

Petra Sulkama

ALUELÄMPÖVERKOSTOJEN YHDISTÄMINEN - KUSTANNUSTARKASTELU

Opinnäytetyö
Energia- ja ympäristötekniikka

2019



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Petra Sulkama	Insinööri (AMK)	Kesäkuu 2019
Opinnäytetyön nimi		
Aluelämpöverkoston yhdistäminen - kustannustarkastelu		43 sivua 3 liitesivua
Toimeksiantaja		
Lappeenrannan Energiaverkot Oy		
Ohjaajat		
Tuomo Pimiä, Ami Kylliäinen, Eero Toivola		
Tiivistelmä		
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella kahden Lappeenrannan Energiaverkot Oy:n aluelämpöverkoston yhdistämisestä aiheutuvia kustannusvaikutuksia. Työssä selvitettiin mahdollisuuksia muuttaa Vipelentien aluelämpöverkoston putkisto muoviputkistosta teräsputkistoksi ja samalla yhdistää lämpöverkosto lähellä sijaitsevaan Rauhan aluelämpöverkoston. Aihetta haluttiin tarkastella, koska matalalämpöperiaatteella toimiva Vipelen lämpöverkosto ei toiminut ongelmitta. Haasteena oli muoviputkiston lävitse pääsevän hapen aiheuttama korrosio putkiston metalliosille. Lisäksi ajoittain huippukulutusaikoina veden lämpötila oli matalalämpöverkoston liian alhainen, jotta lämpöenergiaa olisi siirtynyt kulkukohteisiin riittävästi. Lämpöverkoston yhdistäminen ja Vipelen lämpöverkoston uudistaminen muoviputkesta teräsputkeksi toisi ongelmiin ratkaisuja ja samalla pystyttäisiin jakamaan Vipelentien aluelämpökeskuksen laitteistolla lämpöenergiaa laajemmalle alueelle.</p> <p>Opinnäytetyön tutkimusongelmat olivat seuraavat: Mikä olisi kustannus Vipelen matalalämpöverkon uudistamiselle muoviputkesta teräsputkeksi ja liittämiseksi Rauhan alueen kaukolämpöverkoston? Millainen olisi kustannusvaikutus, kun aikaisemmin maakaasulla tuotettua lämpöenergiaa korvataan maalämpöpumpuilla tuotetulla lämpöenergialla?</p> <p>Tutkimusongelmia lähestyttiin perehtymällä kaukolämmityksen perusteisiin, kaukolämpöjärjestelmissä käytettävien muoviputkistojen käyttäytymiseen ja selvittämällä Vipelentien ja Rauhan aluelämpölaitoksien energiankulutukset ja -kustannukset. Tutkimustietoa etsittiin alan kirjallisuudesta, opinnäytetyön toimeksiantajalta ja yhteistyökumppaneilta. Saatujen tietojen perusteella laskettiin mahdollisesti saatavat vuosittaiset säästöt korvattaessa Rauhan aluelämpölaitoksessa tuotettua lämpöenergiaa Vipelen aluelämpölaitoksen tuottamalla lämpöenergialla. Verkostomuutoksesta tehtiin osaluettelo ja laskettiin mahdollinen investointikustannus. Investoinnin kannattavuutta tarkasteltiin nykyarvomenetelmän ja takaisinmaksuaika-menetelmän avulla.</p> <p>Tarkastelu osoitti, että lämpöpumppu- ja aurinkoenergiajärjestelmällä olisi järkevää tuottaa lämpöenergiaa mahdollisimman paljon. Suurimmat säästöt tulivat kuitenkin kaasukondenssikattilan paremmasta hyötysuhteesta ja sitä kautta pienemmästä maakaasun kulutuksesta. Investointi voisi olla kannattava kohtuullisella maksuajalla varsinkin kaasukondenssikattiloiden lämpöenergian tuotantomäärää nostettaessa.</p>		
Asiasanat		
kaukolämmitys, lämmöntuotanto, lämpökeskukset		

Author (authors)	Degree	Time
Petra Sulkama	Bachelor of Engineering	June 2019
Thesis title		43 pages
Combination of district heating networks Cost review		3 pages of appendices
Commissioned by		
Lappeenrannan Energiaverkot Oy		
Supervisors		
Tuomo Pimiä, Ami Kylliäinen, Eero Toivola		
Abstract		
<p>The objective of the theses was to analyze the cost effects of the combination of two district heating networks at Rauha, Lappeenranta. The thesis explored possibilities to transform the piping of Vipele low temperature district heating network from plastic piping to steel piping and the same time connect the heating network to the nearby Rauha district heating network. The review was necessary because of the problems of Vipele low temperature district heating network. The plastic piping of the heating network was diffused by oxygen causing corrosion to the steel parts of the piping. In addition, occasionally at peak consumption times the water temperature of the low temperature heating network was so low that there was not enough thermal energy for all properties in the area. The capacity of the Vipele district heating plant would be enough, but the plastic network does not withstand the required water temperature.</p>		
<p>The study was started by studying the basics of district heating, the behavior of district heating plastic piping and exploring the energy consumption and energy costs of Vipele and Rauha district heating plants. Research information was sought in the literature, from the commissioner of the thesis and partners. On the basis of the information received, the potential annual savings were calculated when replacing thermal energy produced by the Rauha district heating plant with thermal energy produced by the Vipele district heating plant. A list of the parts of the heating network change was made and the possible investment cost calculated. The profitability of the investment was examined using the present value method and the payback method.</p>		
<p>The examination discovered that thermal energy production with existing heat pump and solar energy system is an advantageous option. However, the major savings were achieved with the efficiency of Vipele district heating plants gas condensing boiler and the small amount of consumed natural gas. The investment of changing Vipele low temperature district heating network from plastic piping to steel piping and connecting to Rauha district heating network would be profitable with a reasonable payment period especially when increasing the heat output of gas condensing boilers.</p>		
Keywords		
district heating, district heating plant, thermal energy production		

SISÄLLYS

TAULUKKOLUETTELO

1	JOHDANTO	7
1.1	Työn tausta ja tavoitteet.....	7
1.2	Lappeenrannan Energiaverkot Oy	7
1.3	Tutkimuskysymykset.....	8
1.4	Tutkimustapa	8
2	KAUKOLÄMMITYS.....	9
2.1	Kaukolämmitys Suomessa	10
2.2	Kaukolämmön tuotantotavat	10
2.3	Kaukolämmön tuotanto energialähteittäin.....	12
2.4	Kaukolämmön jakelu	14
2.5	Kaukolämpöverkoston suunnittelu	18
3	VIPELEN JA RAUHAN ALUELÄMPÖRATKAISUT	20
3.1	Vipelen matalalämpöverkoston taustaa	20
3.2	Vipelen matalalämpöjärjestelmän kuvaus.....	21
3.3	Vipelen matalalämpöverkoston haasteet	24
3.4	Rauhan aluelämpöjärjestelmän kuvaus	26
4	LASKELMAT	27
4.1	Rauhan aluelämpökeskuksen tuotannon normitus	27
4.2	Rauhan aluelämpökeskuksen energiakustannustarkastelu	30
4.3	Vipelentien aluelämpökeskuksen lämpöenergian tuotannon normittaminen	30
4.4	Vipelentien aluelämpökeskuksen energian kulutus- ja kustannustarkastelu.....	31
4.4.1	Sähköenergian kulutusjakauma.....	31
4.4.2	Lämpöpumpuilla ja aurinkoenergialla tuotetun lämpöenergian kustannukset	33
4.4.3	Kaasukondenssikattiloilla tuotetun lämpöenergian kustannukset	34
4.5	Vipelen verkoston muutos teräsputkeksi ja yhdistäminen Rauhan verkostoon.....	35
4.5.1	Verkostomuutoksen kustannukset	35

4.5.2	Verkostomuutoksen säästöt.....	35
4.5.3	Verkostomuutoksen kannattavuuden tarkastelu	36
5	TULOKSET.....	38
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	39
7	POHDINTA.....	41
	LÄHTEET.....	42
	LIITTEET	

Liite 1. Vipelen matalalämpöverkosto -kartta

Liite 2. Rauhan alueen kaukolämpöverkosto -kartta

Liite 3. Osaluettelo ja laskelma kustannuksista (salainen)

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Kaukolämmön kiertoveden ohjearvosuositukset (Energiateollisuus ry 2007) .	26
Taulukko 2. Rauhan aluelämpölaitoksen tuotantotietoja vuosilta 2016 – 2018 (Kylliäinen 2019).....	27
Taulukko 3. Lämmitystarveluvut Lappeenrannan alueelta 2016 – 2018 ja normaali (Ilmatieteen laitos 2019).....	28
Taulukko 4. Rauhan aluelämpölaitoksen 2016–2018 tuottamat energiamäärät normeerattuina.....	29
Taulukko 5. Vipelen aluelämpölaitoksen tuotantotietoja vuosilta 2016–2018 (Kylliäinen 2019).....	31
Taulukko 6. Vipelen aluelämpölaitoksen 2016–2018 tuottamat energiamäärät normeerattuina.....	31
Taulukko 7. Vipelen aluelämpölaitoksen sähkön kulutusjakauma vuonna 2018.....	32
Taulukko 8. Lämpöpumpuilla ja aurinkoenergiajärjestelmällä tuotetun lämpöenergian kustannukset.....	34
Taulukko 9. Laskelma energiantuotantokulujen säästöistä.....	36
Taulukko 10. Investoinnin kannattavuus nykyarvomenetelmällä	37
Taulukko 11. Takaisinmaksuajan menetelmä	38

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella Lappeenrannan Energiaverkot Oy:n Vipelen matalalämpöverkoston toiminnan muuntamista yhdeksi kokonaisuudeksi yhdessä Rauhan alueen kaukolämpöverkoston kanssa. Työn tavoitteena on saada kuvaus verkostojen yhteen liittämisen kustannusvaikutuksista.

Vipelen kaukolämpöverkosto on toteutettu muovisella virtausputkella, joka toimii matalalämpöverkoston periaatteella. Matalalämpöverkoston toiminnassa on ollut ongelmia veden laadussa ja kulutushuippuaikoina kiinteistöjen lämpöenergian riittävydessä. Vipelentien aluelämpökeskuksen tuotantoteho olisi alueelle riittävä, mutta haasteena on ollut se, ettei putkisto kestä korkeampaa kaukolämpöveden lämpötilaa.

Koska Vipelen alueen rakennuskanta ei ole kehittynyt alustavan suunnitelman mukaisesti, riittäisi lämpökeskuksen tuotanto myös kattamaan laajemman alueen kaukolämpötarpeen. Vipelen läheisyydessä Rauhan alueella sijaitsee kaukolämpöverkosto, johon Vipelen matalalämpöverkosto on mahdollista liittää. Liittämisen etuna olisi, että uusiutuvalla energialla tuotettu kaukolämpö pystyttäisiin jakamaan useammille kiinteistöille ja samalla osittain korvattaisiin fossiilisella polttoaineella toimivan Rauhan aluelämpökeskuksen tuottamaa lämpöenergiaa. Lisäksi Vipelen aluelämpökeskuksen kaasukondenssikattiloilla voidaan energiaa tuottaa kustannustehokkaasti.

Tässä työssä tarkastellaan liittämisen kustannusvaikutuksia energiantuotannon näkökulmasta, sekä selvitetään kustannuksia muovisen virtausputkiston uusimiselle teräsputkistoksi. Investoinnin kannattavuutta tarkasteltaessa menetelminä käytetään nykyarvomenetelmää ja takaisinmaksuajan menetelmää.

1.2 Lappeenrannan Energiaverkot Oy

Työn toimeksiantaja, Lappeenrannan Energiaverkot Oy on Lappeenrannan alueella toimivan Lappeenrannan Energia Oy:n tytäryhtiö. Lappeenrannan Energiaverkot Oy huolehtii sähkö- ja lämpöenergian, sekä veden siirtämisestä

asiakkailleen, sekä kehittää ja ylläpitää energia- ja vesiverkkoja. (Lappeenrannan Energia 2019.) Yhtiö on perustettu vuonna 2006, jolloin sähkön, kaukolämmön ja maakaasun jakeluverkostot siirrettiin yhtiön alaisuuteen. Vuonna 2011 Lappeenrannan Veden ja Energian fuusion myötä siirtyi yhtiöön lisäksi vielä vesihuollon verkostot ja laitteistot. (Lappeenrannan Energiaverkot 2018.)

Vuoden 2017 lopulla Lappeenrannan Energiaverkot Oy:n kaukolämpöverkon kokonaispituus oli 360 km, kaukolämmön asiakkaiden määrä 5 117 ja kaukolämmön siirron liikevaihto 12,6 miljoonaa euroa (Lappeenrannan Energia Oy 2018).

1.3 Tutkimuskysymykset

Opinnäytetyön toimeksiantaja Lappeenrannan Energiaverkot Oy halusi selvittää, mitkä olisivat kustannusvaikutukset, jos hybridiratkaisulla toteutetun kaukolämpöverkoston muuttaisi muoviputkista teräsputkiksi ja samalla liittäisi verkoston maakaasulla kaukolämpöä tuottavaan verkostoon Rauhan alueella.

Tutkimuskysymykseksi muodostuivat seuraavat kysymykset:

Mikä olisi kustannus Vipelen matalalämpöverkon uudistamiselle muoviputkesta teräsputkeksi ja liittämiseksi Rauhan alueen kaukolämpöverkoston?

Millainen olisi kustannusvaikutus, kun aikaisemmin maakaasulla tuotettua lämpöenergiaa korvataan maalämpöpumpuilla tuotetulla lämpöenergialla?

1.4 Tutkimustapa

Hirsjärven ym. (1997, 138) mukaan tutkimus voi olla kartoittava, selittävä, kuvaileva tai ennustava. Tutkimukseen voi sisältyä useita tarkoituksia ja tarkoitus voi myös muuttua tutkimuksen edetessä. Tutkimuksen tarkoituksen ollessa kartoittava, on tutkimusstrategia usein kvalitatiivinen. Tällöin kyseessä voi olla esimerkiksi kenttätutkimus tai tapaustutkimus.

Tässä opinnäytetyössä tutkimusongelmaa käsitellään tapaus- eli case-tutkimuksen keinoin. Case-tutkimus on kokonaisvaltainen tutkimus, jossa tutkittavaa tapausta lähestytään käyttämällä monia eri tietolähteitä. Case-tutkimus on

menetelmällisesti kvalitatiivinen, eli laadullinen tutkimus, mutta siinä voidaan hyödyntää myös kvantitatiivisen, eli määrällisen tutkimuksen tiedonkeruumenetelmiä. Saadut tutkimustulokset pätevät vain kyseisen tapauksen osalta, eikä tuloksia voida yleistää. (Kananen 2013, 28.)

Kanasen (2013, 31) mukaan case-tutkimuksessa on kohteena rajattu kohde, eli case, jonka tutkimusaineisto kerätään käyttämällä useita eri tiedonkeruumenetelmiä, kuten esimerkiksi havainnointia, teemahaastattelua, kirjallisia lähteitä, raportteja ja muistioita. Eri tutkimustavoilla on omat tyypilliset piirteensä. Kananen (2013, 54) esittää case-tutkimuksen vaatimukset seuraavasti:

- Ilmiön on oltava tässä hetkessä.
- Tutkimus tulee toteuttaa omassa luonnollisessa ympäristössään.
- Tutkimusaineisto koostetaan monista aineistoista ja monilla eri menetelmillä.
- Ilmiöstä halutaan syvälinen kuvaus.
- Yleensä yksi tutkimuskohde (voi myös olla useita)

Työn teoriaosassa käydään läpi kaukolämmitykseen liittyviä peruskäsitteitä ja kaukolämmityksen tilaa Suomessa. Työssä ei käsitellä kaukojäähdytystä, eikä kaukolämmön ratkaisuja ulkomailla. Työn teoriaosion lähteinä on käytetty Energiateollisuus ry:n esitystä kaukolämmityksen nykytilanteesta (Energiateollisuus ry. 2019) ja suositusta L11/2013 kaukolämpöjohtojen suunnittelusta ja rakennuksesta (Energiateollisuus ry. 2013), sekä Kaukolämmön käsikirjaa (Koskelainen ym. 2006) ja Mäkelän ja Tuunasen (2015) oppimateriaaliksi luomaa teosta Suomalainen kaukolämmitys.

Tutkimukseen tiiviisti liittyvää aineistoa on kerätty Lappeenrannan Energia-verkkojen henkilökunnalta ja yhteistyökumppaneilta puhelimitse, sähköpostitse, sekä kirjallisin tiedonannoin. Opinnäytetyön toteutus ajoittuu keväälle 2019.

2 KAUKOLÄMMITYS

Tässä luvussa käydään läpi kaukolämmityksen tilannetta Suomessa, kaukolämmön tuotantoa, jakelua, sekä kaukolämpöverkoston suunnittelua.

2.1 Kaukolämmitys Suomessa

Kaukolämmitys on lämmön keskitettyä tuotantoa ja julkista jakelua kaukolämpörytyn asiakkaiden kiinteistöille. Rakennusten ja käyttöveden lämmittämiseen tarvittava lämpö tuotetaan yhdessä tai useammassa kohteessa ja jaetaan lämpöverkon kautta asiakkaille. Lämmön siirtoaineena on vesi tai höyry. (Koskelainen ym. 2006, 25.)

Suomessa rakennettiin ensimmäinen koko asuinalueen kattava kaukolämmitysjärjestelmä vuonna 1940 valmistuneeseen olympiakylään. Vuonna 1952 aloitettiin Helsingissä kaupunkialueella kaukolämmittäminen (Mäkelä & Tuunanen 2015, 12). Koko kaukolämmön ajatus lähti siitä, kun huomattiin teollisuuden sähköntuotannossa syntyvän lauhdelämmön menevän hukkaan. Lauhdelämpöä haluttiin käyttää asuntojen lämmittämiseen. Suomessa kaukolämpöä on alusta lähtien ajateltu tuotettavan sähkön ja lämmön yhteistuotantona. (Koskelainen ym. 2006, 34.)

Kaukolämmön markkinaosuus Suomessa asuin- ja palvelurakennusten lämmitysmuotona on 46 %. Kaukolämpö on myös suosituin lämmitysmuoto uudisrakentamisessa. (Energiateollisuus ry 2019.) Vuonna 2018 kaukolämpöä käytettiin Suomessa 33,7 TWh ja lämpötilakorjattuna lukema oli 35,5 TWh. Lämpötilakorjattu kaukolämmön käyttö kasvoi edellisvuoteen verrattuna 0,3 %. Vertailun vuoksi esitettynä vuoden 1970 lämpötilakorjattu kaukolämmön käyttöluukema oli noin 5 TWh. Talviaikana kaukolämpöä kulutetaan yli viisi kertaa enemmän, kuin kesäaikana. Talven kovasta kulutuspiikistä johtuen, talvella tarvitaan erilaisia lämmön tuotantomuotoja. (Energiateollisuus ry 2019.)

2.2 Kaukolämmön tuotantotavat

Kaukolämpöä voidaan tuottaa useilla eri tuotantotavoilla. Tästä johtuen kaukolämmön voidaan sanoa olevan hyvin joustava lämmitysjärjestelmä. Kaukolämpöä tuotetaan suurissa sähkön ja lämmön yhteistuotantoon (CHP, Combined Heat and Power) suunnitelluissa lämmitysvoimalaitoksissa, pienemmissä lämpökeskuksissa, teollisuuden prosesseista syntyvästä lämmöstä, sekä geotermisestä lämmöstä. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 22.)

CHP-laitokset tuottavat lämpöä ja sähköä samassa prosessissa, jolloin polttoaine käytetään mahdollisimman tehokkaasti. CHP-laitosten tuotanto perustuu höyry- tai kaasuturbiiniprosessiin, tai moottorivoimalaitokseen. Höyryprosessissa höyrykattilan tuottama höyry ohjataan ensin höyryturbiinin läpi tuottamaan sähköä ja sitten kaukolämmön tuotantoon lämmönsiirtimiin. Kaasuturbiiniprosessissa on lämmönsiirrin ottamassa savukaasujen lämmön talteen tai erillinen jätelämpökattila. Jätelämpökattila voi olla myös lisäpolttava höyrykattila, jolloin kaasuturbiinilaitos on yhdistettävissä höyryturbiiniprosessiin. Moottorivoimalaitokset tuottavat sähkön generaattorilla ja kaukolämpöä tuotetaan lämmönsiirtimien välityksellä moottorin jäähdytysvedestä ja savukaasuista. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 24.)

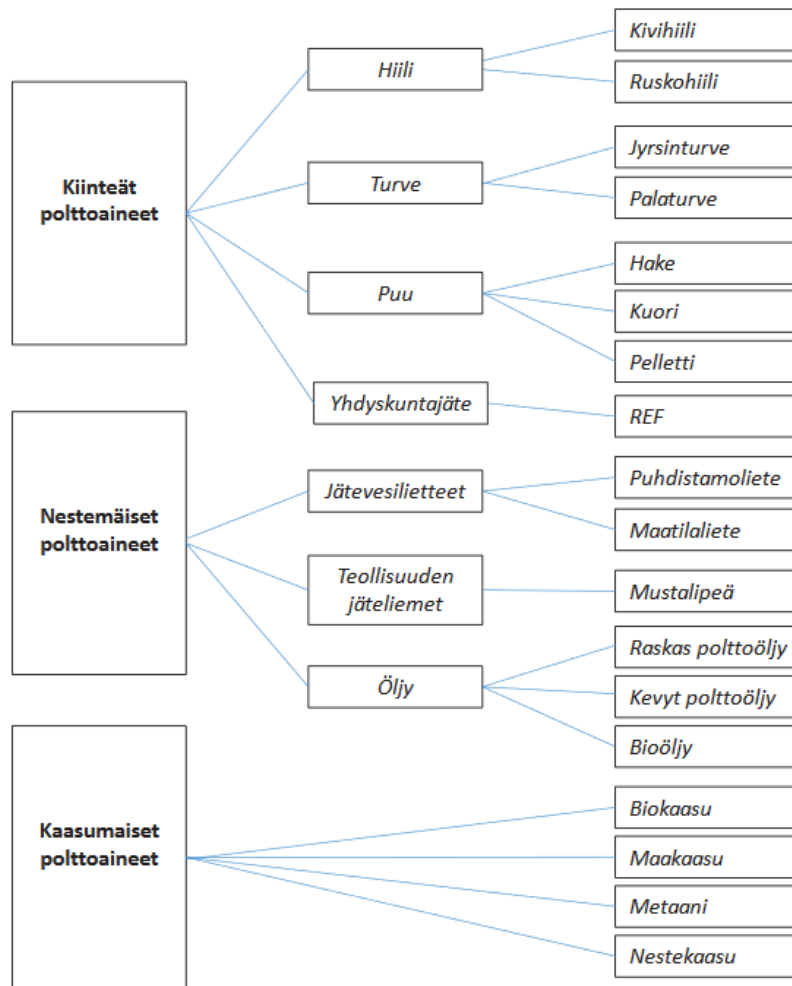
Lämpökeskuksissa ei ole sähkön tuotantoa, vaan ne on suunniteltu pelkästään lämpöä tuottaviksi laitoksiksi (Koskelainen ym. 2006, 282). Lämpökeskukset tuottavat kuumaa vettä kaukolämpöverkkoon asiakkaiden tarpeiden mukaisesti. Lämpökeskuksia on suunniteltu erilaisiin tarpeisiin. Peruskuormalaitokset tuottavat kaukolämpöverkon peruslämpötarpeen, huippulämpökeskukset tuottavat kylmimmän ajankohdan tuotannon huiput ja varalaitokset ovat varalla turvaamassa tuotannon luotettavuutta. Lisäksi on vielä siirrettäviä lämpökeskuksia, joita pystytään siirtämään tarpeen vaatiessa lämmöntuotantoa vaativaan paikkaan. Uudella kaukolämpöalueella usein käytetään siirrettävää lämpökeskusta kaukolämpötoiminnan alkuvaiheessa, ennen kaukolämpöverkoston valmistumista. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 25–26.)

Kaukolämmön tuotanto säädetään vastaamaan kulutusta. Talvikautena kylminä ilmoina kulutus on suurimmillaan. Usein tuotanto perustuukin eri kokoisten lämmöntuotantolaitosten yhdistelmään. Eri tehoisten kaukolämpölaitosten tuotantoa säätelemällä pystytään optimoimaan tuotantokustannukset ja luotettava tuotanto. Kustannusten optimointiin vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa sähkön hinta ja polttoaineiden hintakehitys. Tuotannon toimitusvarmuus vaikuttaa lämmön tuotantolaitosten käyttöön ja käynnistysjärjestykseen. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 22.)

2.3 Kaukolämmön tuotanto energialähteittäin

Kaukolämpöä voidaan tuottaa useilla eri polttoaineilla joko yhdessä tai erikseen. Kuvassa 1 on esitetty kaukolämmön polttoainevaihtoehtoja. Suomessa kaukolämmityksen pääpolttoaineita ovat puu, maakaasu, turve ja kivihiili. Myös teollisuudessa syntyvää prosessilämpöä käytetään kaukolämmön lähteenä. Kaukolämmitys mahdollistaa lähes kaikkien polttoaineiden käytön. Juuri polttoaineiden moninaisuus ja niiden käyttövariaatioiden mahdollisuus onkin yksi kaukolämmityksen merkittävistä eduista. Polttoaineiden valinnat vaikuttavat kustannuksiin ja vaihtelemalla polttoaineita tilanteen mukaan pystytään optimoimaan kustannuksia. Myös päästöihin pystytään vaikuttamaan merkittävästi polttoainevalinnoilla. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 35.)

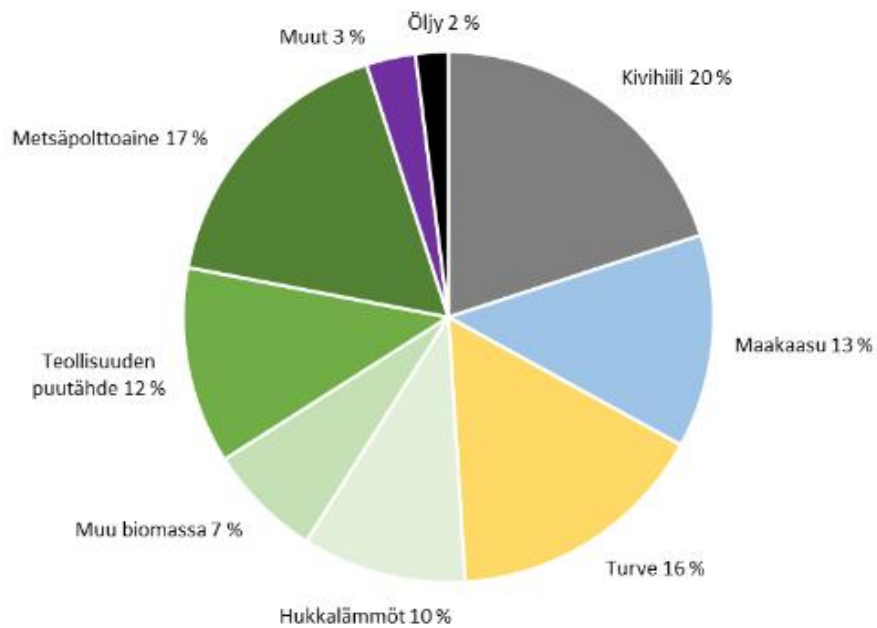
Tuotantolaitoksen sijainti ja sen lämpöteho määräävät pitkälti polttoaineen valinnan. Aikaisemmin polttoaineen valinta tehtiin mahdollisimman alhaisen hinnan perusteella. Nykyisin kiinnitetään paljon enemmän huomiota ympäristön tarpeisiin. Uusiutuvat polttoaineet ovat syrjäyttäneet fossiilisia polttoaineita ja haitallisten päästöjen määrää halutaan pienentää. Suurien kaukolämpölaitosten lämmön- ja sähköntuotanto optimoidaan käyttämään mahdollisimman edullisia, sekä samanaikaisesti mahdollisimman vähän ympäristöä kuormittavia polttoaineita. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 36–37.)



Kuva 1. Kaukolämmön polttoainevaihtoehtoja (Mäkelä & Tuunanen 2015, 36)

Kuvassa 2 on esitelty vuoden 2018 kaukolämmön tuotanto energialähteittäin. Kokonaistuotannosta, joka oli 37,1 TWh vuonna 2018, tuotettiin 35 % fossiililla tuontipolttoaineilla. Näistä oli kivihiihtä 20 %, maakaasua 13 % ja öljyä 2 %. Hiilidioksidineutraaleilla polttoaineilla tuotettiin 46 % kaukolämmöstä, joista oli metsäpolttoaineita 17 %, teollisuuden puutähdettä 12 %, muuta biomassaa 7 % ja hukkalämpöjä 10 %. Hukkalämmöt sisältävät hyödyntämätöntä lämpöenergiaa, kuten esimerkiksi lämmön talteenottoa savukaasuista, jätevesistä, tai kaukojäähdytyksen paluuedestä. Kuvassa 2 näkyvä muut -sarake (3 %) pitää sisällään sekajätteen ei-bio-osuuden, muovijätteet, ongelmajätteet ja sähkön. Vastaavasti muu biomassa -osuus pitää sisällään sekajätteen bio-osuuden. (Energiateollisuus ry. 2019, 5.)

Kaukolämpö energialähteittäin 2018



Kuva 2. Kaukolämmön tuotanto energialähteittäin 2018 (Energiateollisuus ry. 2019)

Biomassojen käyttö kaukolämmön ja myös siihen liittyvän sähkön tuotannossa on kaksinkertaistunut 2010-luvulla. Biomassojen lisääntyvä käyttö korvaa fossiilisten polttoaineiden osuutta kaukolämmön tuotannosta. Myös hukkalämpö voidaan rinnastaa uusiutuvaksi energiaksi. Hukkalämpöjen hyödyntäminen vähentää polttoaineiden käyttöä. Hukkalämpöjä on alettukin talteen ottamaan ja niiden hyödyntäminen on yli kolminkertaistunut 2010-luvulla. Kaukolämpökunnissa 70 % kaukolämmöstä tuotetaan uusiutuvilla polttoaineilla ja/tai hukkalämpöjä hyödyntäen ja 90 % käyttää pääasiassa kotimaisia energianlähteitä. (Energiateollisuus ry. 2019, 6–8.)

2.4 Kaukolämmön jakelu

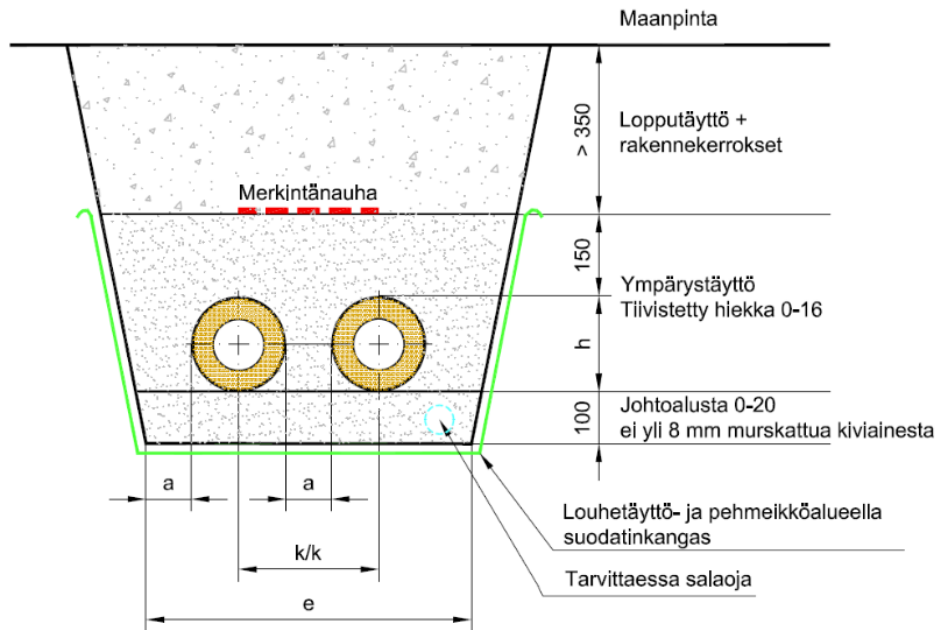
Kaukolämpöverkosto koostuu siirtojohdoista, runkojohdoista ja talojohdoista. Siirtojohdot liittyvät lämmöntuotantolaitokset runkojohtoihin. Myös eri alueiden väliset johdot ovat siirtojohtoja. Runkojohdot jakavat kaukolämpöveden siirtojohdoista talojohdoin. Talojohdot eli liittymisjohdot liittyvät asiakkaan kaukolämpöverkoston. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 51.)

Kaukolämpöenergia siirretään kaksiputkijärjestelmällä, jonka maksimitoimintalämpötila on 120 °C (Koskelainen ym. 2006, 137). Kaukolämpöverkosto mahdollistaa joko yhden tai useamman lämmöntuotantolaitoksen käyttämisen lämmöntuotantoon. Kaukolämpöverkoston rakentaminen vaatii suuria investointeja johtuen suurista putkimääristä ja verkoston rakentamiskustannuksista. Tämän lisäksi kaupunkialueilla tapahtuvat korjaus- ja kunnostustyöt aiheuttavat haittaa liikenteelle ja muulle toiminnalle. Lähtökohtaisesti kaukolämmön jakeluverkoston tuleekin kestää 30–50 vuotta. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 50.)

Kaukolämpöjohtoja on olemassa erilaisista materiaaleista. Johdot ryhmitellään kanavarakenteen mukaisesti. Muovisuojakuorirakenteiset johdot ovat tänä päivänä yleisimmin käytettyjä. Lisäksi on olemassa betonikanavarakenteisia ja muita, kuten asbestielementtisuojaputkellisia ja terässuojaputkellisia rakenteita. Virtausputkia on myös erilaisista materiaaleista. Ne voivat olla muovia, kuparia, tai lasikuitua, mutta nykyisin yleisimmin käytetty materiaali on teräs. (Koskelainen ym. 2006, 137–138.)

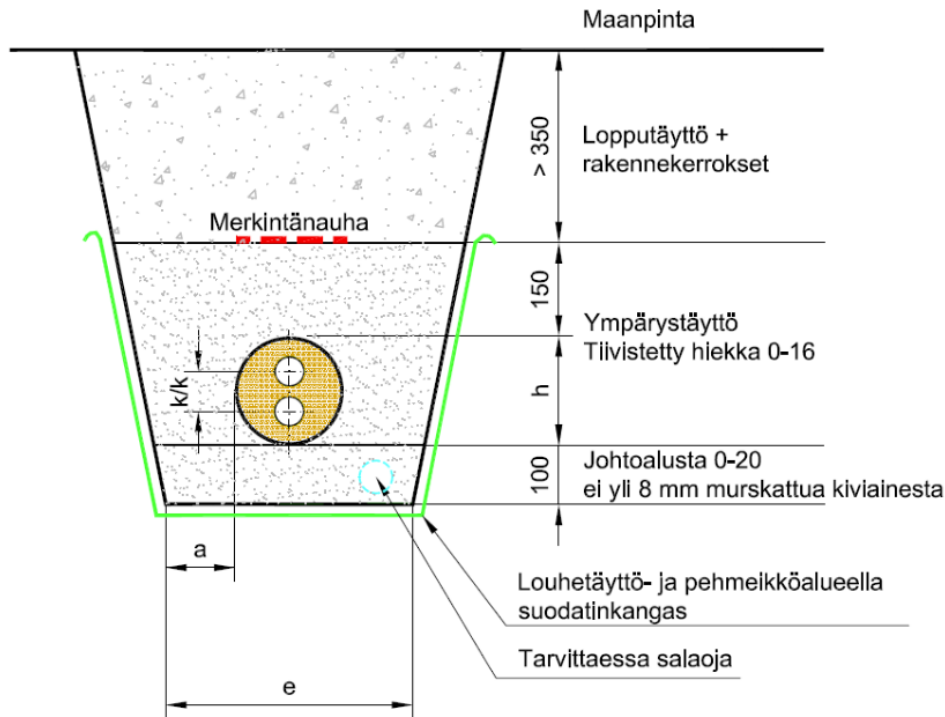
Nykyisin yleisin käytetty johtotyyppi on kiinnivaahdotettu (Mpuk, 2Mpuk) johtotyyppi. Kiinnivaahdotetussa kaukolämpöjohdossa virtausputki ja polyeteeni-suojakuori on liitetty kiinteästi yhteen polyuretaanieristeellä. Johtotyyppi tuli Suomessa käyttöön 1970-luvulla ja kymmenessä vuodessa käytännössä katsoen syrjäytti kaikki muut johtotyypit. Johtojen mitoitus perustuu 1,6 MPa (16 bar) suunnittelupaineeseen ja suurimmillaan 120 °C veden käyttölämpötilaan. (Koskelainen ym. 2006, 137–138.)

Yksiputkijohdossa (2Mpuk) on erilliset meno- ja paluujohdot (kuva 3). Johdoissa on teräksinen virtausputki ja polyeteeninen suojakuori, jotka on liitetty kiinteästi yhteen polyuretaanieristeellä. Yksiputkijohtoa valmistetaan DN 20 – DN 600 kokoluokissa, ja tarvittaessa DN 1200 asti. Putkien pituus riippuu kokoluokasta, ollen 6, 12, 16 tai 18 metriä. (Koskelainen ym. 2006, 139.)



Kuva 3. Yksiputkinen kiinnivaahdotettu johto (Energiateollisuus ry. 2013, 45)

Kaksiputkijohdossa (Mpuk) on meno- ja paluupuolen virtausputket, joihin on liitetty polyeteenisuojakuori kiinteästi polyuretaanieristeellä (kuva 4). Meno-putki on sijoitettu paluuputken alle lämpöhäviön vähentämiseksi. Kaksiputkijohtoa valmistetaan kokoja väillä DN 2x20–DN 2x200. Putkien pituus on kokoluokasta riippuen 6 tai 12 metriä. Kaksiputkisen johdon etuja verrattuna yksiputkiseen johtoon ovat pienempi materiaalintarve ja jatkosten määrän puolittuminen. Kaksiputkijohdon lämpöhäviöt ovat myös pienemmät verrattuna saman kokoluokan yksiputkiseen johtoon. (Koskelainen ym. 2006, 139.)



Kuva 4. Kaksiputkinen kiinnivaahdotettu johto (Energiateollisuus ry. 2013, 46)

Joustavissa johdoissa virtausputkena saatetaan käyttää kupariputkea tai korugoitua, eli rypytettyä ohutseinäistä teräsputkea. Putket voidaan toimittaa kankitavarana tai kieppeinä, jolloin asennettaessa ei tarvita jatkosaumoja ja asentaminen on nopeampaa. Käyttökohteina voivat olla esimerkiksi talojohdot tai pienet jakelujohdot. (Koskelainen ym. 2006, 143.)

Muoviputkien käyttö kaukolämpöjohtoina on melko vähäistä. Muoviputkia käytetään ainoastaan matalalämpöverkostoissa (Mäkelä & Tuunanen 2015, 60). Ongelmaksi muodostuu muoviputkien lämpötilan kesto, joka on jatkuvana maksimissaan noin 80 °C ja hetkellisesti noin 95 °C. Myös maksimipaineenkesto on alhainen, 10 bar. Virtausputkimateriaaleina on useimmiten PEX, eli ristosilloitettu polyeteeni, PB, eli polybuteeni tai PP, eli polypropeeni. Muoviputkien läpi tapahtuu sekä happidiffuusiota että toisinpäin vesihöyrydiffuusiota. Muoviputket pinnoitetaan diffuusionestokerroksella diffuusion estämiseksi. Tästä huolimatta hapen läpäisyä putkistossa tapahtuu ja muoviputkiverkostossa sijaitsevat teräsosat kärsivät korroosiosta (Mäkelä & Tuunanen 2015, 60). (Koskelainen ym. 2006, 143.)

2.5 Kaukolämpöverkoston suunnittelu

Yleissuunnittelu, putkiston mitoitus ja reitti- ja asennussuunnittelu muodostavat kaukolämpöverkoston suunnittelukokonaisuuden. Yleissuunnitelmassa, joka tehdään useamman vuoden ajalle, tarkastellaan kaavoituksen ja muun rakentamisen vaikutuksia lämmönjakeluun ja mahdollisia uusien asiakkaiden liittymismääriä. Yleissuunnittelussa otetaan huomioon tuotantolaitosten sijainti, teho ja rakentamisen aloitus (Energiateollisuus ry. 2013, 5). Reitti- ja asennussuunnitelmissa suunnitellaan yksityiskohtaisesti uusien verkostonosien rakentaminen. Kaukolämpöjohtojen sijoittelussa ja verkoston osien mitoituksessa otetaan huomioon kunnallistekniikan vaikutukset. Asennussuunnitelmissa esitetään sijoitussuunnitelman lisäksi poikkileikkauskuvat johdoista ja detaljisuunnitelmat. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 52.)

Kaukolämmön käsikirjassa (Koskelainen ym. 2006, 153) esitetään yleissuunnitteluun vaikuttaviksi tekijöiksi

- rakennusten ominaistehontarve W/m^3
- prosessien tehotarve W
- käyttöveden lämmityksen tehotarve W
- ominaispainehäviö bar/km
- meno- ja paluueden lämpötilaero mitoitusilanteessa
- tehotarpeiden samanaikaisuus
- alueiden ja asiakkaiden etäisyys lämmöntuotantolaitoksesta

Verkosto mitoitetaan suurimman tarvittavan tuntitehon, eli huippukulutustilanteen mukaisesti. Kaukaisimmalle asiakkaalle taataan vähintään 0,6 bar paine-ero. Kierrätettävä vesivirta määrää johtojen mitoituksen. Vesivirta taas riippuu siirrettävästä lämpötehosta sekä meno- ja paluueden välillä olevasta lämpötilaerosta (ΔT). Koska lämpötehoon ei voida juurikaan vaikuttaa, pyritään ΔT , eli jäähtymä saamaan mahdollisimman suureksi ja sitä kautta virtaus ja putkidimensiot mahdollisimman pieniksi. (Energiateollisuus ry. 2013, 6.)

Kaukolämpötehon ja meno- ja paluueden lämpötilaeron yhteys on kuvattu yhtälössä 1 (Mäkelä & Tuunanen 2015, 52).

$$\phi = \rho \cdot q_v \cdot c_p \cdot \Delta t \quad (1)$$

jossa	ϕ	kaukolämpöteho	[kW]
	ρ	kaukolämpöveden tiheys	[kg/dm ³]
	q_v	kaukolämpöveden virtaama	[dm ³ /s]
	c_p	kaukolämpöveden ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kgK]
	Δt	kaukolämpöveden meno- ja paluueden välinen lämpötilaero	[K]

Liittymis- eli talojohtojen mitoituksen määräävät rakennuksen lämmityksen ja ilmanvaihdon huipputeho ja käyttöveden tarvitsema vesivirta.

Kaukolämpöveden meno- ja paluueden välinen lämpötilaero pyritään saamaan noin 50–70 °C tasolle. Esimerkiksi matalalämpöverkoissa ΔT voi olla matalampi. Talojohtojen mitoituspainehäviö on yleisesti 4 bar/km ja verkon latvaosille 2 bar/km. (Energiateollisuus ry. 2013, 6.)

Runkojohdoissa kaukolämpöverkostoalueen rakennusten huipputehon tarvitsema vesivirta määrää mitoitus-tehon. Mitoitus-teho saadaan kertomalla kiinteistöjen yhteenlaskettu huipputeho samanaikaisuuskertoimella 0,7–1. Kaukolämpöveden meno- ja paluueden välinen lämpötilaero pyritään saamaan noin 40–50 °C tasolle. (Energiateollisuus ry. 2013, 6.) Runkojohtojen mitoituspainehäviö pyritään pitämään 1 bar/km ja poikkeuksin 2 bar/km (Koskelainen ym. 2006, 153).

Siirtojohdot, jotka lähtevät peruskuormalaitoksilta mitoitetaan pienemmällä, noin 30–40 °C meno- ja paluueden lämpötilaerolla. Tämä mahdollistaa peruskuormalaitosten tehonsyötön pidemmälle verkkoon huippulaitosten ollessa pois käytöstä. (Energiateollisuus ry. 2013, 7.) Siirtojohtojen mitoituspainehäviö on yleensä 0,5–1 bar/km (Mäkelä & Tuunanen 2015, 52).

Kaukolämpöverkoston hallintaan on olemassa tietokoneohjelmia, joiden avulla voidaan laskea ja simuloida erilaisia tilanteita. Verkoston paineen ja lämpötilan muutokset on huomioitava. Painehäviöt vaikuttavat pumppauksen suunnitteluun ja tämä huomioimalla voidaan vaikuttaa lämpöhäviöihin. Eri

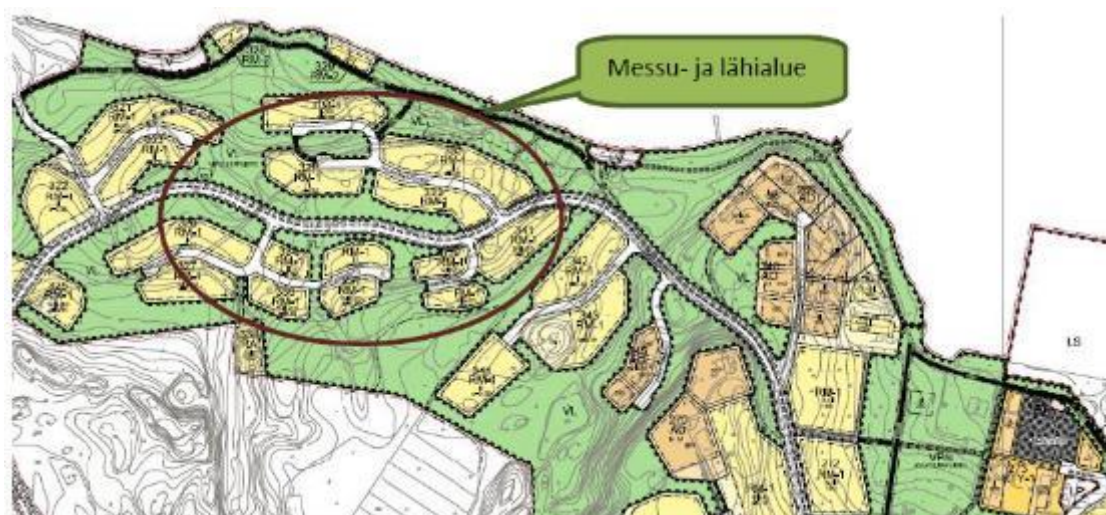
tuotantolaitosten käyttö ja esimerkiksi kesä- talviajan muutokset vaativat laskentaa ja verkoston toiminnan analysointia. Verkoston saneerauksissa ja uusimisissa verkoston tunteminen on erityisen tärkeää. Tähän sisältyvät muun muassa verkoston siirtokyvyn analysointi, uusien putkien mitoitus, sijainnin suunnittelu ja uusien silmukkajohtojen analysointi. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 54–55.)

3 VIPELEN JA RAUHAN ALUELÄMPÖRATKAISUT

Tässä luvussa esitellään Vipelentien aluelämpöratkaisun taustaa, Rauhan ja Vipelentien lämpökeskuksien laitteistot ja niiden toimintaperiaatteet.

3.1 Vipelen matalalämpöverkoston taustaa

Vuonna 2012 Lappeenrannan Rauhan alueella (kuva 5) järjestettiin loma-asuntomessut, jotka kattoivat alueelta 20 tonttia. Rauhan messualueen läheisyyteen oli rakenteilla myös muita uudisrakennuksia. Alueella tehtiin selvitys loma-asuntomessujen ja muiden rakennuttajien halukkuudesta liittyä uusiutuvalle energialla tuotettuun aluelämpöratkaisuun. Useat kiinteistöt ilmoittivat halukkuutensa liittyä energijärjestelmään sen toteutuessa. Lähienergiaratkaisujen asiantuntija One1, Lappeenrannan kaupunki ja Lappeenrannan Energia alkoivat yhdessä kehittää alueelle sopivaa uusiutuvaan energiaan perustuvaa aluelämpöratkaisua. (Rauhan loma-asuntomessujen ja lähialueen energiaratkaisut 2012.)



Kuva 5. Rauhan loma-asuntomessujen alue (Rauhan loma-asuntomessujen ja lähialueen energiaratkaisut 2012)

Alueen kiinteistöt olivat pääasiassa loma-asuntoja, joiden energiankulutus poikkeaa ympärivuotisista asunnoista. Kulutuksen rakenne on tasaisempaa ympäri vuoden, koska osassa kiinteistöjä talviajan lämmitysenergian kulutus on vähäisempää. Lähtökohtana mitoituksessa oli energian tuottaminen noin 60–70 asunnolle, joiden vuosittaiseksi energiankulutukseksi arvioitiin noin 1 100 MWh. Lämmitystehon tarpeeksi arvioitiin noin 600 kW. (Rauhan loma-asuntomessujen ja lähialueen energiaratkaisut 2012.)

Hybridiratkaisu toteutettiin käyttämällä pääenergianlähteenä lämpöpumpputekniikkaa järvilämpönä. Aurinkoenergia valittiin täydentämään lämpöpumpulla tuotettua lämpöenergiaa ja kulutushuiput sekä varaenergia suunniteltiin tuotettavaksi maakaasulla. Uusiutuvan energian ratkaisut mitoitetiin osateholle, jotta investointi olisi taloudellisesti kannattava ja tuotantolaitoksen kapasiteetti olisi tehokkaasti käytössä. Lämpöpumpun tuotannoksi mitoitetiin noin 325 kW, joka on noin 50 % huipputehosta. Koska pääosa kiinteistöistä on loma-asuntoja, tavoiteltiin uusiutuvalla energialla yli 80 % osuutta vuotuisesta energian tarpeesta. (Rauhan loma-asuntomessujen ja lähialueen energiaratkaisut 2012.)

Alueen rakennuskanta mahdollisti matalalämpöverkoston toteuttamisen. Messualueen ja sen lähiympäristön kiinteistöt olivat pääasiassa loma-asuntoja, joiden energiankulutuksen rakenne on tasaisempaa verrattuna ympärivuotiseen asumiseen ja matalalämpöverkosto oli luontevaa toteuttaa muovisella PEX -virtausputkella. (Lappeenrannan Energiaverkot Oy 2019.)

3.2 Vipelen matalalämpöjärjestelmän kuvaus

Vipelentien aluelämpökeskuksessa (kuva 6) lämpöenergiaa tuottavat kaksi lämpöpumppua, kaksi kaasukondenssikattilaa ja aurinkoenergiajärjestelmä.



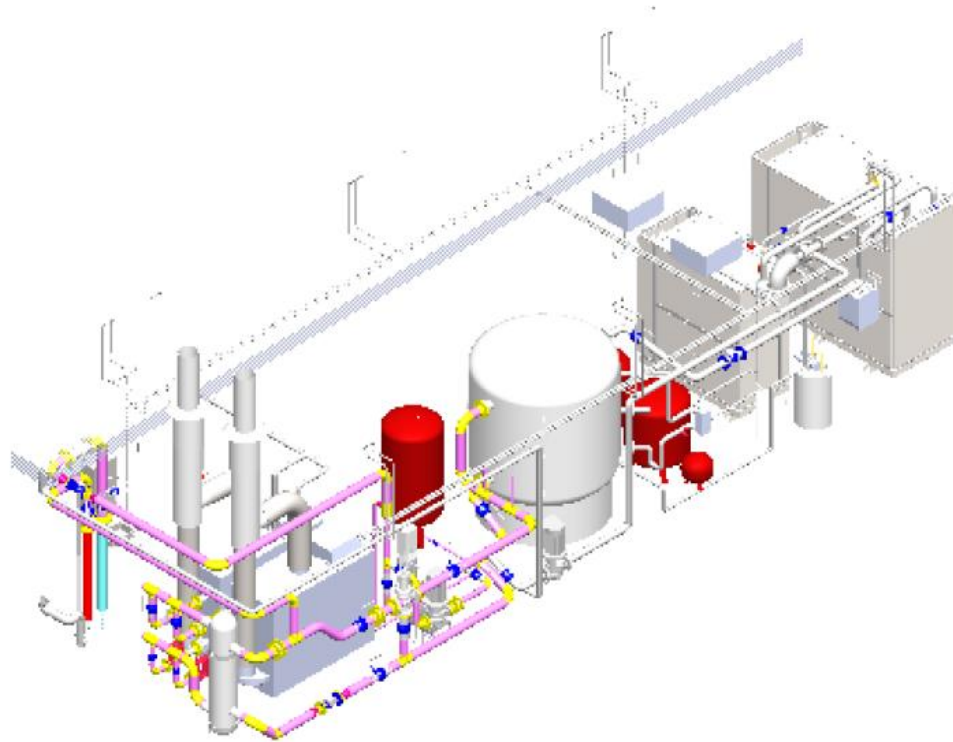
Kuva 6. Vipelentien aluelämpökeskus ulkokuva (Parviainen 2019)

Teholtaan pienemmässä lämpöpumpussa on 55 kW:n mäntäkompressori ja lämpöpumpun lämmitysteho on 53 kW. Teholtaan suuremmassa lämpöpumpussa on ruuvikompressori. Suuremman lämpöpumpun lämmitysteho on 262 kW. Kylmäaineena lämpöpumpuissa on käytössä R134a.

Kaksi kaasukondenssikattilaa tuottavat lämpöenergian kulutushuiput ja vara-energian. Kaasukondenssikattilat ovat molemmat teholtaan 327 kW.

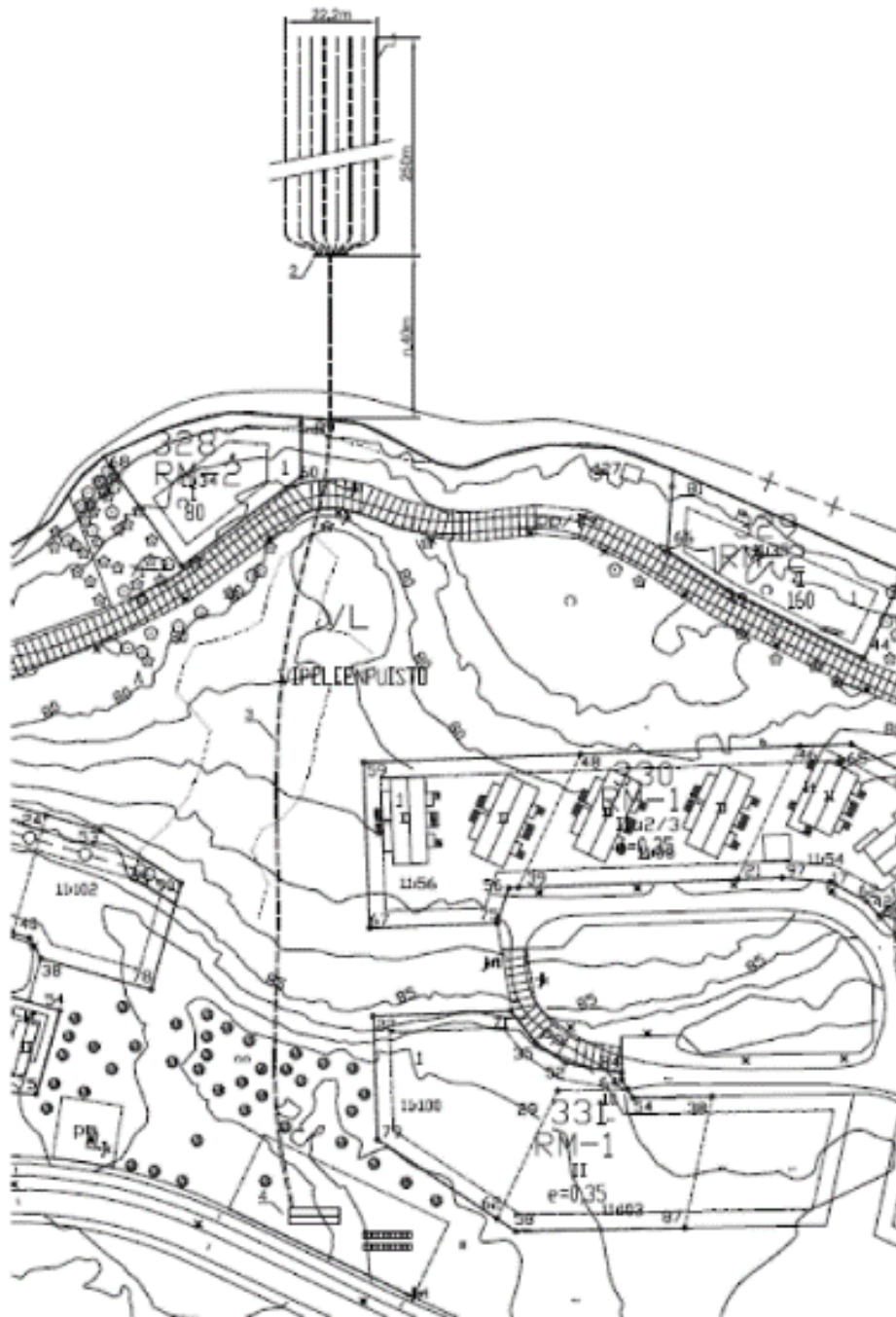
Hybridiratkaisun aurinkokeräimet ovat malliltaan nestekiertoiset tasokeräimet. Lämpö johtuu tasokeräimien absorptiopinnasta lämmönsiirtoaineeseen, joka on vesi-glykoliseos. Lämmönsiirtoaine virtaa putkistossa absorptiopinnan alla. Absorptio-pinta sijaitsee lämpöeristetyssä laatikossa, lasilevyllä suojattuna. (Rauhan loma-asuntomessujen ja lähialueen energiaratkaisut 2012.)

Kuvaan 7 on sijoitettu aluelämpökeskuksen laitteistot. Kuvassa vasemmalla sijaitsevat kaasukondenssikattilat, keskellä vesivaraaja tilavuudeltaan 5 m³ ja oikealla lämpöpumput.



Kuva 7. Havainnekuva Vipelen aluelämpökeskuksen laitteistosta (Parviainen 2019)

Lämpöpumput ottavat lämmön keruuputkiston (kuva 8) avulla järvestä (Saimaa). Keruuputkisto koostuu kahdeksasta järven pohjaan upotetusta putkilenkistä, joiden sisällä kulkee kylmäaine. Putkilenkit on ankkuroitu järven pohjaan betonipainoilla. Putkilenkkien pituus on noin 400 metriä. (Päätös ympäristöluvan hyväksymisestä 2012.) Lämmönsiirtoputkisto koostuu tuloputkesta, jakotukeista, lämmönkeruuputkilenkeistä ja paluuputkesta. Tulosiirtoputki on halkaisijaltaan 200 mm ja se on sijoitettu maahan yhden metrin syvyyteen noin 40 metrin matkalle. Jakotukista lähtee 8 kpl halkaisijaltaan 63 mm paksuisia lämmönsiirtoputkia, jotka palautuvat paluujakotukille noin 400 m vesimatkan jälkeen. Paluujakotukista lähtee takaisin lämpökeskukselle maahan sijoitettu paluusiirtoputki. (Lappeenrannan Energiaverkot Oy 2019.)



Kuva 8. Lämmönkeruuputkiston sijoittuminen Vipelen aluelämpökeskukselta Saimaalle (Rauhan loma-asuntomessujen ja lähialueen energiaratkaisut 2012)

3.3 Vipelen matalalämpöverkoston haasteet

Muovisella PEX-virtausputkella toteutettu Vipelen aluelämpöverkko toimii matalalämpöverkoston periaatteella. Verkoston suunnittelupaine on 6 bar ja suunnittelulämpötila 80 °C (Lappeenrannan Energiaverkot Oy 2019). Matalalämpöverkoston ongelmiksi ovat muodostuneet kaukolämpöveden muovisen

virtausputkiston läpi pääsevän hapen epäsuosiolliset vaikutukset verkoston teräsosille ja lämpöenergian riittävyys huippukulutusaikoina. Aluelämpölaitoksen teho (noin 1 MW) riittäisi kyllä alueen kiinteistöille, mutta muovinen virtausputkisto kestää hetkellisestikin vain 95 °C kaukolämpöveden lämpötilan. Tämä asettaa omat haasteensa varsinkin kylmimpinä ajanjaksoina. Toisin sanoen vettä ei voida ajaa verkostoon tarpeeksi kuumana.

Lappeenrannan Lämpövoima Oy:n teettämistä vesiraporteista selviää, että Vipelen verkoston veteen on liuennut rautaa (Fe) 12 mg/kg, kun taas vastaavalla ajanjaksolla (syksy 2018–keväät 2019) kantaverkon veden keskimääräinen raudan määrä on ollut 0,52 mg/kg (Toivola 2019b). Ero on suuri ja Vipelen verkoston raudan määrä kertoo verkoston teräsosien korroosiosta. Myös sähkönjohtavuutta kuvaava arvo vesinäytteestä on samalta ajanjaksolta keskimäärin 868 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Toivola 2019b) ohjearvon ollessa $<150 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Energiateollisuus ry 2007).

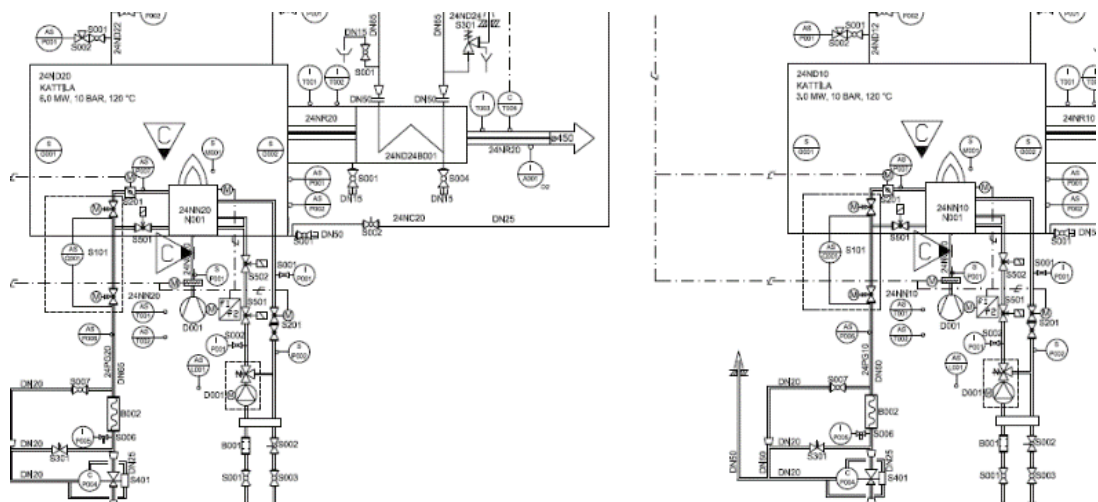
Taulukosta 1 nähdään Energiateollisuus ry:n laatima suositus kiertoveden ohjearvoista. Vipelen aluelämpölaitosta vastaavat suositellut lukemat on ympyröity oranssilla värillä taulukossa. Kokonaisraudan kohdalla viittaus kohtaan kuusi tarkoittaa, että korkeat kokonaisrauta- ja kokonaiskuparipitoisuudet ovat merkki järjestelmän syöpymisestä. Lisäksi kuparisia osia ei suositella käytettäväksi kaukolämpöverkossa kuparikorroosion mahdollisuuden vuoksi. (Energiateollisuus ry 2007.) Vaikka Vipelen lämpöverkosto sisältää myös kuparisia osia, ei kokonaiskuparin arvo vesinäytteessä kuitenkaan ylitä kokonaiskuparin ohjearvona annettua 0,02 mg/kg, vaan jää keskimääräisesti arvoon 0,0025 mg/kg. Vipelen matalalämpöverkoston vesikemiaa on yritetty parantaa kemikaaleilla, mutta vaikutus on jäänyt väliaikaiseksi. (Toivola 2019b.)

Taulukko 1. Kaukolämmön kiertoveden ohjearvosuosituksen (Energiateollisuus ry 2007)

Laitoskoko ja tyyppi (kattiloiden yhteenlaskettu teho)	>100 MW		10-100 MW		<10 MW	
	Epäsuora	Suora 1)	Epäsuora	Suora 1)	Epäsuora	Suora 1)
Ominaisuus						
pH-arvo (pH 25) 2)	9...10	9...10	9...10	9...10	9...10	9...10
Kokonaiskovuus mmol/kg	<0,143	<0,018	<0,143	<0,018	<0,143	<0,089
°dH 3)	<0,8	<0,1	<0,8	<0,1	<0,8	<0,5
Happipitoisuus mgO ₂ /kg	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	4)	4)
Happea sitova kemikaali 5)	5)	5)	5)	5)	5)	5)
Ammoniakki mgNH ₃ /kg	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Kokonaisrauta mgFe/kg	<0,1	<0,1	<0,1 7)	<0,1 7)	6)	6)
Kokonaiskupari mgCu/kg	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	6)	6)
Öljypitoisuus mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sähkönjohtavuus μS/cm 8) (1 mS/m = 10 μS/cm)	<150	<150	<150	<150	<150	<150
Kloridi mgCl ⁻ /kg	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Vetykarbonaatti mgCO ₃ ⁻ /kg	<60	<60	<60	<60	<60	<60
Kiintoaine mg/kg 9)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Väriaine	Silmin havaittava	Silmin havaittava	Silmin havaittava	Silmin havaittava	Silmin havaittava	Silmin havaittava

3.4 Rauhan aluelämpöjärjestelmän kuvaus

Rauhan aluelämpökeskuksessa lämpöenergian maakaasulla ja tarvittaessa öljyllä tuottavat kaksi vesikattilaa, tehoiltaan 6 MW ja 3 MW (kuva 9). Rakenteeltaan kattilat ovat tulitorvituliputkikattiloita. Kattilat toimivat ylipaine-kattiloina, joiden tulipesän paine voi olla 50–300 mbar. Kattilat on varustettu automaattisilla kattilatehoa vastaavilla polttimilla, jotka sopivat maakaasulle tai kevytpolttoöljylle. Kattilat on lisäksi varustettu ekonomaisereilla. (KPA Unicon Oy 2010.)



Kuva 9. Ote Rauhan kattilalaitoksen PI-kaaviosta, kattilat (Rauhan lämpökeskus 2010)

Kattilalaitoksella tuotettu lämpöenergia siirretään putkistojen ja kiertovesipumppujen avulla kulutuskohteisiin. Säätoventtiilien avulla sekoitetaan osa paluuedestä kuumaan kattilasta tulevaan veteen, jolloin saadaan halutun lämpöistä vettä. Taajuusmuuttajalla varustetut kiertovesipumput on mitoitettu niin, että kukin pumppu yksin pystyy siirtämään kattiloiden tuottaman tehon. Toinen pumppu toimii varalla. (KPA Unicon Oy 2010.)

4 LASKELMAT

Tässä luvussa esitellään laskelmat lämpökeskuksien tuotantomäärien normituksesta, lämpöpumppujen ja kaasukondenssikattiloiden energiantuotannosta, sekä maakaasua tai öljyä polttoaineenaan käyttävien kattiloiden energiantuotannosta. Lisäksi esitetään laskelmat energian tuotantokustannuksista. Energian tuotantokustannusten hintatiedot eivät sisällä arvonlisäveroa.

4.1 Rauhan aluelämpökeskuksen tuotannon normitus

Taulukossa 2 on esitetty Rauhan aluelämpölaitoksen tuotantotiedot kolmen vuoden ajalta. Näistä tiedoista nähdään Rauhan aluelämpöverkoston kiinteistöjen lämpöenergian tarve häviöineen. Tuotantotiedoissa oli aluksi poikkeama vuoden 2017 syyskuun kohdalla, mutta oikea lukema saatiin selvitettyä. Poikkeaman syyksi ilmeni viallinen virtausmittari (Nummikoski 2019a). Jotta tuotantotietoja voitaisiin verrata vuosi- tai kuukausitasolla, tulee lukemat ensin normittaa. Normeeraus tapahtuu lämmitystarveluvun avulla.

Taulukko 2. Rauhan aluelämpölaitoksen tuotantotietoja vuosilta 2016 – 2018 (Kylliäinen 2019)

Vuosi	Tammi	Helmi	Maa- lis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Mar- ras	Joulu	Yh- teensä MWh
2016	2721	1514	1641	1125	530	497	417	525	519	1229	1353	1445	13516
2017	2098	1866	1497	1179	824	654	456	227	597	1089	1344	1467	13298
2018	1657	1964	1882	1075	579	496	468	440	626	1002	1337	1828	13354

Taulukossa 3 on nähtävissä Lappeenrannan alueen lämmitystarveluvut, jotka ovat saatavissa Ilmatieteen laitoksen sivustoilta. Taulukossa oleva ensimmäinen rivi normaali kuvaa osoittajaa kaavassa 2, eli normaalivuoden tai -kuukauden (1981–2010) lämmitystarvelukua vertailupaikkakunnalla.

Taulukko 3. Lämmitystarveluvut Lappeenrannan alueelta 2016 – 2018 ja normaali (Ilmatieteen laitos 2019)

	Tammi	Helmi	Maa- lis	Huhti	Touko	Kesä	Hei- nä	Elo	Syys	Loka	Mar- ras	Joulu	Vuosi
Nor- maali	759	699	621	403	165	22	5	28	184	386	546	692	4510
2016 LPR	969	553	561	376	23	37	6	12	125	415	582	609	4268
2017 LPR	673	630	539	478	235	44	7	20	180	396	489	551	4242
2018 LPR	664	759	723	377	47	32	0	0	111	351	456	663	4183

Lämmitysenergian kulutus on verrannollinen sisä- ja ulkolämpötilan erotukseen. Käyttöveden kulutus ei riipu sääolosuhteista, joten sen vaatima energiamäärä erotetaan energian kokonaiskulutuksesta ennen normeerausta. Verratessa saman alueen rakennusten energiankulutusta käytetään normeerauksessa seuraavaa kaavaa 2. (Motiva Oy 2016.)

$$Q_{norm} = k_1 \cdot \frac{S_{N \text{ vpkunta}}}{S_{toteutunut \text{ vpkunta}}} \cdot Q_{toteutunut} + Q_{lämmin \text{ käyttövesi}} \quad (2)$$

jossa	Q_{norm}	rakennuksen normitettu lämmitysenergian kulutus
	k_1	paikkakunta-kohtainen korjauskerroin vertailupaikkakuntaan
	$S_{N \text{ vpkunta}}$	normaalivuoden tai -kuukauden (1981–2010) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla
	$S_{toteutunut \text{ vpkunta}}$	toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla
	$Q_{toteutunut}$	rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia
	$Q_{lämmin \text{ käyttövesi}}$	käyttöveden lämmittämisen vaatima energia

Käyttöveden vaatiman lämmitysenergian erottaminen kokonaisenergiankulutuksesta voi olla haastavaa. Motiva (Motiva Oy 2019) on esittänyt erinäisiä ohjeita käyttöveden energiankulutuksen selvittämiseksi. Tätä opinnäytetyötä tehdessä ei ollut käytössä kiinteistökohtaisia energiankulutustietoja. Lämpimän

käyttöveden osuus kokonaisenergiasta voidaan selvittää myös kesäkuukausien (kesä – elo) keskimääräisen energiankulutuksen mukaan, koska tällöin ei yleensä ole lämmitysenergian tarvetta ja lämpimän veden kulutus kuukausitasolla ei vaihtele olennaisesti (Motiva Oy 2019). Kyseinen menetelmä toimii kiinteistöissä, joissa veden- ja lämmitysenergian kulutus on tavanomaista.

Koska tässä opinnäytetyössä tarkasteltavat aluelämpölaitokset tuottavat lämpöenergiaa alueille, jotka eivät ole aivan tavanomaisia asuinalueita, oli lämpimän käyttöveden osuuden erottaminen kokonaislämmitysenergiasta haastavaa. Vipelen aluelämpölaitos tuottaa lämpöenergiaa alueelle, jossa on paljon loma-asuntoja, ja niiden lämpimän käyttöveden kulutus voi vaihdella paljon vuodenaikojen mukaan. Rauhan aluelämpölaitoksen verkostossa on Rauhan kylpylä, jossa käyttöveden osuus kokonaislämmitysenergian tarpeesta voi olla hyvinkin suuri. Kylpylöissä kuitenkin on käytössä lämmön talteenotot niin pesuvesistä, kuin jäähdytyksen lauhdelämmöstä (Toivola 2019a), jotka kompensoivat lämpimän käyttöveden vaatimaa energiamäärää.

Ohjeistus opinnäytetyön toimeksiantajalta käyttöveden energiaosuuden selvittämiseksi oli käyttää 10 % osuutta kokonaistuotantoenergiasta vastaamaan käyttöveden energiaosuutta molemmissa verkostoissa (Toivola 2019a).

Taulukossa 4 on esitetty Rauhan aluelämpölaitoksen tuottamat energiamäärät normeerattuina. Lämpöenergian tuotantomääristä on ensin erotettu lämpimän käyttöveden arvioitu osuus 10 %. Seuraavaksi kaavaan 2 on sijoitettu taulukon 2 ja taulukon 1 arvot. Kaavassa 2 oleva paikkakunta-kohtainen korjauskerto on 1 samaan paikkakuntaan (Lappeenranta) verrattaessa. Yhteensä-sarakkeesta voidaan huomata, että suurin tuotantomäärä normeerattuna on ollut noin 14 300 MWh vuonna 2018.

Taulukko 4. Rauhan aluelämpölaitoksen 2016–2018 tuottamat energiamäärät normeerattuina

	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Maras	Joulu	Yht. MWh
2016	2190	1874	1799	1198	3475	316	354	1155	739	1152	1278	1622	14206
2017	2339	2050	1702	1013	603	360	339	309	609	1064	1485	1805	14054
2018	1870	1824	1643	1142	1887	357	47	44	997	1092	1574	1900	14294

4.2 Rauhan aluelämpökeskuksen energiakustannustarkastelu

Rauhan aluelämpökeskuksen lämpöenergian tuotantomäärä oli vuonna 2018 13 354 MWh ja normeerattuna 14 294 MWh. Maakaasua tuotantoon käytettiin 1 477 229 nm³ (Nummikoski 2019b). Vuoden 2018 Rauhan aluelämpökeskuksen lämpöenergian tuotannon laskennallinen maakaasun tarve oli 110,6 nm³/MWh. Tarkasteluajanjaksolla ei käytetty öljyä polttoaineena (Nummikoski 2019b).

Tilastokeskuksen mukaan maakaasun hinta lämmöntuotannossa vuoden 2018 lopussa oli keskimäärin 52,26 €/MWh, jossa oli kasvua vuoden takaiseen 12,4 % (Tilastokeskus 2019). Laskelmissa kaasun hankintahintana päätettiin käyttämään 53 €/MWh, joka voisi olla realistinen hinta kustannuksia määritettäessä (Kiuru 2019).

Sähkön kulutus Rauhan aluelämpökeskuksessa vuonna 2018 oli 103 060 kWh (Nummikoski 2019b). Aluelämpökeskuksen sähköenergian kulutustietoja ei tarkasteltu tuntitasolla. Kun sähkön kokonaiskulutusmäärä vuodelta 2018 jaetaan samalla ajanjaksolla tuotetun lämpöenergian määrällä ja sähkön hinnaksi oletetaan 0,12 €/kWh, saadaan sähkön kustannukseksi noin 1 €/MWh. Maakaasun ja sähkön kustannukset yhteenlaskettuna voidaan arvioida Rauhan aluelämpökeskuksen energian tuotantokustannusten vuonna 2018 olleen 54€/MWh. Lukemaa tulee kuitenkin tarkastella kriittisesti, koska sähkön ja kaasun hinnat ovat arvioita.

4.3 Vipelentien aluelämpökeskuksen lämpöenergian tuotannon normittaminen

Taulukkoon 5 on koottu Vipelen aluelämpölaitoksen tuotantotiedot kolmelta peräkkäiseltä vuodelta. Energiantuotannot on eritelty siten, että kaasukondenssikattiloiden tuottama lämpöenergiämäärä näkyy omassa sarakkeessaan ja maalämpöpumppujen ja aurinkojärjestelmän tuottamat energiamäärät näkyvät yhdistettynä. Otsikkorivillä olevat numerot kuvaavat kuukausia.

Taulukko 5. Vipelen aluelämpölaitoksen tuotantotietoja vuosilta 2016–2018 (Kylliäinen 2019)

	Tuot. tapa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yht. MWh	Yht. MWh
2016	Kattilat	102	49	46	27	30	1	21	8	1	34	60	58	437	920
	LP+A	46	37	43	46	17	45	18	40	54	49	45	43	483	
2017	Kattilat	74	63	47	39	17	2	3	7	0	25	44	57	378	954
	LP+A	49	44	46	48	41	50	46	42	52	59	52	47	576	
2018	Kattilat	72	79	78	43	26	5	1	1	6	29	46	75	461	957
	LP+A	46	39	41	38	23	41	41	41	47	48	46	45	496	

Taulukkoon 6 on normitettu Vipelen aluelämpölaitoksen tuotantomäärät vuosilta 2016–2018. Normitus on tehty aikaisemmin esitellyn lämmitystarvelukutaulukon 3 avulla ja sijoittamalla luvut kaavaan 2. Aurinkolämmön osuus sisältyy lämpöpumppujen tuottamaan energiamäärään. Vuoden 2018 aurinkolämmön osuus energiantuotannosta oli 12 MWh (Kylliäinen 2019).

Taulukko 6. Vipelen aluelämpölaitoksen 2016–2018 tuottamat energiamäärät normeerattuina

	Tuot. tapa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yht. MWh	Yht. MWh
2016	Kattilat	82	61	50	29	197	1	18	18	1	32	57	65	459	967
	LP+A	37	46	47	49	111	29	15	88	77	46	42	48	508	
2017	Kattilat	83	69	53	33	12	1	2	10	0	24	49	70	399	1008
	LP+A	55	48	52	41	30	28	34	57	53	58	57	58	609	
2018	Kattilat	81	73	68	46	85	4	0	0	10	32	54	78	493	1024
	LP+A	52	36	36	40	75	29	4	4	75	52	54	47	531	

Taulukon 6 yhteensä-sarakkeesta havaitaan, että suurin tuotantomäärä normeerattuna on vuonna 2018 ollut 1 024 MWh.

4.4 Vipelentien aluelämpökeskuksen energian kulutus- ja kustannustarkastelu

Tässä luvussa tarkastellaan Vipelentien aluelämpökeskuksen sähkön ja kaasun kulutus- ja kustannustietoja vuodelta 2018 ja suhteutetaan tiedot lämpöenergian tuotantoon.

4.4.1 Sähköenergian kulutusjakauma

Vipelentien lämpölaitoksen sähkön kulutusta tarkasteltiin vuoden 2018 sähkön tuntikulutuslukemien avulla. Kulutustiedot on esitetty kilowattitunteina. Kuu-kausikohtaisista kulutustiedoista erotettiin ensin niin sanottu peruskuorma. Kaukolämpöpumpun sähkön kulutus on katsottu peruskuorman sisältyväksi.

Peruskuormassa oli vaihtelua kuukausittain, kulutuksen ollessa suurimmillaan joulukuussa. Koko vuoden yhteen laskettu sähköenergian kulutus oli 224 MWh. Taulukossa 7 on esitetty Vipelen aluelämpökeskuksen kuukausittainen sähkön kulutusjakauma.

Taulukko 7. Vipelen aluelämpölaitoksen sähkön kulutusjakauma vuonna 2018

	Sähkön Koko- naisku- lutus	Sähkön perus- kuorma	Sähkön kulutus- hui- put/h	Sähkön kulutus kattilat + pumput	Sähkön kulutus LP+ Au- rinko + Pumput	Ker- roin LP + au- rinko	LP+ Au- rinko Ener- gian- tuo- tanto	Kattilat Ener- gian- tuo- tanto
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh		kWh	kWh
Tammi	20882	3571	73,6	170	17141	2,7	46000	72000
Helmi	18728	3427	88,0	182	15119	2,6	39000	79000
Maalis	20276	3601	82,6	185	16490	2,5	41000	78000
Huhti	18094	2678	30,0	105	15311	2,5	38000	43000
Touko	11848	2745	34,5	67	9036	2,5	23000	26000
Kesä	17365	2678	35,9	43	14644	2,8	41000	5000
Heinä	17324	2760	36,6	16	14548	2,8	41000	1000
Elo	17303	2872	34,1	16	14415	2,8	41000	1000
Syys	18211	2700	43,9	50	15462	3,0	47000	6000
Loka	21458	2850	34,6	74	18535	2,6	48000	29000
Marras	20654	3442	47,5	111	17101	2,7	46000	46000
Joulu	21580	3668	46,0	176	17735	2,5	45000	75000
Yht.	223722	36993		1195	185534	2,7	496000	461000

Kun sähkön kulutustiedoista oli eroteltu peruskuorma, erotettiin seuraavaksi kaasukondenssikattiloilla tuotetun lämpöenergian määrän perusteella kaasukondenssikattiloiden kuluttama sähköenergia. Sähkön kulutukseen sisältyy myös kaasukondenssikattiloiden pumppujen kuluttama energia, joka on maksimissaan 0,4 kWh per pumppu.

Jäljelle jäänyt kuukausikohtainen sähköenergian kulutus kohdentui lämpöpumpuille, sekä aurinkoenergiajärjestelmälle. Myös molempien järjestelmien pumppujen kuluttama energia sisältyy kohdennettuun sähkön kulutukseen. Lämpöpumppujen lauhdutinpuolen pumpun kulutus on maksimissaan 5,5 kWh.

Kun lämpöpumppu- ja aurinkoenergiajärjestelmän energiankulutus on selvillä, pystytään lämpöenergian tuotantomäärään vertaamalla selvittämään maaläm-

pöpumppu- ja aurinkoenergiajärjestelmälle yhteinen kerroin, joka kuvaa moninkertaisesti järjestelmä on tuottanut lämpöenergiaa sähköenergiasta. Taulukossa 7 on esitetty lämpöpumppujen ja aurinkoenergiajärjestelmän kuukausikohtaiset laskennalliset lämpökertoimet, joiden laskentaan on sisällytetty myös pumppujen vaatima energiamäärä. Koko vuoden keskiarvoinen laskennallinen lämpökerroin on 2,7. Tämä tarkoittaa sitä, että järjestelmällä on vuoden aikana tuotettu sähköenergiasta 2,7 -kertainen määrä lämpöenergiaa.

Taulukosta 7 voidaan nähdä myös kuukausittaiset sähkön huippukulutusluke-
mat. Helmikuun suurin tuntikulutus 88 kWh on 2,9 -kertainen huhtikuun luke-
maan 30 kWh verrattuna.

4.4.2 Lämpöpumpuilla ja aurinkoenergialla tuotetun lämpöenergian kustannukset

Vipelentien aluelämpökeskuksen sähköenergian kokonaiskulutus vuonna 2018 oli 223,7 MWh. Tästä 185,5 MWh eli noin 83 % on laskennallisesti lämpöpumppujen ja aurinkoenergiajärjestelmän sähkön kulutuksen osuus. Yleisesti ottaen sähkön hinta riippuu sähkön toimittajasta ja sähkösopimuksen sisällöstä. Taulukossa 8 on esitetty kolme erilaista skenaariota sähkön hinnalle. Laskelmien mukaan lämpöpumpuilla ja aurinkoenergiajärjestelmällä tuotetun energian kustannukseksi tuli 44,89 €/MWh sähkön hinnan ollessa 0,12 €/kWh. Vastaavat energian tuotantokustannukset sähkön hinnoilla 0,14 €/kWh ja 0,16 €/kWh olivat 52,37 €/MWh ja 63,59 €/MWh.

Taulukko 8. Lämpöpumpuilla ja aurinkoenergiajärjestelmällä tuotetun lämpöenergian kustannukset

	Sähkön kulutus	Ker- roin	LP + A Lämpö-ener- gian tuotanto	Sähkön hinta 0,12 €/kWh	Sähkön hinta 0,14 €/kWh	Sähkön hinta 0,16 €/kWh
Kk	kWh		kWh	€	€	€
Tammi	17141	2,7	46000	2057	2400	2742
Helmi	15119	2,6	39000	1814	2117	2419
Maalis	16490	2,5	41000	1979	2309	2638
Huhti	15311	2,5	38000	1837	2144	2450
Touko	9036	2,5	23000	1084	1265	1446
Kesä	14644	2,8	41000	1757	2050	2343
Heinä	14548	2,8	41000	1746	2037	2328
Elo	14415	2,8	41000	1730	2018	2306
Syys	15462	3,0	47000	1855	2165	2474
Loka	18535	2,6	48000	2224	2595	2966
Marras	17101	2,7	46000	2052	2394	2736
Joulu	17735	2,5	45000	2128	2483	2838
Yhteensä	185534	2,7	496000	22264	25975	29686
Sähköllä tuotettu lämpöenergia €/MWh				44,89	52,37	63,59

4.4.3 Kaasukondenssikattiloilla tuotetun lämpöenergian kustannukset

Vipelentien aluelämpölaitoksella kaasukondenssikattiloilla tuotetun lämpöenergian määrä vuonna 2018 oli 461 MWh ja normitettuna tuotanto oli 493 MWh. Kaasun kulutus vastaavana aikana oli 46 624 nm³ (Nummikoski 2019b). Vuoden 2018 tuotannon keskimääräinen maakaasun tarve oli 101,1 nm³/MWh. Kaasun hintana käytetään jo aiemmin kappaleessa 4.2 esitettyä 53 €/MWh.

Kaasukondenssikattiloiden ja niiden pumppujen sähkön kulutuksen osuus tarkasteluajanjaksona oli 1 195 kWh (taulukko 7). Kun sähkön hinnaksi oletetaan 0,12 €/kWh, saadaan kaasukondenssikattiloilla tuotetun lämpöenergian sähkökustannuksien osuudeksi noin 0,30 €/MWh. Maakaasun ja sähkön kustannukset yhteenlaskettuna voidaan todeta kaasukondenssikattiloiden energian tuotantokustannusten vuonna 2018 olleen 53,30 €/MWh. Lukemassa ei ole huomioitu esimerkiksi kunnossapito- ja henkilöstökustannuksia.

4.5 Vipelen verkoston muutos teräsputkeksi ja yhdistäminen Rauhan verkostoon

Tässä luvussa esitetään Vipelen aluelämpöverkoston muutoksen selvittämisen eteneminen muoviputkesta teräsputkeksi ja liittämiseksi Rauhan aluelämpöverkostoon. Luvussa esitetään myös erilaisia skenaarioita muutoksen kustannuksista. Investoinnin kannattavuutta tarkastellaan nykyarvo- ja takaisinmaksuajan menetelmällä.

4.5.1 Verkostomuutoksen kustannukset

Vipelen aluelämpöverkoston (liite 1) liittämisen kustannusten tarkastelu Rauhan aluelämpöverkostoon (liite 2) aloitettiin verkostokartan tutkimisella. Mahdollisesta liittämisestä oli tehty alustava suunnitelma, josta oli käytössä karttapaperikopio tätä opinnäytetyötä tehtäessä. Kartasta laskettiin putkimetrit ja karttaan oli myös merkitty käytettävät putkikoot. Laskelmassa apuna käytettiin yhteistyökumppanin (Tamminen 2019) hinnastoa ja asiantuntemusta verkostossa tarvittavista osista.

Kaivuukustannukset laskettiin putkimetriin mukaan sopimushinnastosta. Hinnastosta käytettiin keskimääräistä hintaa päällystetyille ja sorapäällysteisille tie-, katu-, ja piha-alueille. Liitteessä 3 on kuvattu verkoston uusimiseen tarvittavat osat ja työvaiheet, sekä niiden kustannukset. Tarkastelu on käyty putkiston liittämiskohdasta Rauhan verkostosta nykyisen Vipelentien verkoston kiinteistöjen ulkoseinien viereen asti. Tarkastelussa ei ole huomioitu kustannuksia talon ulkoseinältä eteenpäin sisälle taloon. Tarkastelussa ei ole myöskään huomioitu lämpökeskuksissa mahdollisesti tarvittavia materiaaleja, laitteita, eikä työn osuutta. Laskelmassa esitetyt hinnat eivät sisällä arvonlisäveroa.

4.5.2 Verkostomuutoksen säästöt

Verkostomuutoksen mahdollisia säästöjä tutkittiin vuositasolla. Lisäksi tarkastettiin, että säästöt ovat mahdollisia myös kesäaikana, jotta vuoden kokonaisu säästö voi toteutua. Taulukossa 9 on kuvattu mahdollisesti saavutettavat säästöt, kun Rauhan aluelämpölaitoksen tuottamaa lämpöenergiaa korvataan Vipelentien aluelämpölaitoksella tuotetulla lämpöenergialla. Laskelmat on tehty sillä oletuksella, että sekä lämpöpumpputjärjestelmä aurinkoenergialla

että kaasukondenssikattilat tuottavat energiaa 50 % huipputehosta. Tämän jälkeen tuotetuista energiamääristä on vähennetty Vipelen verkon normitettu osuus vuodelta 2018 ja loput tuotetusta lämpöenergiamäärästä on kohdennettu Rauhan verkostoon. Säästöjä saadaan sekä energian hinnassa, että kulutetun kaasun määrässä. Taulukossa 9 on lihavoituna esitetty lämpöpumppujen ja aurinkoenergian tuotannolla aikaan saatu vuotuinen säästö 7 732 € ja kaasukondenssikattiloiden sähkön pienemmällä kulutuksella saavutettu vuotuinen säästö 1 660 €. Lisäksi on laskettu kaasukondenssikattilan paremmasta hyötysuhteesta seurauksena oleva vuotuinen kaasun kustannussäästö 11 811 €. Näillä oletuksilla vuotuista säästöä syntyisi 21 202 €.

Taulukko 9. Laskelma energiantuotantokulujen säästöistä

Vipelentien aluelämpölaitos		LP + A	Kk-kattilat
Energiakustannukset	€/MWh	44,89	53,30
Säästö vs. Rauha	€/MWh	9,11	0,70
Normitettu tuotanto	MWh	531	493
Teho	kW	315	654
Tuotanto/vuosi 50%	MWh	1380	2865
Korvaava energiamäärä	MWh	849	2372
Säästö vs. Rauha	€/vuosi	7732	1660
Säästö kaasussa	m ³ n/MWh		9,5
Säästö kaasussa	m ³ n/vuosi		22529
Säästö kaasussa	MWh/vuosi		223
Säästö kaasussa	€/vuosi		11811
Kokonaissäästö	€/vuosi		21202

Koska säästöt on laskettu oletetuilla lämpöenergian tuotantomäärillä, on säästöihin suhtauduttava kriittisesti. Käytännössä laskelmien säästöt ovat kuitenkin mahdollisia saavuttaa.

4.5.3 Verkostomuutoksen kannattavuuden tarkastelu

Investoinnin kannattavuutta on tarkasteltu nykyarvomenetelmän ja takaisinmaksuaika -menetelmän avulla. Laukkanen (2013) esittää opinnäytetyössään selkeästi esimerkin avulla nykyarvomenetelmän laskennan. Nykyarvomenetelmässä investoinnin tuotot ja kulut diskontataan investointiajan alkuun. Jos tuottojen nykyarvo on suurempi tai yhtä suuri kuin kustannusten nykyarvo, on investointi kannattava.

Laskelmissa ei ole huomioitu mahdollisia vuosittaisia kustannuksia. Investoinnilla ei ole jäännösarvoa, vaan sen katsotaan olevan arvoton tarkasteluajanjakson lopussa.

Taulukossa 10. on esitetty erilaisia skenaarioita (1–5) investoinnista, investoinnin pitoajasta ja vuotuisesta säästöstä. Kaikissa vaihtoehdoissa vuotuisen säästön on oletettu olevan pienempi kuin laskennallinen säästö luvussa 4.5.2, jotta investoinnin kannattavuustarkastelu olisi realistisempaa. Investointi on nykyarvomenetelmän mukaan kaikilla vaihtoehdoilla kannattava, koska nettonykyarvo on suurempi kuin nolla. Seuraavana on esimerkkilaskelma taulukon viidennestä tapauksesta. Vuodet näkyvät potenssina ja vuotuinen säästö on 19 300 €. Investoinnin katsotaan olevan kannattava, koska tuottojen ja jäännösarvon arvo ylittää hankintahinnan 200 000 €.

$$\frac{1,05^{15} - 1}{1,05^{15} \cdot 0,05} \cdot 19\,300 \text{ €} = 200\,327 \text{ €}$$

Taulukko 10. Investoinnin kannattavuus nykyarvomenetelmällä

Nykyarvomenetelmä	1	2	3	4	5
Hankintakustannus €	155000	200000	150000	180000	200000
Korkokanta	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Vuodet	30	30	15	15	15
Säästö €/vuosi	10095	13050	14500	17400	19300
Kustannusten nykyarvo €	155015	200015	150010	180010	200010
Tuottojen ja jäännösarvon nykyarvo €	155185	200610	150505	180606	200327
Nettonykyarvo €	170	595	495	596	317

Taulukossa 11 on esitetty takaisinmaksuajan menetelmä aiemmin taulukossa 10 esitetyistä tapauksista. Takaisinmaksumenetelmä on yksinkertainen tapa tarkastella yrityksen kannattavuutta, jossa hankintameno jaetaan vuotuisilla säästöillä. Takaisinmaksuajoista voidaan huomata, kuinka paljon tarkastelumenetelmien takaisinmaksuajat poikkeavat toisistaan.

Taulukko 11. Takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuajan menetelmä	1	2	3	4	5
Hankintakustannus €	155000	200000	150000	180000	200000
Säästö €/vuosi	10095	13050	14500	17400	19300
Takaisinmaksuaika	15	15	10	10	10

5 TULOKSET

Tarkasteltaessa Vipelentien aluelämpökeskuksessa lämpöpumpuilla ja aurinkoenergialla tuotetun lämpöenergian tuotantokustannuksia ja kaasukondenssikattilalla tuotetun lämpöenergian kustannuksia saatiin selville, että vuonna 2018 lämpöpumpuilla sekä aurinkoenergialla tuotetun energian kustannus oli 44,89 €/MWh kun sähkön hinnaksi arvioitiin 0,12 €/kWh. Vastaavat energian tuotantokustannukset sähkön hinnoilla 0,14 €/kWh ja 0,16 €/kWh olivat 52,37 €/MWh ja 63,59 €/MWh. Tästä huomataan, että lämpöpumpuilla on kannattavaa tuottaa lämpöenergiaa, vaikka sähkön hinta olisi 0,14 €/kWh.

Kaasukondenssikattiloilla tuotetun lämpöenergian hinnaksi muodostui 53,30 €/MWh kun tässä työssä käytettävään kaasun hankintahintaan lisättiin kaasukondenssikattiloiden sähkön kulutuskustannukset. Näillä energiakustannuksilla tuotettiin lämpöenergiaa matalalämpöverkkoon, jonka virtausputkisto on muovia. Matalalämpöverkoston veden lämpötila voi vain hetkellisesti kohota korkeintaan 95 °C:een.

Vuoden 2018 kaasukondenssikattiloilla tuotetun lämpöenergian keskimääräinen maakaasun tarve oli 101,1 m³n/MWh. Kaasukondenssikattilat tuottivat lämpöenergiaa keskimäärin 9,5 m³n/MWh pienemmällä maakaasumäärällä verrattuna Rauhan aluelämpölaitoksen lämpöenergian tuotannosta laskettuun keskimääräiseen maakaasun määrään.

Rauhan aluelämpökeskuksen maakaasulla tuotetun lämpöenergian kustannukseksi muodostui 54 €/MWh, joka sisältää myös sähkön osuuden. Verkkoston putkisto on terästä ja verkkoon voidaan ajaa lämpötilaltaan 120 °C vettä. Vuoden 2018 Rauhan aluelämpökeskuksen lämpöenergian tuotannon laskennallinen maakaasun kulutus tuotettua lämpöenergiayksikköä kohti oli 110,6 m³n/MWh.

Kaasun kulutustietojen perusteella vahvistui, että kaasukondenssikattiloilla on parempi hyötysuhde kuin kaasukattiloilla. Säästöä tulee sähköenergian tarpeesta ja hyötysuhteesta. Lukemia tulee tarkastella kuitenkin kriittisesti, sillä kaasukondenssikattilalla on parempi hyötysuhde tuotettaessa matalampia lämpötiloja. Myös verkoston eroavaisuudet ja uuden liitosputkiston pituus vaikuttavat häviöihin.

Kun korvataan Rauhan aluelämpölaitoksella kaasulla tuotettua lämpöenergiaa Vipelentien aluelämpölaitoksella lämpöpumpuilla ja aurinkoenergialla tuotetulla lämpöenergialla, muodostuu vuotuisen säästön osuudeksi 7 732 €. Kaasukondenssikattiloiden sähkön pienemmästä kulutuksesta johtuvan vuotuisen säästön osuudeksi muodostui 1 660 €. Kaasukondenssikattilan paremmasta hyötysuhteesta johtuvasta kaasun kulutuksesta saatiin vuotuiseksi kaasun kustannussäästöksi 11 811 €. Näillä oletuksilla vuotuista säästöä syntyisi yhteensä noin 20 000 €.

Investoinnin kannattavuutta tarkasteltiin nykyarvo- ja takaisinmaksuajan menetelmällä. Takaisinmaksuajat poikkesivat eri menetelmillä, joista nykyarvo-menetelmä kuvaa tilannetta realistisemmin. Investointi olisi kannattava esimerkiksi 180 000 € investoinnilla, 5 % korolla, 15 vuoden käyttöiällä ja 17 400 € säästöillä vuodessa. Todellisuudessa lämpöverkoston ikä on huomattavasti pidempi, mutta vastaavasti säästöjä pienentävät kunnossapitokustannukset ja mahdollinen hintojen nousu.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Energiayrityksen toiminnan tulee olla kannattavaa. Eurojen lisäksi on otettava huomioon myös ympäristön hyvinvointi. Kovat tavoitteet kohti hiilineutraalia yhteiskuntaa nostavat energiayhtiöiden halua muuntaa energiantuotantoaan vielä enemmän ympäristön tarpeet huomioon ottavaksi. Lämpöpumpputekniikka on yksi varteenotettavista vaihtoehdoista lämpöenergian tuotannossa. Tekniikan jatkuvalla kehityksellä päästään laitteistoilla parempiin hyötysuhteisiin ja myös lähestytään hiilidioksidineutraalia energiantuotantoa.

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin kahden aluelämpöverkoston yhteen liittämistä ja samalla toisen verkoston putkiston saneerausta muoviputkesta teräsputkeksi. Muutoksen tavoitteena oli parantaa Vipelen aluelämpöverkoston kuntoa ja samalla mahdollistaa lämpimämmän veden ajaminen verkostoon. Vipelentien aluelämpölaitoksen energiatehokkaalla laitteistolla haluttiin tuottaa lämpöenergiaa laajemmalle alueelle. Tällöin myös aikaisempaa suurempi osa lämpöenergian tuotannosta olisi fossiilivapaalla polttoaineella tuotettua.

Laskelmat osoittivat Vipelen aluelämpökeskuksessa lämpöpumpuilla ja aurinkoenergialla tuotetun lämpöenergian tuotantokustannukset edullisimmaksi sähkön hinnan ollessa 0,12 €/kWh. Rauhan aluelämpökeskuksen lämpöenergian tuotantokustannukset olivat kalleimmat ja laitteiston hyötysuhde oli huomionpi kuin Vipelen aluelämpökeskuksen kaasukondenssikattiloilla. Laskelmien perusteella verkostoliitoksella voitaisiin mahdollisesti saavuttaa yli 20 000 euron vuosittainen säästö Vipelentien laitteiston toimiessa 50 % huipputeholla. Tämän perusteella kaasukondenssikattiloilla päästäisiin suuremmilla käyntitunneilla vieläkin parempaan vuotuisen säästöön.

Investoinnin kannattavuutta tarkasteltaessa selvitettiin viidelle eri investointivaihtoehdolle vuotuinen säästötavoite. Tarkastelu antoi suuntaa sille, minkä suuruisia säästöjen tulisi olla eri hankintameno-olettamilla, jotta investoinnin voitaisiin katsoa olevan kannattava. Investoinnin kannattavuutta tulee tarkastella kriittisesti. Laskelmissa ei ole otettu huomioon kunnossapitokustannuksia ja esimerkiksi sähkön ja kaasun hintojen nousua, jotka ovat kuitenkin hyvin todennäköisiä varsinkin, kun investoinnin kannattavuutta tarkastellaan pitkällä aikavälillä.

Koska toisiinsa liitettävät aluelämpöverkostot toimivat eri paine- ja lämpötila-alueilla, tulee liitoksessa käyttää lämmönvaihtimia, jotka voivat vastaavasti huonontaa hyötysuhdetta. Lisäksi tarkastelun ulkopuolelle ovat jääneet putkisto- ja laitteistohäviöt, joiden suuruutta ei tiedetä verkostoliitoksen myötä. Myöskään lämpöpumppujen kompressorien uusimista ei ole otettu laskelmissa huomioon.

7 POHDINTA

Prosessina opinnäytetyön tekeminen oli opettavainen kokemus. Aiheeseen perehtyminen vaatii paljon tutkimustyötä ja monesti löytääkin itsensä uppoutuneena aihetta jo jonkin verran sivuaviin tutkimuksiin. Tutkimustyö ja asiaan perehtyminen on kuitenkin palkitsevaa, koska ongelmien ratkaisu tuottaa aina onnistumisen tunteen.

Tämän opinnäytetyön aihealue vaati kirjoittajalta paljon uusien asioiden opettelua. Koska juuri oppiminen on yksi opinnäytetyön tavoitteista, on sillä alueella onnistuttu. Opinnäytetyön työstäminen opetti paljon kaukolämmön tuotannosta, erilaisista lämmöntuotantolaitteistoista ja niiden toiminnasta. Myös esimerkiksi sähkön kulutuksen kohdentaminen oli mielenkiintoista. Erilaisten asiantuntijoiden kanssa keskustelu avasi monia ongelmia ja halu oppia lisää aiheesta kasvoi.

Opinnäytetyö antoi vastauksia tutkimuskysymyksiin. Tutkimuskysymykset lämpöverkoston uusimisen kustannuksista ja lämpöenergian tuotantotapojen kustannusvertailusta saivat vastauksia laskennan avulla. Investoinnin kannattavuuslaskelmaan on kuitenkin aina suhtauduttava kriittisesti, jotta vältytään yllätyksiltä varsinkin takaisinmaksuajan ollessa pitkä.

Jatkotutkimuskohteena tälle opinnäytetyölle voisi olla Vipelentien aluelämpölaitoksen lämpöpumppujen kompressorien uusiminen. Kompressorien käyttöikä täyttyy tulevaisuudessa ja tällöin tulisi olla suunnitelma valmiina kompressorien uusintavaihtoehtoista. Myös maakaasun käytöstä kokonaan luopumista, ja sen tilalle mahdollisia lämpöenergian tuotantovaihtoehtoja voitaisiin tutkia. Mikä olisi tulevaisuudessa paras lämmön tuotantovaihtoehto fossiilisen ja ulkomaisen maakaasun korvaamiseksi?

Yksi opinnäytetyön liitteistä on salainen opinnäytetyön toimeksiantajan pyynnöstä. Laskenta ja esimerkit ovat kuitenkin johdonmukaisia ja ne antavat oikeanlaisen kuvan tutkimuksen tuloksista.

LÄHTEET

Energiateollisuus ry. 2007. Kaukolämmön kiertoveden käsittely. Suositus KK3/2007. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://energia.fi/ajankoh-
taista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki](https://energia.fi/ajankoh-
taista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki) [viitattu 26.4.2019].

Energiateollisuus ry. 2013. Kaukolämpöjohtojen suunnittelu- ja rakennusohjeet. Suositus L11/2013. PDF-dokumentti. Päivitetty 30.1.2018. Saatavissa: https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki [viitattu 18.3.2019].

Energiateollisuus ry. 2019. Energiavuosi 2018 – Kaukolämpö. Esitys. WWW-dokumentti. Päivitetty 16.1.2019. Saatavissa: [https://energia.fi/ajankoh-
taista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi_2018_-_kauko-
lampo.html](https://energia.fi/ajankoh-
taista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi_2018_-_kauko-
lampo.html) [viitattu 17.3.2019].

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2009. Tutki ja kirjoita. 15., uudistettu painos. Helsinki: Tammi.

Ilmatieteen laitos. 2019. Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. CSV-dokumentti. Päivitetty 1.4.2019. Saatavissa: [https://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystar-
veluvut](https://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystar-
veluvut) [viitattu 25.4.2019].

Kananen, J. 2013. Case-tutkimus opinnäytetyönä. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 143.

Kiuru, T. 2019. Energiapäällikkö. Puhelinkeskustelu 3.6.2019. Lappeenrannan Energia Oy.

Koskelainen, L., Saarela, R., Sipilä, K. & Nuorkivi, A. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Energiateollisuus ry.

KPA Unicon Oy. 2010. Kattilalaitoksen prosessitekniset käyttöohjeet.

Kylliäinen, A. 2019. Verkostopäällikkö. Sähköpostikeskustelu. 29.3.2019. Lappeenrannan Energiaverkot Oy.

Lappeenrannan Energia. 2019. Yritys. WWW-dokumentti. Päivitetty 22.1.2019. Saatavissa: <https://www.lappeenrannanenergia.fi/yritys> [viitattu 6.3.2019].

Lappeenrannan Energia Oy. 2018. Yritysesittely. Powerpoint-esitys.

Lappeenrannan Energiaverkot. 2018. Lappeenrannan Energia. WWW-dokumentti. Päivitetty 18.6.2018. Saatavissa: [https://www.lappeenrannanener-
gia.fi/yritys/lappeenrannan-energiaverkot](https://www.lappeenrannanener-
gia.fi/yritys/lappeenrannan-energiaverkot) [viitattu 6.3.2019].

Lappeenrannan Energiaverkot Oy. 2019. Aloituspäätös 30.1.2019. Lappeenranta.

Laukkanen, P. 2013. Investoinnin kannattavuus ja investointiprosessi. Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu. Liiketalouden koulutusohjelma. PDF-

dokumentti. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/66157/Laukkanen_Paavo.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 5.6.2019].

Motiva Oy. 2016. Kulutuksen normitus. Laskentakaavat ja ohjeet. PDF-dokumentti. Päivitetty 12/2016. Saatavissa: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiansaanti/kulutuksen_normitus [viitattu 24.4.2019].

Motiva Oy. 2019. Lämmin käyttövesi. Laskukaavoja. WWW-dokumentti. Päivitetty 6.2.2019. Saatavissa: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiansaanti/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi [viitattu 24.4.2019].

Mäkelä, V.-M. & Tuunanen, J. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkelin ammattikorkeakoulu. C: Oppimateriaalia – Study Material 16. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf> [viitattu 6.3.2019].

Nummikoski, P. 2019a. Käyttöinsinööri. Puhelinkeskustelu 9.5.2019. Lappeenrannan Lämpövoima Oy.

Nummikoski, P. 2019b. Käyttöinsinööri. Puhelinkeskustelu 3.6.2019. Lappeenrannan Lämpövoima Oy.

Parviainen, T. 2019. Toimitusjohtaja. Sähköpostikeskustelu 7.2.2019. Lappeenrannan Lämpövoima Oy.

Päätös ympäristöluvan hyväksymisestä. 2012. Nro 93/2012/2. Aluehallintovirasto. Etelä-Suomi.

Rauhan loma-asuntomessujen ja lähialueen energiaratkaisut. 2012. Järjestelmän kuvaus ja perustelut energiatukihakemukseen. One1. Lahti.

Rauhan lämpökeskus. 2010. Kattilalaitos 6 + 3 MW, 10 bar, 120 °C. PI-kaavio.

Tamminen, M. 2019. Toimitusjohtaja. Puhelinkeskustelu 8.5.2019. Ranta-Putki Oy.

Tilastokeskus. 2019. Energian hinnat. WWW-dokumentti. Päivitetty 13.3.2019. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehi/2018/04/ehi_2018_04_2019-03-13_tau_002_fi.html [viitattu 5.6.2019].

Toivola, E. 2019a. Verkostomestari. Puhelinkeskustelu. 23.4.2019. Lappeenrannan Energiaverkot Oy.

Toivola, E. 2019b. Verkostomestari. Sähköpostikeskustelu. 24.4.2019. Lappeenrannan Energiaverkot Oy.

Rauhan alueen kaukolämpöverkosto -kartta



Osaluettelo ja laskelma kustannuksista