHONTARVE

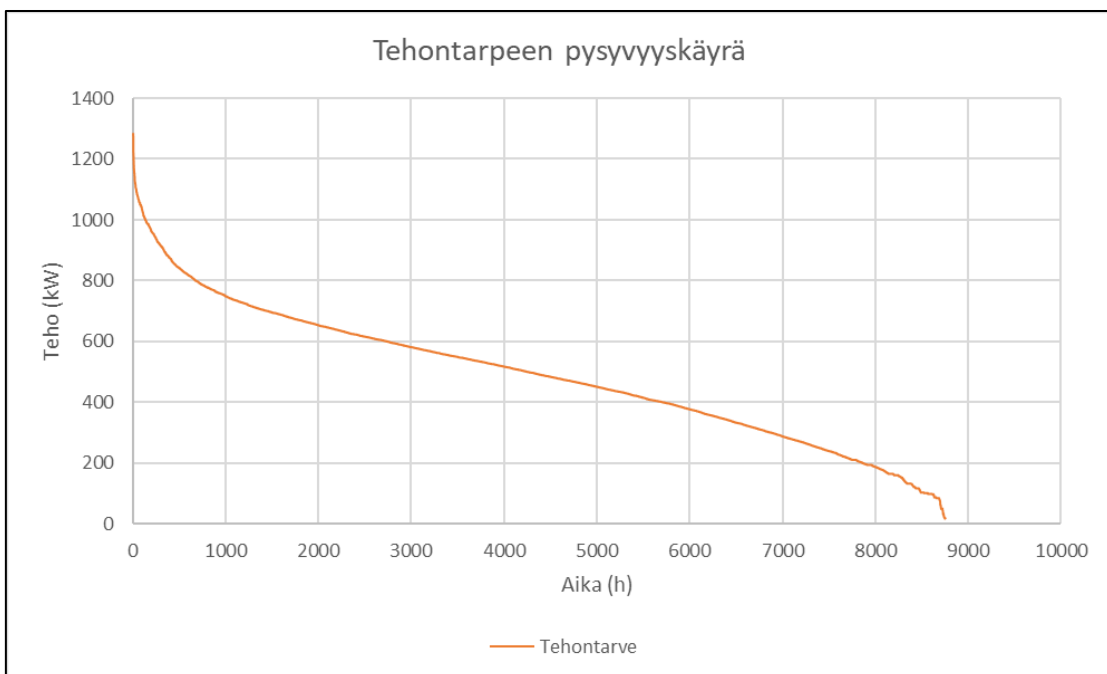
Imatran Voiman alueen tehontarve määritettiin ensin. Vanhoille olemassa oleville rakennuksille mitoitustehoksi ilmoitettiin 22 W/m^3 , ja uusille suunnitteilla oleville uusille rakennuksille 14 W/m^3 . Rakennusten huonekorkeudeksi ilmoitettiin 2,7 m. Annettu mitoitus-teho sisältää lämmityksen ja lämpimän käyttöveden. Asemakaavasta otettiin rakennuksien asuinpinta-alat. Pinta-alat kerrottiin huonekorkeudella, jotta saatiin rakennusten tilavuudet kuutiometreinä, joiden avulla laskettiin edelleen tehontarpeet. Vanhoja rakennuksia on kahdeksan, ja niiden tehontarpeeksi saatiin yhteensä 125 kW. Uusia suunnitteilla olevia uusia rakennuksia on 39 kappaletta: 5 kerrostaloa, 13 rivitaloa ja 27 omakotitaloa. Uusien rakennusten tehontarve on 1039 kW. Koko alueen rakennusten lämmitystehontarpeeksi saatiin 1164 kW. Tehonsiirroissa tapahtuu aina kuitenkin häviöitä, joten tehontarpeeseen lisättiin vielä 10 %, jolloin huipputehontarpeeksi saatiin 1280 kW.

Alueelle suunnitelluista rakennuksista tai siellä olevista vanhoista rakennuksista ei saatu tarkempia tehontarve tai -kulutustietoja, joten työssä on käytetty Oulun ammattikorkeakoulun energiatekniikan neljännen vuosikurssin Hybridijärjestelmät-opintojaksolla olleen asuinalueen lämmöntarpeen tuntitietoja vuoden ajalta. Hybridijärjestelmät-kurssin tehtävän alue tehoineen on hyvin lähellä tässä työssä olevaa Imatran Voiman aluetta. Mitoitusulkolämpötila on myös ollut tehtävässä sama, $-29 \text{ }^\circ\text{C}$, sama kuin Imatran alueella on. Mitoitusulkolämpötila on paikkakuntakohtainen, arvioitu ulkoilman alin lämpötila, ja sitä käytetään lämmitystarpeen laskennassa. Tuntisissa tehotiedoissa alin lämpötila on ollut $-27,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Lämmöntarpeen tuntitietojen avulla voitiin paremmin arvioida lämmöntarpeen jakautumista vuoden- ja vuorokaudenajoille, ja näiden tietojen perusteella voitiin pohtia energiaratkaisuja alueelle.

Imatran Voiman alueen huipputehontarve oli noin 360 kW suurempi, joten häviöllinen huipputeho täsmätettiin korottamalla lämmityksen jokaista tuntista tehoa. Tämän opinnäytetyön laskelmissa ei ole huomioitu lämpimän käyttöveden maksimaalista hetkellistä tehontarvetta. Maksimaalinen hetkellinen lämpimän käyttöveden huipputeho pitää pystyä tuottamaan lyhytkestoisesti noin 10 minuutin ajan. Uusien rakennusten lämmityksen ja ilmanvaihdon tehontarpeet lasketaan yleensä Ympäristöministeriön rakentamista koskevien asetusten ja niihin liittyvien ohjeiden mukaisesti (11, s. 8).

3.1 Pysyvyyskäyrä

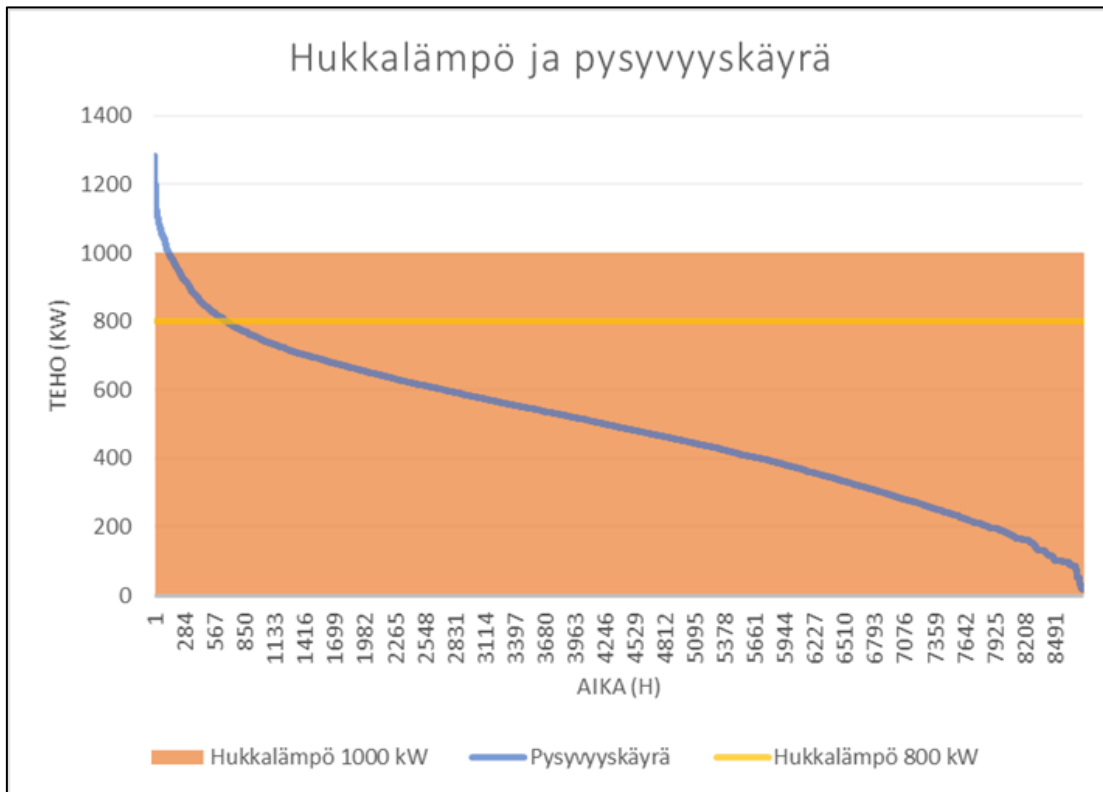
Alueen tuntisten tehontarpeiden avulla voidaan mitoittaa tehon- ja energiantarve pysyvyyskäyrälle. Pysyvyyskäyrälle on järjestetty suuruusjärjestykseen kaikki vuoden tuntiset lämmitystekot suurimmasta pienimpään. Pysyvyyskäyrää käytetään apuna esimerkiksi, kun suunnitellaan lämmön tuotantolaitoksien laitevalintoja ja niiden tarvitsemia perustehoja. Alla olevan kuvan 4 pysyvyyskäyrä voidaan jakaa karkeasti kolmeen alueeseen: vasemmalla oleva jyrkkä huippu kertoo huipputehontarpeen, keskelle sijoittuva pinta-alaltaan isoin alue kertoo voimalaitokselta tarvittavan perustehon ja oikealle alanurkkaan jäävä pinta-alaltaan pienin alue kertoo yleensä kesäajan tehontarpeen, joka koostuu ainoastaan lämpimän käyttöveden lämmitykseen tarvittavasta tehosta.



KUVA 4. Tehontarpeen pysyvyyskäyrä

Pysyvyyskäyrältä voidaan myös arvioida, että vesivoimalaitokselta saatavalla hukkalämmöllä voitaisiin tuottaa alueen tarvitsema lämpöteho lähes kokonaan. Hukkalämmön teho vesivoimalaitokselta on noin 1000 kW. Lämmöntuotannon huipun ja varatehon tarpeisiin alueelle tarvitaan kuitenkin myös toinen lämmitysratkaisu. Kuvassa 5 on liitetty hukkalämmön määrä pysyvyyskäyrän kanssa samalle kuvaajalle. Oranssilla, pinta-alaltaan isoimmalla, on hukkalämmön määrä, ja kuvasta nähdään, että tuotetusta hukkalämmöstä noin puolet voitaisiin hyödyntää alueella. Kuvaa-

jaan on lisätty vielä keltaisella poikkiviivalla hukkalämmön määrä 800 kW ajatuksena, jos saata-
vasta 1000 kW käytettäisiin esimerkiksi vesivoimalaitoksen omiin tarpeisiin 20 %. Tilanne ei kui-
tenkaan juuri muutu; ainoastaan huipputehon tarve pitenisi 130 tunnista noin 680 tuntiin.

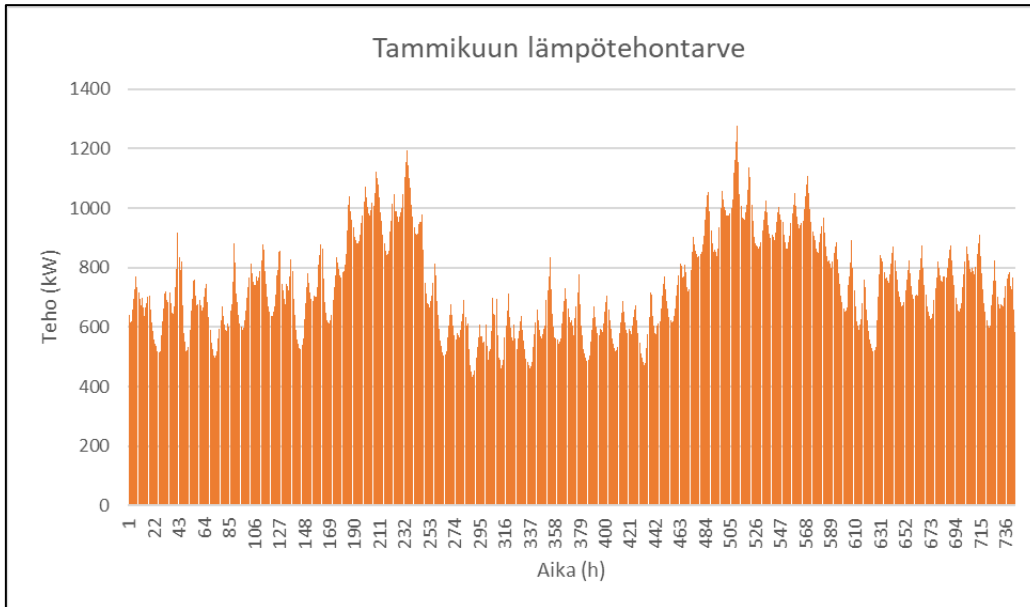


KUVA 5. Hukkalämmön määrä ja pysyvyyskäyrä

Näiden pysyvyyskäyräkuvaajien avulla voidaan nähdä, että hukkalämmöllä olisi suuri potentiaali alueen lämmöntuotannossa. Hukkalämmön hyödyntämistä alueella tukee myös se, että alue, jossa hukkalämpö hyödynnettäisiin, on aivan tuotantopaikan vieressä.

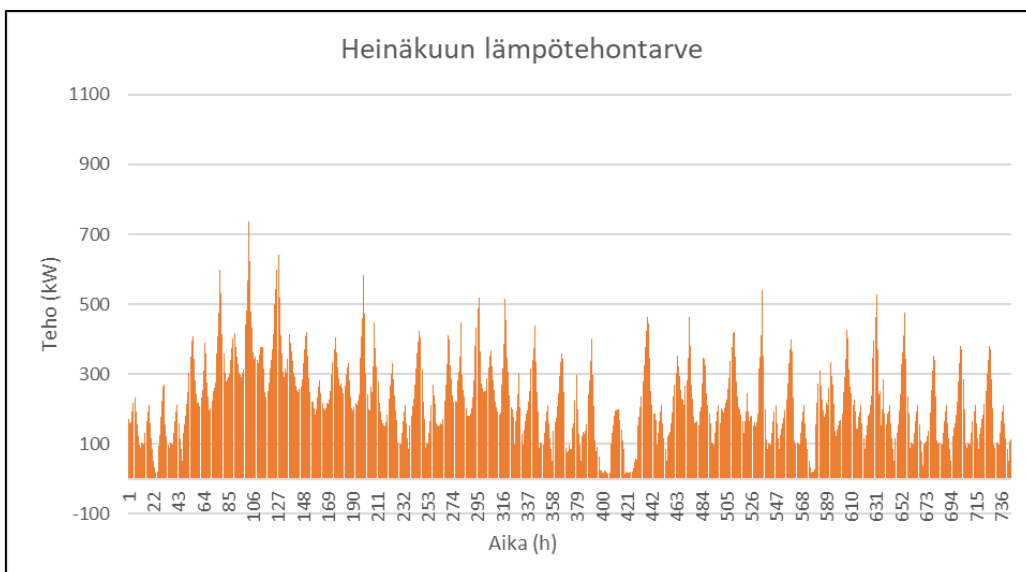
3.2 Lämmöntarpeen vaihtelu

Lämmöntarpeen vaihtelua tarkasteltiin kahden kuukauden ajalta kesällä heinäkuussa ja talvella tammikuussa. Tammikuussa lämpötehontarve oli korkeimmillaan, ja kuten kuvasta 6 nähdään, lämmöntarpeen korkein huippu on noin 1300 kW. Huiput eivät kuitenkaan ole pitkäaikaisia, ja tammikuussa yli 1000 kW:n tehoa tarvitaan noin 50 tuntia ja se jakautuu seitsemälle päivälle. Kuvasta voidaan myös päätellä, että peruslämmöntarve talvella on noin 600–700 kW.



KUVA 6. Tammikuun lämpötehon tarve

Tarkasteltavaksi kesäkuukaudeksi valittiin heinäkuu, koska silloin lämpötehotarve oli matalimmillaan (kuva 7). Peruslämpötehotarve heinäkuussa on noin 200 kW. Muutama huippu nousee yli 500 kW:iin ja ainoastaan yksi yli 700 kW:iin. Kuvasta 7 nähdään, että kapeat huiput ovat todella hetkittäisiä ja korkeintaan neljän tunnin mittaisia. Huiput ajoittuvat aamuihin, jolloin yleensä kaukolämmityksen tarve on korkeimmillaan esimerkiksi lämpimän käyttöveden korkeamman kulutuksen vuoksi.



KUVA 7. Heinäkuun lämpötehotarve

4 MATALALÄMPÖVERKKO

Matalalämpöverkko tarkoittaa lämmitysverkkoa, jossa verkoston veden tulolämpötila on 85–64 °C (12). Perinteisessä kaukolämpöverkossa talviaikainen tulolämpötila on ollut 115 °C, ja sitä on juuri muutettu lämpötilaan 90 °C. Lämmönjakokeskusten mitoituslämpötilan laskemisella on mahdollista tulevaisuudessa laskea verkon lämpötiloja ja sitä kautta käyttää monipuolisemmin erilaisia lämmönlähteitä. Energiajärjestelmän tehokkuus paranisi myös lämpötiloja laskemalla. (11.)

Ensimmäisessä kaukolämpöjärjestelmässä 1880-luvulla lämpöenergia toimitettiin asiakkaille höyryn avulla, ja 1930-luvulta lähtien on käytetty yli 100-asteista vettä lämpöenergian toimittamisessa. Kehitys kaukolämpöjärjestelmissä on siis mennyt hitaasti kohti matalampia menolämpötiloja, vähämateriaalisia ja tehdasvalmisteisia komponentteja sekä vähemmän työvoimaa vaativia asennuksia. Kansainväliset säädökset ja yhteiskunnan arvot pakottavat uudistamaan ja kehittämään kaukolämpöjärjestelmiä kohti kestäväää energian tuotantoa ja hyödyntämään uusiutuvia energiamuotoja ja hukkalämpöä. Jätteen ja biomassan käyttö energiantuotannossa on lisääntynyt, mutta esimerkiksi Euroopassa biomassan lähteet ovat hyvin pienet verrattuna Euroopan energian tarpeeseen. Kaukolämpöjärjestelmillä on siis iso merkitys energiatehokkuuden kehittämisessä näillä niukoilla energialähteillä. (13, s. 1–2.)

Kaukolämpöputket muodostavat verkostoja asuinalueilla, kaupungin keskustassa tai koko kaupungissa, ja näille alueille voidaan tuottaa lämpöä keskitetystä lämpövoimalaitoksesta tai useasta pienemmästä lämmöntuotantoyksiköstä. Tulevaisuudessa kaukolämpöverkot voivat toimia pelkäänsään auringon, hukkalämmön tai geotermisen energian avulla. Uusiutuvien energioiden ja hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkossa vaatisi kuitenkin kaukolämpöverkon lämpötilan alentamista. (13, s. 1–2.)

4.1 Matalalämpöverkkoja Suomessa

Suomessa on ollut aiemmin kokeiluja jo 1970-luvulla 90 °C:n menolämpötilalla useilla korttelialueilla, mutta niistä kuitenkin luovuttiin erilaisten ongelmien takia. Yhtenä ongelmana olivat käytetyt muoviputket, jotka aiheuttivat metallisiin osiin korroosiota, kun happi pääsi putkiin ja sitä kautta edelleen lämmönsiirtimiin ja venttiileihin. Suurena ongelmana olivat myös pattereiden kasvavat

pinta-alat. Osassa järjestelmistä kaukolämmöllä tuotettiin vain lämmitys, jolloin lämminkäyttövesi jouduttiin lämmittämään tuolloin vielä epäekologisesti tuotetulla sähköllä. Nykyaikaisten matalaenergiatalojen pienempien tehontarpeiden myötä on suunta kaukolämmössä jälleen ollut kohti matalampia lämpötiloja. Mahdolliseksi sen tekevät kehittyneet ja paremmat putkimateriaalit, sähkön tuotanto uusiutuvilla ja saastuttamattomilla energiamuodoilla sekä mahdollisuus suunnitella kaikki lämmitysjärjestelmän osa-alueet matalille lämpötiloille sopiviksi. (14.)

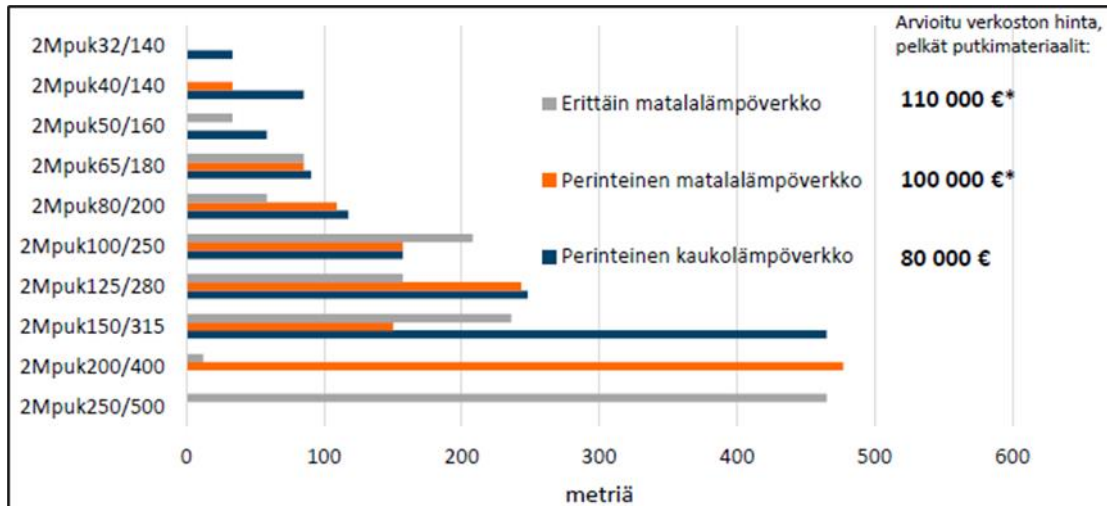
Suomen ensimmäinen kaksisuuntainen matalaenergiaverkko on toiminnassa Turun Skanssin alueen uusissa kerrostaloissa. Menoveden lämpötila on ympäri vuoden 65 °C. Kyseisessä kohteessa asukkailla on siis mahdollista myydä itse tuotettua ylimääräiseksi jäänyttä energiaa kaukolämpöverkkoon. Verkon matalampi lämpötila mahdollistaa ylijäämälämmön syöttämisen suoraan verkkoon. Suunnittelussa on huomioitu myös talojen teknisten tilojen koko, jos uutta tekniikkaa halutaan ottaa käyttöön myöhemmin. Aurinkopaneelit voisivat esimerkiksi olla yksi vaihtoehtoista. Skanssin taloista toistaiseksi ei vielä kukaan tuota kaukolämpöä kaukolämpöverkkoon. (15.)

Keravan vuonna 2024 tulevalle asuntomessualueelle kaavaillaan myös matalalämpöverkkoa, jossa osa kiinteistöjen tarvitsemasta lämmitysenergiasta tuotetaan asuinalueen sisällä maalämpökaivoilla. Energia siirretään maalämpökaivoista matalalämpöiseen jakeluverkkoon. (16.)

4.2 Selvityksiä matalalämpöverkoista Suomessa

Hiedanrannassa Tampereella on selvitetty, olisiko matalaenergiaverkon toteuttaminen energiatehokkuuden kannalta järkevää. Selvityksessä pyrittiin tutkimaan myös lämpövarastojen ja älykkään energianhallinnan vaikutuksia lämpöverkkoon. Tarkastelussa olivat mukana tavalliset ja älykkäällä energianhallinnalla optimoidut rakennukset kolmessa erilaisessa tapauksessa: perinteinen kaukolämpöverkko, jossa menoveden lämpötila oli 115–86 °C, matalalämpöverkko, jossa menoveden lämpötila oli 85–65 °C sekä erittäin matalalämpöverkko 55–40 °C. Erittäin matalalämpöisessä järjestelmässä kuluttajien käyttövetä joudutaan priimaamaan, jotta se täyttäisi käyttövedelle asetetut lämpötilavaatimukset. Selvityksen tuloksina huomattiin, että verkoston lämpötilataso vaikuttaa putkikokoon, sillä matalammat lämpötilat tarvitsevat isommat putket. (17.) Tehon määrä on suoraan verrannollinen putkissa kulkevaan veden määrään sekä lämpötilaeroon. Lämpötilaeron pienentyessä meno- ja paluuv veden välillä vesivirta kasvaa ja putkia on suurennettava.

Investointikustannusten erot tapausten välillä olivat kuitenkin maltillisia (kuva 8) ja on huomattava, että matalampi verkoston lämpötila vähentää putkiston lämpöhäviöitä ympäristöön. (12.) Lämpöhäviöt pienenevät noin 25 % matalalämpöverkostossa verrattuna perinteiseen kaukolämpöverkoston (17).



KUVA 8. Verkostojen investointikustannuksia (17)

Matalalämpöverkoista on tehty useita tutkimuksia ja niiden kannattavuus on todettu monessa eri artikkelissa. Tampereelle tehdyn selvityksen johtopäätöksissä matalalämpöverkko vaikuttaa parhaimmalta vaihtoehdolta häviöiden ja kustannusten kannalta, kun verrataan keskenään perinteistä kaukolämpöverkkoa ja matalalämpöverkkoa sekä erittäin matalalämpöverkkoa. (17.)

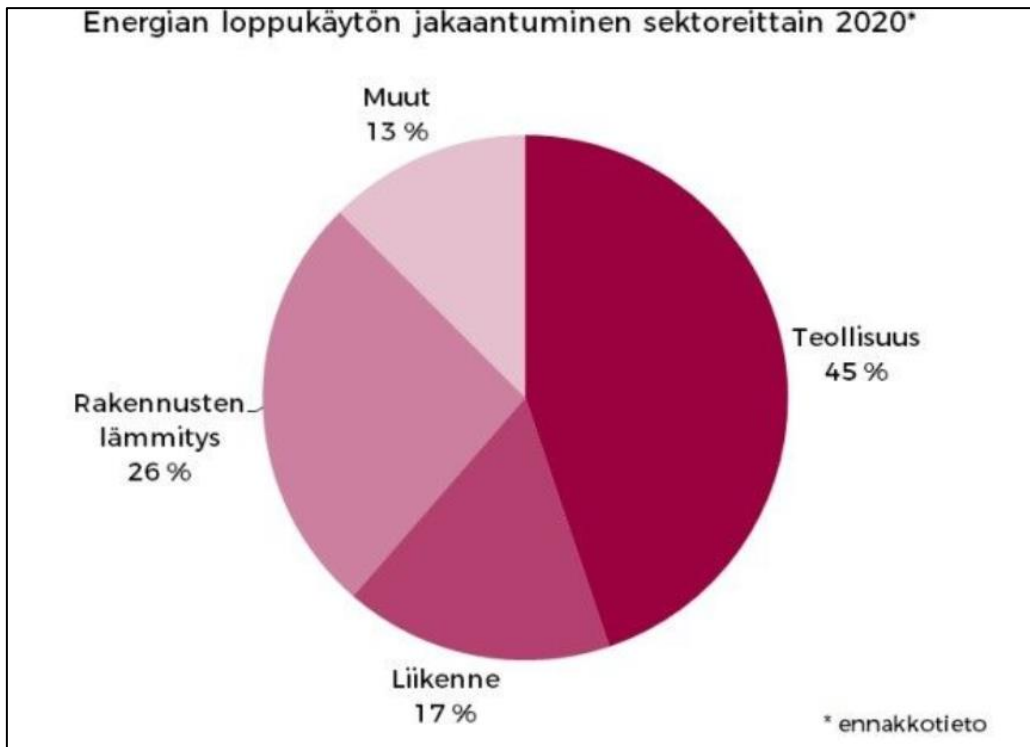
4.3 Matalalämpöverkko Imatran Voiman alueelle

Matalalämpöverkoista tehtyjen selvitysten ja Turun Skanssin asuinalueelle toteutetun matalalämpöverkon perusteella Imatran Voiman alueella voitaisiin suunnitella oma matalalämpöinen alueverkko. Matalalämpöistä alueverkkoa tukee alueella vesivoimalaitoksella syntyvä hukkalämpö ja etenkin hukkalämmön lämpötila, joka on matalalämpöverkolle sopiva 65 °C. Hukkalämmön lämpötilaa ei siis tarvitsisi erikseen korottaa ennen verkkoon syöttämistä. Hukkalämpö voisi näin toimia päälämmönlähteenä alueen verkossa. Hukkalämmön tuotanto tapahtuu alueella, jossa se käytettäisiin, joten tämä vähentäisi rakennettavan verkoston kustannuksia ja lämpöhäviöitä, kun lämmönsiirtomatka on varsin lyhyt.

Uudet rakennukset ovat usein matalaenergiataloja, joissa lämmitysenergian tarve on hyvin pieni, ja matalaenerginenverkko palvelisi näin myös uusia rakennuksia paremmin, eikä olisi ylimitoitettu niiden tarpeisiin (13, s. 2). Imatran Voiman alueella on kuitenkin myös vanhoja suojeltuja rakennuksia, joissa lämmitysenergiatarve on suurempi kuin uudisrakennuksissa. Suojelluista rakennuksista tullaan kuitenkin purkamaan lattiat, joten lattialämmityksen myötä matalalämpöverkko sopisi myös vanhemmalle rakennuskannalle. Lattialämmityksen suunnittelussa vanhemmalle talokannalle täytyy vain ottaa huomioon suurempi tehontarve ja tarvittava lattialämmityspotkien määrä.

Imatran kaupungin ilmastotavoitteet tukisivat myös hukkalämmön hyödyntämistä ja sen myötä matalalämpöverkon rakentamista. Imatran kaupunki on laatinut Ilmasto-ohjelman 2020–2030, jonka yhtenä tavoitteena on lisätä uusiutuvan energian käyttöä ja parantaa energiatehokkuutta. Ohjelmassa on tarkoitus selvittää ja hyödyntää kiinteistöjen ja teollisuuden hukkalämmöt. Kaavoituksen osalta mainitaan asemakaavojen liittymismahdollisuudet kaukolämpöverkkoon, jos se on kustannustehokasta, tai vaihtoehtoisesti kannustetaan muun vähäpäästöisen lämmitystavan valintaan. Imatra on myös liittynyt hiilineutraalien kuntien verkostoon vuonna 2019, ja tavoite on olla hiilineutraali vuonna 2030. Mitralla, Imatran Rakennuttaja Oy:llä, on voimassa oleva energiatehokkuussopimus, jolla sitoudutaan vähentämään energiankulutusta ja tehostamaan toimintaa sellaiseksi, että hiilidioksidipäästöjä syntyy mahdollisimman vähän. (18, s. 2–3.)

Suomessa kaikesta energiasta asuntojen lämmitysenergia vie neljäsosan (kuva 9). Asuntojen lämmitysenergian kulutusta voidaan pienentää rakentamalla matalaenergiataloja, mutta etenkin lämmitysenergiantuotannosta aiheutuvia päästöjä pienentämällä Imatran kaupunki voisi edistää ilmastotavoitteitaan kohti hiilineutraalia kuntaa. Tämä tukisi hukkalämmön hyödyntämistä ja matalalämpöverkon rakentamista.



KUVA 9. Energian loppukäytön jakaantuminen sektoreittain vuonna 2020 (19)

4.3.1 Matalalämpöverkon vaatimukset verkostolle

Matalalämpöverkossa, kuten kaukolämpöverkossakin, lämpö siirretään asiakkaille putkistossa olevan veden välityksellä. Vesi siis kiertää aina uudelleen lämmöntuotantolaitokselta asiakkaalle, ja luovutettuaan lämmön palaa takaisin lämmitettäväksi. Yleensä lämmönsiirtoon kaukolämpöjohdossa käytetään kahta putkea: meno- ja paluuputkea. Suomessa on käytössä epäsuora kytkentä, eli asiakkaalla on oma lämmityskierto, ja lämmitys tapahtuu lämmönsiirtimeen kautta. (20, s. 43.)

Menoputken painetta korotetaan tuotantolaitoksen pumpuilla, jotta paine saadaan riittämään verkossa ja asiakaslaitteissa tapahtuviin painehäviöihin. Verkon kaukaisimmissa osissa paine-eron on oltava tarpeeksi suuri, jotta tarpeeksi tehoa menee lämmönjakokeskusten eri piirien läpi luovuttaen tehon talon lämmitys- ja lämpimänkäyttövedenpiireille (20, s. 44.) Putken tehonsiirtokyky määräytyy massavirran mukaan, joka taas riippuu käytettävän putken koosta, meno- ja paluupuolen lämpötilaerosta sekä sallitusta paineesta. Menolämpötilojen laskiessa verkoston putkikokoja pitää riittää vesivirran siirtämiseksi asiakkaille. Matalalämpöverkon pumppaustehoa joudutaan todennäköisesti kasvattamaan, jotta saadaan pidettyä riittävä massavirta. Massavirran tai pumppaustehon lisääminen kasvattavat myös putkikokoa. (21, s. 34.)

Lämmönjakelukustannuksista verkon lämpöhäviöiden kustannukset ovat suurin käyttökustannuserä. Lämpöhäviöitä syntyy useista eri syistä, mutta yksi yleisimmistä on verkon korkea lämpötila. Matalalämpöverkossa lämpöhäviöt olisivat pienemmät suhteessa normaaliin kaukolämmitykseen, sillä lämpötilaero pienenee ulkolämpötilan ja verkostossa kiertävän veden lämpötilan välillä. Lyhyt välimatka tuotantolaitoksen ja lämmönkäyttöpaikan välillä vähentää myös lämpöhäviöitä. (20, s. 209.)

Verkostossa lämpötilaeron pienentyessä vesivirtaa on siis kasvatettava. Suuremman vesivirran mahdollistamiseksi on joko kasvatettava pumppaustehoa tai suurennettava putkikokoa. Lopulliset valinnat tulee tehdä pumppaus- ja investointikustannusten optimoinnilla. Asiakkaille on kuitenkin taattava tarvittava teho. (14.)

4.3.2 Matalalämpöverkon vaatimukset asiakaslaitteille

Matalalämpöverkon myötä on huomioitava sen vaatimukset lämmitysjärjestelmien ja lämpimän käyttöveden asiakaslaitteiden mitoitukseen. Lämmitysjärjestelmillä tarkoitetaan lattialämmitystä, pattereita ja ilmastointia. Lämmin käyttövesi on lämmityksestä erillinen järjestelmä. Lämmityksen lämmönsiirtimet ja niihin liittyvät säätöventtiilit ja muut varusteet sekä putket tulee mitoittaa tulolämpötilan mukaan lasketulla veden virtaamalla eli tässä tapauksessa 65 °C mukaan (11, s. 8). Käytännössä kun matalalämpöverkossa menolämpötila pienenee, tarvitaan lämmönsiirtimelle vain enemmän lämmönsiirtopinta-alaa.

Kiinteistöissä matalalämpöverkon vedellä lämmitetään tilojen lisäksi myös käyttövettä. Lämmityksen ja lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimet mitoitetaan samojen mitoituslämpötilojen perusteella, koska matalalämpöverkon lämpötila on sama ympäri vuoden. Matalalämpöverkon kohdalla on kuitenkin huomioitava, että sen lämpötila on riittävän korkea, jotta se täyttää lämpimän käyttöveden valmistuksen vaatimukset. Ympäristöministeriön asetuksessa vesi- ja viemärlaitteistoista lämminvesilaitteistossa olevan veden lämpötilan on oltava yli 55 °C koko järjestelmässä ja korkeintaan 65 °C (22, s. 3). Lämpötilavaatimus perustuu lämminvesilaitteistossa kiertävän veden hygieniatasoon. Legionellabakteeri lisääntyy helposti lämpimässä 25–46 °C:een lämpöisessä vedessä ja aiheuttaa kuumetautia (23).

Rakennukset on suunniteltava ja rakennettava niin, että ne voivat hyödyntää matalalämpöistä lämmitystä tehokkaasti. Uudisrakennusten lämmitysjärjestelmien mitoituslämpötilat valitaan siten, että

lämmönjaon ja -luovutuksen lämpöhäviöt ovat mahdollisimman pienet ja lämmitysverkoston säädettävyys on hyvä. Taulukoissa 1 ja 2 ovat mukailten Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet -julkaisusta lämmityssiirtimien mitoituksen perusteina olevat enimmäislämpötilat sekä käyttöveden lämmönsiirrinten mitoituslämpötilat. Julkaisussa ensiöpuolen lämpötilaksi on ilmoitettu 90 °C, mutta myös kerrottu, että todellinen tulolämpötila voi olla myös sitä alempi ja että lämmitysverkon menolämpötilaksi suositellaan mahdollisimman alhaista lämpötilaa, sillä tavoitteena on lämmitysverkon hyvä säädettävyys ja energiatehokkuus. LVI-suunnittelijan tulee aina tarkistaa mitoitusperusteet kohdekohtaisesti lämmönmyyjältä. (11, s. 8.)

TAULUKKO 1. Lämmönsiirtimien mitoituslämpötila uudisrakennuksissa (mukailten 11, s. 8)

LÄMMÖNSIIRTIMIEN MITOITUSLÄMPÖTILAT °C			
	ENSIÖ		TOISIO
Lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimet	TULO 65 (maks.)	PALUU 33 (maks.)	LVI-suunnittelija mitoittaa järjestelmät: - Menolämpötila on enintään 60 °C - Paluulämpötila on enintään 30 °C
		Lisäksi: ensiöpuolen paluulämpötila saa olla enintään 3 °C korkeampi kuin toisiopuolen paluulämpötila	

TAULUKKO 2. Käyttöveden lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat (mukailten 11, s. 9)

LÄMMÖNSIIRTIMIEN MITOITUSLÄMPÖTILAT °C				
	ENSIÖ		TOISIO	
Käyttöveden lämmönsiirtimet	TULO 65	PALUU (maks.) 20	KYLMÄ VESI 10	LÄMMIN VESI (min.) 58

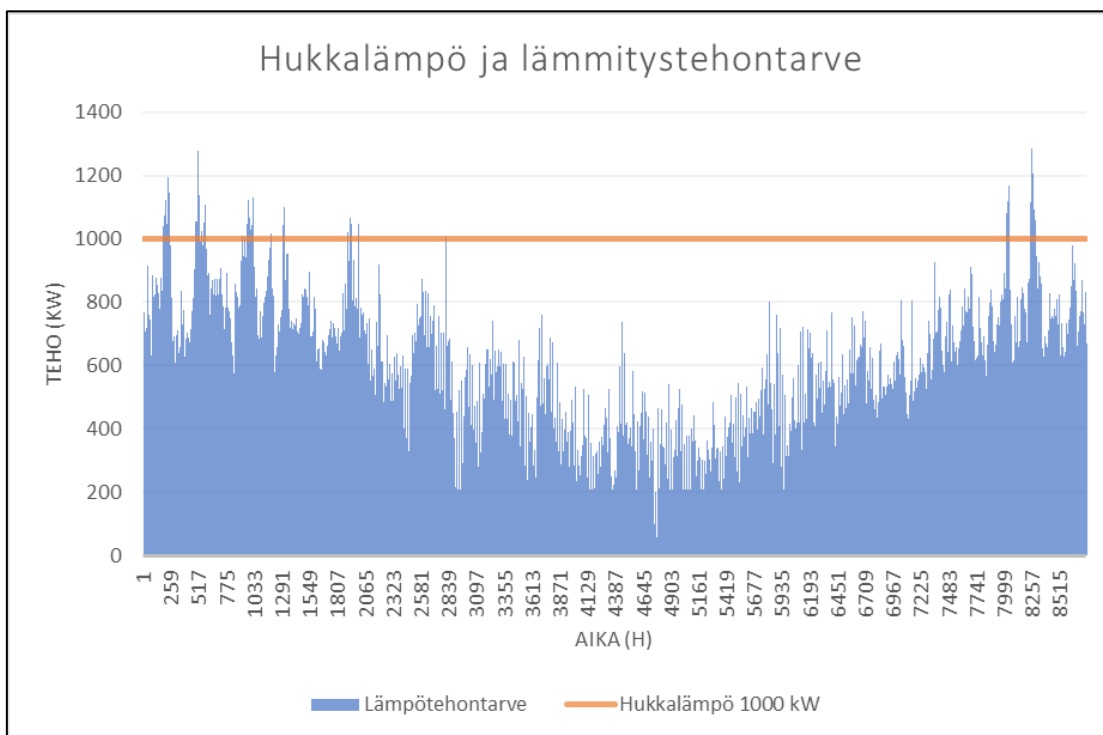
Uusissa rakennuksissa paluulämpötilan mitoitusarvo valitaan siten, että lämpöverkkoon palaavan veden lämpötila on enintään 33 °C. Lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimet ja niihin liittyvät säätöventtiilit ja muut varusteet mitoitetaan 65 °C:n tulolämpötilalla lasketulla kaukolämpöveden virtaamalla. Laitteiden mitoitus jo nyt alemmalla 90 °C:n lämpötilalla verrattuna aikaisempaan 120 °C:n lämpötilaan mahdollistaa tulevaisuudessa kaukolämpöverkon toimintalämpötilojen laskemisen, jolloin uusia lämmönlähteitä voidaan hyödyntää paremmin. Lämmönsiirtimet, jotka on mitoitettu matalammilla lämpötiloilla, toimivat hyvin myös tilanteissa, joissa kaukolämmön tulolämpötila on mitoituslämpötilaa korkeampi. (11, s. 8.)

Matalalämpöverkkoon liitettävien rakennusten lämmityksen jakotapaa valittaessa on otettava huomioon lämmitysjärjestelmien vaatimat mitoituslämpötilat. Patteriverkostolle matalalämpöverkosta saatava menolämpötila saattaa olla liian alhainen, ja pattereiden lämmönluovutuspinna-ala rakennuksissa jouduttaisiin kasvattamaan kohtuuttoman suureksi riittävän lämmön saamiseksi. Lattialämmitysjärjestelmissä menoveden lämpötila ja mitoituslämpötilaero ovat alhaisempia kuin radiاتورilämmitysjärjestelmissä. Lattialämmityspiirissä veden lämpötila muoviputkia käytettäessä voi olla korkeintaan 40 °C. LVI-suunnittelija vastaa lämmitysjärjestelmän mitoituksesta ja antaa suunnitelmissa reunaehdot tehontarpeelle, meno- ja paluuv veden lämpötilaerolle, virtaamalle sekä käytettävissä olevalle paine-erolle. Näiden perusteella lattialämmitysjärjestelmän toimittaja laatii lattialämmityspotkisuunnitelman. (11, s. 58.)

4.4 Alueellisen matalalämpöverkon vara- ja huipputeho

Vesivoimalaitoksella syntyvää hukkalämmön määrää ei voida säätää, vaan sitä syntyy aina, kun vesivoimalalla tuotetaan sähköä. Alueen matalalämpöverkon lämmöntuotantoa ei siis voida optimoida hukkalämmöllä, sillä vesivoimalaitoksen tarkoituksena on ainoastaan tuottaa sähköä. Sähkön- ja lämmönkulutus ei aina ole ajallisesti samanlaista. Imatran vesivoimalaitoksen tuottaman hukkalämmön teho on 1000 kW, joka ylittää Imatran Voiman alueen tarvitseman tehon selkeästi lähes koko vuoden ajan (kuva 10). Kuvasta nähdään kuitenkin myös se, ettei hukkalämmön teho riitä alueen tarvitsemiin lämmönkulutushuippuihin, vaikka hukkalämpöä syntyykin määrällisesti enemmän kuin alue tarvitsee. Epävarmuutta lisää myös se, että vesivoimala voidaan esimerkiksi sulkea huoltotöiden ajaksi tai hukkalämmön tuotannossa voi olla muita katkoksia tai sitä syntyy

vain vähemmän, jolloin alueelle tarvitaan varavoimaa. Alueen lämmitys voitaisiin toteuttaa hybridi-järjestelmänä, joka tarkoittaa kahden tai useamman lämmitysratkaisun yhdistämistä.



KUVA 10. Hukkalämpö ja alueen rakennusten lämmitystehontarve tammikuusta joulukuuhun

5 KAUKOLÄMPÖ

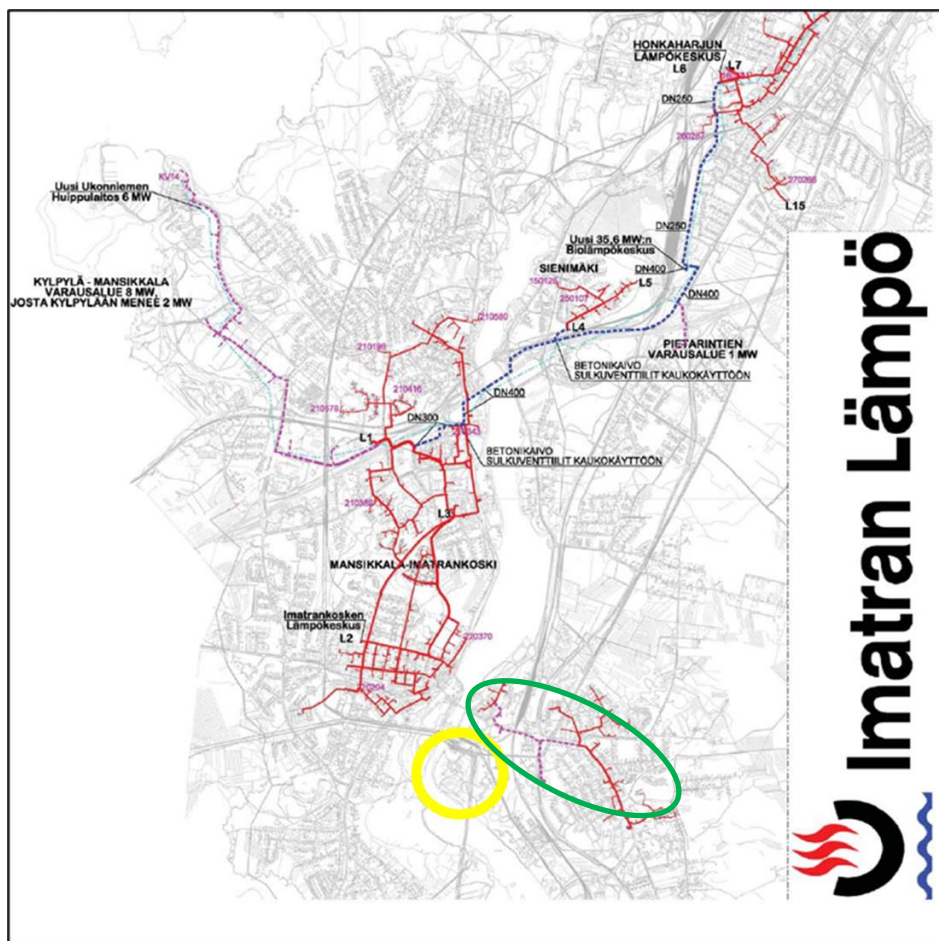
Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto ja sen avulla lämpenee lähes puolet Suomen rakennuksista ja niiden käyttämästä lämpimästä käyttövedestä. Kaukolämpöä voidaan tuottaa lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitoksissa tai lämpökeskuksissa. Lämpö siirretään asiakkaalle kuumana vetenä maan alla kaksiputkisessa kaukolämpöverkossa. Tuloputken kuuma vesi luovuttaa asiakkaan lämmönsiirtimen välityksellä lämpöä, ja siirtimeltä palaava jäähtynyt vesi tulee paluuputkea pitkin takaisin tuotantolaitokselle. Kaukolämpö on suosittua varmatoimisuuden, helppokäyttöisyyden ja kilpailukykyisen hinnan takia. (24.)

5.1 Imatran Lämpö Oy

Imatralla kaukolämmön tuottajana toimii Imatran Lämpö Oy, joka on perustettu vuonna 2014. Yhtiöllä on noin 720 asiakasta, ja sen kaukolämpöverkoston pituus on noin 87 kanavakilometriä. Tuotannossa maakaasu vaihdettiin bioenergiaan vuonna 2015, jolloin yhtiö rakensi kolme uutta biolämpökeskusta. Maakaasukäyttöiset lämpökeskukset toimivat huippu- ja varalaitoksina. (25.) Kolmen biolämpökeskuksen myötä Imatralla on kolme kaukolämpöverkkoa: Virasojan lämpökeskus 35 MW, Rajapatsas 4 MW ja Immola 1,5 MW. Rajapatsaalla on maakaasulla toimivat varalaitokset Ensontie 8,5 MW ja Kanavakatu 3 MW. Immolassa on myös 3 MW maakaasulaitos varalla. Imatran kaukolämpö on 98-prosenttisesti uusiutuvaa energiaa, ja polttoaineena käytetään kuorta ja puuhaketta. Kaukolämmön kysyntä on Imatralla noussut, sillä se on lämmitysmuodoista kustannustehokain ja ympäristöystävällisin sekä sen hinta on laskenut lämpökeskusten uudistamisen myötä yli 20 %. (25.) Imatran Lämpö Oy:n vuosikertomuksessa 2020 kerrotaan yhtiön seuraavan teknistä sekä toimintaympäristön kehitystä sekä hakevan jatkuvasti alueeltaan hyödynnettäviä hukkalämpöjä ja uusia energialähteitä (26, s. 23).

5.2 Alueellisen matalalämpöverkon yhdistäminen kaukolämpöön

Imatran Voiman alueellinen matalalämpöverkko voitaisiin liittää kaupungin kaukolämpöverkoston. Kaukolämpöverkosto toimisi näin alueen tarvitsemana huippu- ja varatehona. Tällä hetkellä Imatran kaukolämpöverkko on jo melko lähellä vesivoimalaitosta, joten kaukolämmön liittäminen alueverkkoon olisi hyvin mahdollista (kuva 11) Alla olevassa kuvassa keltaisella on ympyröity Imatran Voiman alue ja nähdään, että Rajapatsaan verkko on hyvin lähellä. Se on ympyröity vihreällä.



KUVA 11. Imatran kaukolämmön verkostokartta (27)

Kaukolämpöverkosta voitaisiin saada alueella tarvittava huipputeho silloin, kun hukkalämmön tuotanto ei riitä. Ylimääräinen hukkalämpö voitaisiin myös syöttää kaukolämpöverkoston paluuveteen esilämmityksenä (21, s. 12.)

Alueellisen matalalämpöverkon liittäminen kaukolämpöverkkoon olisi kustannustehokasta, sillä se ei vaatisi kovinkaan suuria investointeja. Alueellinen matalalämpöverkko voidaan liittää kaukolämpöverkkoon lämmönsiirtimellä (21, s. 34). Alueverkon tarvitsemat huipputehontarpeet pystyttäisiin helposti kattamaan kaukolämmön avulla. Ylimääräisen hukkalämmön syöttäminen kaukolämmön paluupuolelle olisi myös tässä tapauksessa toimiva ratkaisu, sillä Imatran Lämpö Oy:n kaukolämpö tuotetaan lämpölaitoksissa, jolloin paluueden lämmittäminen on järkevää. Lämpölaitos hyötyy korkeammasta paluulämpötilasta, sillä laitokselle palaava vesi ei tarvitse niin suurta tehoa lämmitäkseen uudelleen. Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitoksissa korkeammasta paluueden lämpötilasta ei ole juurikaan hyötyä, sillä korkeampi paluueden lämpötila heikentää sähkön tuotantoa.

Jos alueelle ostettaisiin tarvittava huippu- ja varateho kaukolämmöstä, olisi tehtävä sopimus myös kaukolämmön liittymistehosta, hinnoittelusta ja muista tarvittavista yksityiskohdista. Kun kaukolämpöön liitetään kolmas osapuoli, täytyy sopimusehdot määritellä tarkoin. Hyödyt ostosopimuksesta voivat kuitenkin jakaantua kaikkien kaukolämpöjärjestelmän osapuolien kesken, sillä kaukolämpöyhtiö Imatran Lämpö Oy:n investointitarve kapasiteettiin pienenesi, kun lämpöä voitaisiin ostaa ulkopuoliselta toimittajalta, joka tässä tapauksessa olisi Fortum ja sen Imatran vesivoimalaitos. Asiakkaat voisivat saada edullisempaa lämpöä, kun Imatran Lämpö Oy:n pääomakustannukset pienenisivät ja tuotantokustannukset olisivat paremmin ennustettavissa. Kolmas osapuoli, eli vesivoimalaitos, voisi saada tuloja kaukolämpöyhtiölle toimittamastaan lämmöstä. (21, s. 11.)

Hukkalämpö voitaisiin myös priimata korkeampaan lämpötilaan ja syöttää suoraan kaukolämpöverkoston menoputkeen. Tämä vaatisi kuitenkin lisäinvestoinnin esimerkiksi kattilalaitokseen tai lämpöpumppuun.

6 ALUELÄMPÖLAITOS

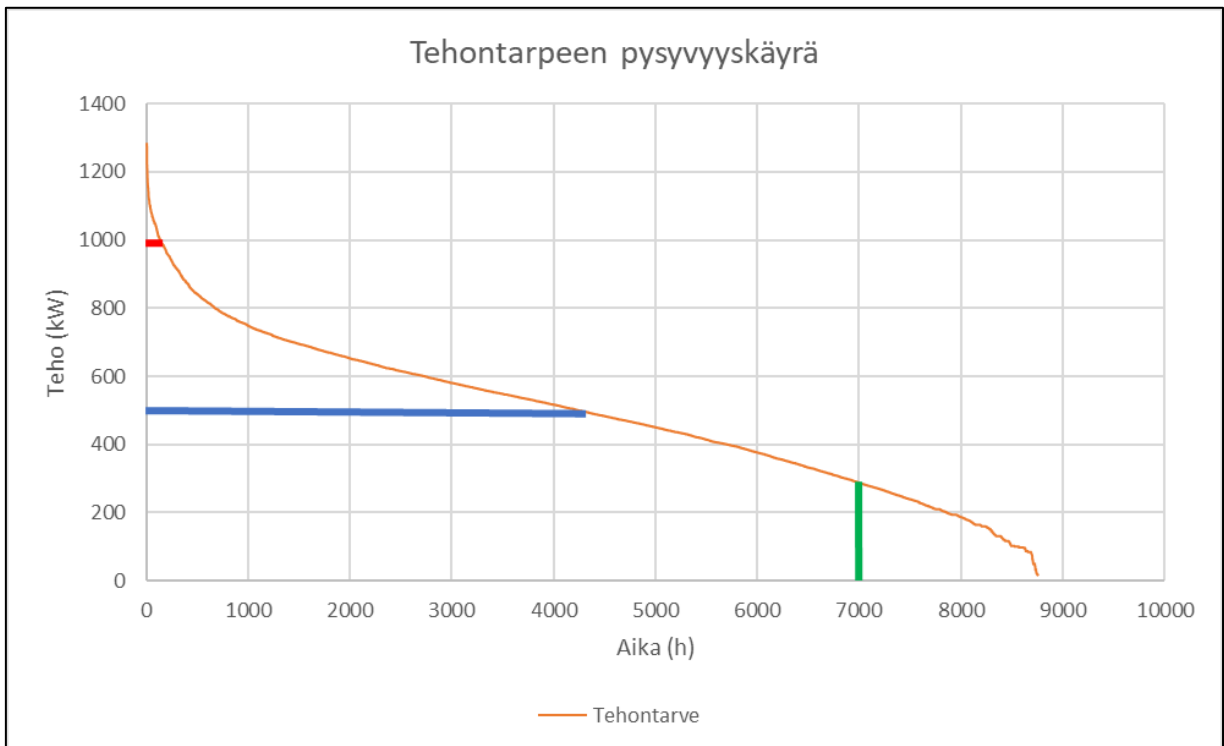
Imatran Voiman alueelle on pohdittu oman lämpölaitoksen mahdollisuutta. Lämpölaitos voisi toimia hukkalämmön rinnalla alueellisessa matalalämpöverkossa varmistaen alueen tarvitseman huipputehontarpeen. Lisäksi se voisi toimia alueen päälämmöntuottajana vesivoimalaitoksen huolto- ja korjauksien tai muiden tuotannon katkosten aikana. Imatran Voiman alueen lämpölaitos voitaisiin myös mitoittaa sen verran suureksi, että se voisi toimia Imatran kaupungin kaukolämpöverkon varajana huipputehona eikä palvella pelkästään Imatran Voiman alueen asukkaita. Imatran kaukolämpöverkko on kuitenkin jaettu kolmeen eri verkostoon, joilla kaikilla on omat lämpökeskukset, joten aivan koko Imatralle tästä ei ole hyötyä niin kauan kuin verkot ovat erillisiä.

Imatran Voiman aluetta lähimpänä on Rajapatsaan kaukolämpöverkko, johon alueen lämpölaitos voitaisiin liittää. Rajapatsaan lämpökeskus 4 MW:n teholla ei ole kovin suuri, mutta sillä on kaksi varalaitosta, jotka käyttävät maakaasua. Varalaitoksien yhteisteho on 11,5 MW. Rajapatsaan varalaitoksien käyttöä voitaisiin korvata Imatran Voiman alueen omalla lämpölaitoksella, jos se mitoitettaisiin alueen tehontarvetta suuremmaksi. Aluelämpölaitosta tuskin kuitenkaan kannattaa mitoitaa vastaamaan varalaitoksien tehoa, sillä varalaitoksia käytetään yleensä melko harvoin.

Lämpövoimalaitoksen mitoituksessa tulee huomioida alueen tarvitsema perus- ja huipputeho sekä myös se, että laitteilla on riittävän alhaiset osatehot, jotta niillä voidaan tuottaa tarpeeksi pieniä lämmitystehontarpeita. Kiinteän polttoaineen laitokset toimivat hyvin 50 % osatehoilla, ja sen alapuolella palaminen on hyvin heikkoa. Kaasu- ja öljylaitoksia voidaan kuitenkin säätää on-off-käytöllä nolasta alkaen. Imatran Voiman aluelämpölaitokselle polttoaineeksi kannattaisi valita esimerkiksi biokaasu, koska sen käyttö mahdollistaa on-off-ajon. On-off-ajo tarkoittaa, että kattilan lämmittämän veden saavuttaessa asetetun lämpötilan kattila sammuu ja käynnistyy taas automaattisesti uudelleen, kun veden lämpötila laskee alle asetetun alarajan.

Aluelämpölaitoksen käyttöä on haasteellista ennustaa, koska hukkalämmön tarkkaa määrää ja tuotantoa ei tiedetä, joten se, että kattiloita voitaisiin säätää nolasta lähtien, on tärkeää. Sähkökattila voisi myös olla yksi vaihtoehto sen nopean käynnistyksen takia. Jos aluelämpölaitosta käytettäisiin vain varatuotantolaitoksena, eli silloin, kun lämmöntarve on korkeimmillaan, myös sähköntarve ja hinta ovat yleensä korkealla.

Tuotantolaitteet laitokselle voidaan mitoittaa alueen tehontarpeen pysyvyyskäyrän avulla (kuva 12) Lopulliset mitoitukset tulee kuitenkin vielä tarkistaa valittavien laitteiden mukaisesti. Alla olevan pysyvyyskäyrän mukaan aluelämpölaitoksen perustehontuotanto voitaisiin tuottaa 500 kW:n biokaasukattilalla ja varalle otettaisiin toinen 500 kW:n biokaasukattila. Huipputehontarpeeseen riittäisi pienempi 300 kW:n kattila, jolla voitaisiin ajaa myös kesäajan pienempiä tehontarpeita. Näillä kattilavalinnoilla voitaisiin taata koko alueen lämmöntuotanto, vaikka vesivoimalaitokselta ei saataisi ollenkaan hukkalämpöä.



KUVA 12. Lämpölaitoksen mitoituksen arviointia pysyvyyskäyrän avulla

Jos aluelämpölaitosta halutaan hyödyntää myös Imatran Lämmön Rajapatsaan kaukolämpöverkossa, voitaisiin ajatella, että huipputehontarpeentilanteessa hukkalämmön tuottaessa täydet 1 MW tarvittaisiin aluelämpölaitokselta vain noin 0,3 MW kattamaan alue. Loput aluelämpölaitoksen tehosta, noin 1 MW, voitaisiin näin hyödyntää Rajapatsaan verkossa. Todennäköisesti silloin, kun Imatran Voiman alueella tarvitaan huipputehoa, tarvitaan se myös Rajapatsaalla, joten aluelämpölaitoksella voitaisiin tuottaa biokaasulla osa huipuista, eikä Rajapatsaalla varalla olevaa maakaasua välttämättä tarvittaisi ollenkaan.

Lämpölaitoksen sijoituspaikka täytyy suunnitella tarkoin alueen ja lämpölaitoksen näkökulmasta. Sijoituspaikan valinta vaikuttaa verkoston rakentamiskuluihin ja verkoston lämpöhäviöihin. Lämpölaitoksen sijoittamisen kaavoitetulle alueelle säätelevät maankäyttö- ja rakennuslaki sekä ympäristönsuojelulaki. Hyvällä suunnittelulla lämpölaitoksesta aiheutuvia haittoja voidaan vähentää.

7 LÄMPÖAKKU

Hukkalämpöä syntyy vesivoimalaitoksella yli alueen tehontarpeen, ja sen tuotanto on saatujen tietojen perusteella myös tasaista ympäri vuoden. Silloin, kun alueen tehontarve on pienempi kuin tuotettu hukkalämmön teho, olisi järkevää, että hukkalämpö kuitenkin hyödynnettäisiin jotenkin. Ylimääräinen hukkalämpö voitaisiin syöttää kaukolämmön paluupuolelle sellaisenaan tai varastoida myöhempää käyttöä varten esimerkiksi lämpöakkuun.

Lämpöakku on iso maan päälle tai alle sijoitettava säiliö tai maanalainen kaivanto, johon varastoidaan ylimääräistä lämpöä. Yleensä varastoivana aineena ja lämpöenergian välittäjäaineena käytetään vettä. Veden tiheyserojen takia vesi kerrostuu: kuumin vesi on säiliössä ylhäällä ja viileämpi alhaalla. Perinteisessä kaukolämpöjärjestelmässä lämpöakku voi toimia tehoreservinä tuotantovauriotapauksissa, nostaa perustuotantolaitosten käyttöastetta, pienentää esimerkiksi varalla toimivien öljykattiloiden tarvetta sekä toimia vesireservinä verkoston vuototapauksissa. (20, s. 383–386.)

7.1 Lämpöakun rakennevaihtoehdot

Rakennevaihtoehtoihin vaikuttaa suuresti, varaudutaanko sillä pitkä- vai lyhytaikaisvarastointiin. Pitkäaikaisvarastointi tarkoittaa useita kuukausia ja lyhytvarastointi tunteja tai päiviä. Rakennevaihtoehtoihin vaikuttavat myös säiliön lämpötekniset ominaisuudet ja veden käyttäytyminen eri lämpötiloissa.

Suomessa rakennetut maanpäälliset lämpöakut on valmistettu teräksestä. Terässäiliö on pystyssä oleva eristetty lieriönmuotoinen säiliö, joka voidaan sijoittaa myös osittain tai kokonaan maan alle. Suuret terässäiliöt ovat usein paineettomia kustannussyistä, joten veden lämpötila ei voi ylittää 100 °C:ta. Säiliön yläosa täytetään höyryllä, jotta happi ei pääse tekemisiin kaukolämpöveden kanssa. Lämpötilamuutosten takia veden pinnankorkeus voi vaihdella useita kymmeniä senttejä, joten säiliöön tulee asettaa myös alipainesuoja. Säiliö voidaan rakentaa myös betonista. (20, s. 386, 389)

Kalliosäiliövarasto on maanalainen ja eristämätön. Kalliosäiliöiden rakentamisesta on paljon kokemusta öljyvarastoiden rakentamisen vuoksi. Kalliolämpövarastoissa on otettava huomioon kallion

laatu ja kestävyys lämpötilanvaihteluita vastaan sekä tiiviys. Kallioakun minimikokona pidetään 50 000 m³:ä, koska louhintakustannukset ovat suuret. Lämpöhäviöt ovat suuret ensimmäisinä vuosina, koska varasto on eristämätön. Stationääristila saavutetaan noin neljässä-viidessä vuodessa, jolloin lämpöhäviöt pienenevät merkittävästi. (20, s. 387.)

Kaivantovarasto on maahan kaivettu katettu säiliö. Kaivantovaraston muoto on yleensä katkaistun kartion muotoinen. Pohja ja sivukartiot lämpöeristetään ja tiivistetään vedenpitäviksi. Katto eristetään, ja varasto rakennetaan yleensä paineettomaksi. (20, s. 239.)

7.2 Varastoitava hukkalämpö

Imatran vesivoimalaitoksen hukkalämmön tehoksi on ilmoitettu 1000 kW, mikä on huomattavasti yli alueen tarvitseman tehontarpeen. Etenkin kesäaikaan alueen perustehontarve on vain noin 200 kW, eli hukkalämpöä olisi perusteltua varastoida. Lämpöakkua suunniteltaessa on kuitenkin tarkasti pohdittava, milloin akkua ladataan ja etenkin, kuinka pitkäaikaisesti lämpöä on tarkoitus varastoida. Lataustakin tärkeämpää on ehkä Imatran Voiman alueella miettiä, milloin ja mihin järjestelmään akku purettaisiin. Hukkalämpöä syntyy lähes riittävä määrä kattamaan alueen tarvitsema teho vuoden kaikkina aikoina, joten akku tulisi mahdollisesti tyhjentää jonnekin muualle kuin alueen verkostoon. On siis huomioitava, mikäli kaikki ylimääräinen hukkalämpö halutaan ottaa talteen, ettei Imatran Voiman alue pysty sitä hyödyntämään.

Hukkalämpöä syntyy vuodessa noin 8760 MWh, mikäli hukkalämpöä syntyy vuoden jokaisena tunnina 1 MW ja alueen lämpötehontarve vuoden aikana on 4300 MWh. Erotuksena on siis ylimääräinen hukkalämpö, joka on 4450 MWh. Laskelma on kuitenkin vain suuntaa antava, sillä hukkalämmön tuotanto varmasti vaihtelee vuoden aikana, siinä voi olla keskeytyksiä ja osa siitä voidaan hyödyntää vesivoimalaitoksella. Alueen lämpötehontarve on myös laskettu arviona.

7.3 Lämpöakku Imatran Voiman alueelle

Lämpöakun mitoituksessa huomioidaan ensisijaisesti se, millaiseen lämmitysjärjestelmään se liitetään, sillä akun varauskapasiteetti ja purkausteho määritetään lämmitysjärjestelmän tarpeen mu-

kaisesti. Suomeen on rakennettu noin 20 lämpöakkuja, joten mitoitusta voitaisiin arvioida myös niiden perusteella. Taulukossa 3 on näistä isoimpia kapasiteetin mukaan järjestettyinä, sekä muutama pienempi vertailun vuoksi.

TAULUKKO 3. Suomeen rakennettuja kaukolämpövarastoja (20, s. 20)

Suomen kaukolämpövarastot	Tilavuus (m ³)	Kapasiteetti (MWh)	Teho (MW)	Käyttöönotto-vuosi
Helen Oy, Mustikkamaa (luola)	260 000	11 600	120	2021
Oulun Energia Oy, (kallio)	190 000	10 000	80	1996
Vaasan Sähkö Oy, Vaasa (luola)	210 000	7000–9000	100	2020
Helen Oy, Vuosaari	26 000	1400	130	1997
Helen Oy, Salmisaari	2x10 000	1000	130	1987
Vantaan Energia Oy, Martinlaakso	20 000	900	50	1990
Fortum Power and Heat Oy, Espoo	20 000	800	70	2015
Oulun Energia Oy	15 000	800	80	1985
Porvoon Energia, Porvoo	10 000	414	35	2021

Taulukon perusteella voidaan arvioida, että jos kaikki ylimääräinen 4450 MWh hukkalämpöä halutaan varastoida, akun tulisi olla suuri. Järkevin vaihtoehto näin ollen olisi kallio- tai luolavarasto. Taulukon perusteella Imatran Voiman alueelle sijoitettavan lämpöakun koko voisi olla noin 100 000 m³. Lämpöakkuja ei edes voitaisi toteuttaa maanpäällisenä säiliönä vesivoimalaitoksen alueelle, sillä alue on suojeltu.

Mikäli lämpöakku suunniteltaisiin ainoastaan palvelemaan Imatran Voiman aluetta ja kattamaan erityisesti talvella tarvittavat huiput, riittäisi tehoksi 0,3 MW. Talvella tuotetun hukkalämmön ja lämmöntarpeen huipun erotus on noin 0,3 MW. Jos akku on tarkoitus purkaa myös vikatilanteissa tai

vesivoimalaitoksen huoltokatkosten tai muiden takia, tulisi akun purkutehon olla 1,3 MW. Tämä riittäisi kattamaan alueen huipputehontarpeen kokonaan.

Lämpöakku suunniteltaessa on otettava huomioon lämpöhäviöt, sillä varastoitavan veden lämpötila on vain 65 °C. Mikäli se halutaan varastoida, tulisi sen lämpöä korottaa ennen varastointia, jotta siitä olisi vielä hyötyä purettaessa lämpöhäviöidenkin jälkeen. Silloin taas sitä ei välttämättä voida suoraan syöttää alueen verkkoon, vaan väliin tarvittaisiin lämmönsiirrin. Ison kallio- tai luolavaraston rakentaminen ei ehkä ole kustannustehokkainta hukkalämmön matalan lämpötilan takia. Pienempi akku olisi järkevämpi, mutta sekin tulisi rakentaa kauemmas alueelta. Akun rinnalla edelleen ylimääräinen hukkalämpö tulisi esimerkiksi syöttää vielä Imatran kaukolämpöjärjestelmän menopuolelle.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa mahdollisia lämpöenergiantuotantomuotoja Imatran Voiman uudelle asuinalueelle. Asuinalueella on vanhoja kulttuurihistoriallisesti arvokkaita rakennuksia. Työn keskeiseksi lähtökohdaksi otettiin Imatran vesivoimalaitoksella syntyvä hukkalämpö ja sen hyödyntäminen alueen lämmityksessä. Hukkalämpöä ei tällä hetkellä hyödynnetä mihinkään. Alueen lämmitystehontarve kartoitettiin ensin, jotta voitiin arvioida hukkalämmön riittävyttä alueen lämmöntuotannossa.

Työtä varten ei saatu tarkkoja laskelmia, vaan tehontarve on laskettu annettujen mitoitustehojen ja asemakaavasta otettujen rakennuksien asuinpinta-alojen perusteella. Lämmitystehontarpeet ovat siis suuntaa antavia ja ne tulisi laskea tarkemmin ennen energiaratkaisun suunnittelua ja valitsemista. Samoin hukkalämmön määrä on arvio sekä se, miten se oikeasti jakautuu vuoden ajalle.

Hukkalämpö voitaisiin hyödyntää alueen lämmityksessä matalalämpöverkon avulla, jolloin hukkalämmön lämpötilaa ei tarvitsisi erikseen korottaa vaan se voitaisiin käyttää sellaisenaan. Suomessa on jo käytössä ainakin yksi matalalämpöinen kaukolämpöverkko Turun Skanssissa, ja sen perusteella se voitaisiin toteuttaa myös Imatralla. Hukkalämpöä päälämmönlähteenään käyttävä matalalämpöverkko olisi Suomen ensimmäisiä. Tulevaisuudessa voi hyvinkin olla, että lämpöä tuotetaan paljon ilman, että poltetaan mitään. Matalalämpöverkoista on tehty tutkimuksia, ja niiden tuloksina huomattiin, että matalammat lämpötilat tarvitsevat isommat putket. Lämpöhäviöt pienenevät matalalämpöverkossa suhteessa perinteiseen kaukolämpöverkkoon. Matalalämpöverkko sopii hyvin uusille matalaenergiataloille. Alueen vanhoista rakennuksista tullaan purkamaan lattiat ja asentamaan lattialämmitys, joten matalalämpöverkko soveltuisi myös vanhemmille rakennuksille, kun huomioidaan niiden suurempi tehontarve ja tarvittava lattialämmitysputkien määrä. Matalalämpöverkossa lämpötilan ollessa matalampi verrattuna perinteiseen kaukolämpöverkkoon täytyy vesivirtaa kasvattaa, ja sen mahdollistamiseksi täytyy joko kasvattaa pumppaustehoa tai suurentaa putkikokoa. Asiakaslaitteet tulee mitoittaa matalalämpöjärjestelmän lämpötiloilla.

Hukkalämmön määrä ei arvioitujen laskelmien perusteella aivan riitä kattamaan alueen tarvitsemaa huipputehoa, joten varalle tarvitaan jokin toinen lämmitysmuoto. Hukkalämmön ongelmana on myös sen tuotannon epävarmuus. Hukkalämpöä syntyy aina, kun vesivoimalaitoksella tuotetaan sähköä. Hukkalämpöä syntyy määrällisesti enemmän kuin alue tarvitsee.

Matalalämpöverkko voitaisiin liittää Imatran Lämmön kaukolämpöverkkoon. Kaukolämpöverkosta voitaisiin saada alueen tarvitsema huippu- ja varateho. Alueella ei ole vielä rakennettua kaukolämpöverkostoa, mutta se on melko lähellä. Ylimääräinen hukkalämpö voitaisiin syöttää kaukolämpöverkoston paluuveteen. Kaukolämpöverkkoon liittäminen ei vaadi suuria investointeja, sillä matalalämpöverkko voitaisiin liittää kaukolämpöön lämmönsiirtimellä. Mikäli huippu- ja varateho ostettaisiin kaukolämmöstä, tulisi tehdä erillinen sopimus liittymistehosta ja hinnoittelusta. Yksi mahdollisuuksista olisi priimata hukkalämpö korkeampaan lämpötilaan ja syöttää suoraan kaukolämmön menopuolelle.

Aluelämpölaitos voisi toimia matalalämpöverkon rinnalla varmistamassa alueen riittävän tehontarpeen, ja se voitaisiin mitoittaa kattamaan koko alueen tarvitsema teho, mikäli vesivoimalaitokselta ei saataisi yhtään hukkalämpöä. Aluelämpölaitos voitaisiin liittää Imatran kaukolämpöverkkoon. Ongelmana on kuitenkin se, että Imatran kaukolämpöverkosto on jaettu kolmeen eri verkostoon, joten alueellisen lämpölaitoksen hyöty verkostolle ei olisi niin suuri. Aluelämpölaitoksella voitaisiin korvata varalaitoksina toimivia maakaasulaitoksia.

Hukkalämpöä syntyy enemmän kuin alue pystyy sitä hyödyntämään, joten hukkalämpöä voitaisiin myös varastoida. Jos kaikki hukkalämpö haluttaisiin varastoida, jouduttaisiin rakentamaan luolaitai kalliovarasto. Ongelmana on kuitenkin hukkalämmön matala lämpötila, kun mietitään lämpöhäviöitä ja sitä, mihin varastoitu hukkalämpö käytettäisiin. Lämpöakku tulisi hyödyntää jonnekin muualle kuin alueen verkkoon. Mikäli alueelle suunniteltaisiin pienempi akku, tulisi se sijoittaa kauemaksi, koska vesivoimalaitoksen alue on suojeltu. Ylimääräinen hukkalämpö tulisi kuitenkin edelleen kuluttaa jotenkin.

LÄHTEET

1. Nysted, Åsa, Sepponen, Mari & Virtanen, Mikko 2012. Ekotaajaman suunnitteluperiaatteet. Hakupäivä: 3.4.2022. <https://cris.vtt.fi/en/publications/ekotaajaman-suunnitteluperiaatteet>.
2. Oy Culmentor Ltd 2022. Hakupäivä 18.3.2022. <https://www.culmentor.com/yritys/>.
3. Hellgren, Jukka & Tirri, Jari 2022. Oy Culmentor Oy. Opinnäytetyökeskustelut 2022.
4. Fortum Corporation 2018. Valokuva. Artikkelissa Mirjam Tahkokorpi 2018. Yle uutiset: Taime-
net katosivat Imatran Voimapurosta -Fortum selvittää, ovatko syynä voimalaitoksen padon ti-
vistystyöt. Hakupäivä 21.3.2022. <https://yle.fi/uutiset/3-10389397>.
5. Museovirasto 2009. Imatran Voiman ja Kuparin asuinalueet. Hakupäivä 27.1.2022.
http://www.rky.fi/read/asp/r_kohde_det.aspx?KOHDE_ID=1936.
6. Ahlava, Antti, Harjula, Lotta, Kallio, Suvi, Murole, Matias & Vinay, Robin 2019. Rakennushisto-
riaselvitys, Aarne Ervin asuntoalue, Imatrankoski. Helsinki Zurich Office Oy. Hakupäivä
21.3.2022. <https://dtunlom52ggmx.cloudfront.net › files › files>.
7. Museovirasto 2022. Valtakunnallisesti merkittävät rakennetut kulttuuriympäristöt. Hakupäivä:
27.1.2022. [https://www.museovirasto.fi/fi/kulttuuriymparisto/rakennettu-kulttuuriymparisto/val-
takunnallisesti-merkittavat-rakennetut-kulttuuriymparistot](https://www.museovirasto.fi/fi/kulttuuriymparisto/rakennettu-kulttuuriymparisto/val-
takunnallisesti-merkittavat-rakennetut-kulttuuriymparistot).
8. Fortum 2022. Vuoksen vesistö. Hakupäivä 1.2.2022. [https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yh-
tiomme/energiantuotantomme/voimalaitoksemme/vesivoimalaitokset/vuoksen-vesisto](https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yh-
tiomme/energiantuotantomme/voimalaitoksemme/vesivoimalaitokset/vuoksen-vesisto).
9. Fortum 2022. Avoin kaukolämpö. Mitä on hukkalämpö. Hakupäivä 8.2.2022. [https://www.for-
tum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/avoin-kaukolampo?vtab=ac-
cordion-item-41856](https://www.for-
tum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/avoin-kaukolampo?vtab=ac-
cordion-item-41856).
10. Energiateollisuus 2022. Energiavuosi 2021 kaukolämpö. Hakupäivä 15.3.2022. [https://ener-
gia.fi/uutishuone/materiaalipankki/energiavuosi_2021_-_kaukolampo.html#material-view](https://ener-
gia.fi/uutishuone/materiaalipankki/energiavuosi_2021_-_kaukolampo.html#material-view).
11. Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2021. Hakupäivä: 25.3.2022.
[https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/rakennusten_kaukolammitys_maarayk-
set_ja_ohjeet._julkaisu_k1_2021.html](https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/rakennusten_kaukolammitys_maarayk-
set_ja_ohjeet._julkaisu_k1_2021.html).
12. Energiaviisaat kaupungit 2020. Energijärjestelmän ratkaisuvaihtoehtojen toteuttavuuden ar-
viointi. Hakupäivä 16.3.2022. [https://energiaviisaat.fi/energiajarjestelman-ratkaisuvaihtoehto-
jen-toteutettavuuden-arviointi/](https://energiaviisaat.fi/energiajarjestelman-ratkaisuvaihtoehto-
jen-toteutettavuuden-arviointi/).
13. Lund, Henrik, Werner, Sven, Wiltshire, Robin, Svendsen, Svend, Thorsen, Jan Erik, Hvelplund,
Frede & Vad Mathiesen, Brian 2014. 4th Generation District Heating (4GHD). Integrating smart

- thermal grids into future sustainable energy systems. Energy. Vol. 68. Hakupäivä: 16.3.2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544214002369?via%3Dihub>.
14. Mäkelä, Veli-Matti 2022. Yliopettaja Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyökeskustelut 2022.
 15. Rauha, Maija & Soininen, Mikael 2021. Ensimmäisenä Suomessa! Kaksisuuntainen matalalämpöverkko lämmitää taloja Skanssissa. Hakupäivä 17.3.2022. <https://www.turkuenergia.fi/valopilku/lammitys-ja-jaahdytys/ensimmaisena-suomessakaksisuuntainen-matalalampoverkko-lamittaa-taloja-skanssissa/>.
 16. Karppinen, Pekka 2020. Energiayhteisöjen esiinmarssi. Hakupäivä 17.3.2022. <https://www.ke-ravanenergia.fi/blog/artikkeli/energiayhteisöjen-esiinmarssi/>.
 17. Fluidit 2018. Hiedanranta: kaukolämmön jakeluverkoston vaihtoehtotarkasteluita. Tampereen kaupunki. Hakupäivä: 22.3.2022. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjz3uOotn2AhVJAIAIHQAQAvDT4QFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Fenergia-viisaat.fi%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F12%2FFluidit-Hiedanranta-matalaenergiaselvitys-2020.pdf&usq=AOvVaw2nm8YoaXFJ8MFkYKbLW_hM.
 18. Imatran kaupunki 2022. Vähähiilinen Imatra, Imatran Ilmasto-ohjelma 2020–2030. Hakupäivä: 7.4.2022. <https://www.imatra.fi/ilmasto-ohjelma-m%C3%A4%C3%A4rittelee-tavoitteet>.
 19. Motiva 2021. Energian loppukäyttö. Hakupäivä: 3.4.2022. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/energian_loppukaytto.
 20. Koskelainen, Lasse, Saarela, Rauli & Sipilä, Kari 2006. Kaukolämmön käsikirja. Energiateollisuus. Helsinki: Libris Oy.
 21. Pesola, Aki, Bröckl, Marika & Vanhanen, Juha 2011. Älykäs kaukolämpöjärjestelmä ja sen mahdollisuudet loppuraportti. Hakupäivä 4.4.2022. <https://docplayer.fi/2848107-Alykas-kaukolampojarjestelma-ja-sen-mahdollisuudet.html>.
 22. Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista. Hakupäivä 17.3.2022. <https://ym.fi/-/rakennusten-vesi-ja-viemarilaitteistoja-koskevat-maaraykset-uuteen-asetukseen>.
 23. Danfoss 2022. Legionella-kontaminaation riskin pienentäminen kotitalouden lämminkäyttövesijärjestelmissä. Hakupäivä 17.3.2022. <https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/our-businesses/heating/knowledge-center/knowledge-articles/how-to-reduce-the-risk-of-legionella-contamination-in-domestic-hot-water-systems/>.
 24. Energiateollisuus ry 2022. Kaukolämpö. Hakupäivä 1.2.2022. <https://kaukolampo.fi/>.

25. Imatran kaupunki 2022. Kaukolämpöä hiilineutraalisti! Hakupäivä 1.2.2022. <https://www.imatra.fi/hiilineutraalilämpö>.
26. Imatran Lämpö Oy 2022. Vuosikertomus 2020. Hakupäivä 10.4.2022. <https://read.epaper.fi/6686/sU9cP9Cz>.
27. Imatran Lämpö Oy 2022. Kaukolämpö. Hakupäivä 15.4.2022. <https://www.imatranlampo.fi/kaukolampo/>.