

LUT YLIOPISTO
School of Energy Systems
Energiatekniikan koulutusohjelma

Mira Helve

HIILINEUTRAALIN KAUKOLÄMPÖTUOTANTOJÄRJES- TELMÄN KANNATTAVUUSTARKASTELU

Työn tarkastajat: Professori, TkT Esa Vakkilainen, TkT Jussi Saari

Työn ohjaaja: DI Taisto Tallavaara

TIIVISTELMÄ

LUT yliopisto
School of Energy Systems
Energiatekniikan koulutusohjelma

Mira Helve

Hiilineutraalin kaukolämpötuotantojärjestelmän kannattavuustarkastelu

Diplomityö 2021

Tarkastajat: Professori, TkT Esa Vakkilainen, TkT Jussi Saari

Ohjaaja: DI Taisto Tallavaara

85 sivua, 26 kuvaa ja 6 liitettä

Hakusanat: kaukolämpö, kannattavuustarkastelu, energiantuotanto, lämpölaite, hiilineutraali, hukkalämpö, investointi

Työssä on tarkasteltu asiakkaan kaukolämpöenergiantuotantoa, joka tällä hetkellä perustuu 80 %:sti fossiilisiin polttoaineisiin. Tulevaisuudessa tavoitellaan hiilineutraalia lämmöntuotantoa ja siksi investointeja suunnitellussa tulee tarkastella lämmöntuotannon polttoainesektoreiden monipuolisuutta. Tarkastelu on tarpeen, jotta voidaan huomioida myös kaukolämmön kilpailukyvyyn ylläpitäminen. Yleisen energiapolitiikan mukaan fossiilisten polttoaineiden käyttöä pyritään vähentämään kasvihuoneilmiön hallitsemiseksi. Työssä tarkastellaan pääasiallisena polttoaineena käytettävän turpeen korvaamista uusilla hiilineutraaleilla lämmöntuotantomenetelmillä. Työn tavoitteena on tehdä kannattavuustarkastelu investointipäätöksen tueksi. Tutkimuksessa on selvitetty alueella saatavilla olevat uusiutuvat polttoaineet sekä muiden lämmöntuotantojärjestelmien soveltuvuutta lämmöntuotannon tarpeisiin. Työn tuloksena laadittiin kaksi erilaista lämmön tuotantomallia, joiden kannattavuutta on tarkasteltu omakustannehinnan muodostumisen avulla.

ABSTRACT

LUT University
School of Energy Systems
Degree Programme of Energy Technology

Mira Helve

Profitability analysis of a carbon-neutral district heating system

Master's Thesis 2021

Examiners: Professor, D.Sc. (Tech.) Esa Vakkilainen, D.Sc. (Tech.) Jussi Saari

Supervisor: DI Taisto Tallavaara

85 pages, 26 figures and 6 appendixes

Keywords: district heating, profitability analysis, energy production, heating plant, carbon neutral, waste heat, investment

The work has examined the customer's district heating energy production, which is currently based 80% on fossil fuels. In the future, carbon-neutral heat production will be pursued, and therefore the diversity of the heat production's fuel sectors must be considered when planning investments. A review is needed to take into account the competitiveness of district heating. General energy policy seeks to reduce the use of fossil fuels to control the greenhouse effect. The work examines the replacement of peat used as the main fuel with new carbon-neutral heat production methods. The aim of the work is to make a profitability analysis to support the investment decision. The study has investigated the renewable fuels available in the area and the suitability of other heat production systems for heat production needs. As a result of the work, two different models of heat production were constructed, the profitability of which has been examined through the formation of the cost price.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö aloitettiin tammikuussa 2021 ja valmistui huhtikuussa 2021 Planora Oy:n toimeksiannosta.

Haluan kiittää asiakasta mielenkiintoisesta projektista sekä luottamuksesta. Lisäksi haluan kiittää työnantajaani Planora Oy:tä ja Markku Sarajärveä mahdollisuudesta osallistua diplomi-insinööriopintoihin työn ohella. Työ tarjosi minulle kokonaisvaltaisen näkemyksen ja perehtymisen kaukolämpöjärjestelmän liiketoimintamalliin. Kiitoksen ansaitsevat diplomityön ohjaamisesta diplomi-insinööri Taisto Tallavaara sekä professori Esa Vakkilainen.

Erityiskiitos kuuluu perheelleni sekä kummitädilleni, jotka ovat sinnikkäästi jaksaneet tukea minua opintojen, perhe-elämän ja työelämän yhteensovittamisessa.

Mira Helve

Kempeleessä 30.4.2021

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO

1	JOHDANTO	7
1.1	Tutkimuksen tausta.....	8
1.2	Tutkimusongelma	9
1.3	Tavoitteet	10
1.3.1	Tutkimuskysymykset	11
1.3.2	Hypoteesit	11
1.4	Tutkimusmenetelmät.....	12
1.4.1	Laadulliset menetelmät	12
1.4.2	Määrälliset menetelmät	14
1.5	Rajaukset	15
1.5.1	Fossiiliset polttoaineet.....	16
1.5.2	Geoterminen lämpö.....	17
1.5.3	Maalämpö.....	18
1.5.4	Energiaa varastoivat laitteistot	18
1.5.5	Aurinkoenergia.....	19
1.5.6	SRF-kierrätyspolttoaine	21
1.5.7	Sähkökattila varaajalla	23
1.6	Tutkimuksen rakenne	24
2	KAUKOLÄMMITYS	26
2.1	Kaukolämmön tuotanto Suomessa	26
2.2	Kaukolämmön jakelujärjestelmä	29
2.3	Kustannusrakenne.....	31
2.3.1	Kaukolämmön hinnoittelu.....	33
2.4	Kaukolämmöntuotannon haasteet	34
3	KAUKOLÄMMÖN TUOTANTO TOIMINTA-ALUEELLA	40
3.1	Kaukolämmöntuotannon tekniset luvut.....	40
3.2	Kaukolämpöverkoston tekniset luvut	41
3.3	Kaukolämpötuotannon nykyiset polttoaineet	42
4	KANNATTAVUUDEN MITTAAMINEN KAUKOLÄMPÖENERGIAN TUOTANNOSSA	43
4.1	Yleistä.....	43
4.2	Kannattavuuden tarkasteluun käytetyt mittarit.....	44

4.3	Tavoitteet.....	44
5	INVESTOINTIKARTOITUKSEN TOTEUTUS	46
5.1	Puupohjaisten polttoaineiden kartoituksen toteutus ja vastausten analysointi	47
5.1.1	Biopolttoaineseos	47
5.2	Muiden polttoaineiden kartoituksen toteutus ja vastausten analysointi	48
5.2.1	Biopyrolyysiöljy.....	48
5.2.2	LBG.....	49
5.3	Prosessiteollisuuden hukkalämpö.....	50
5.3.1	Lämpöpumppu	50
6	KANNATTAVUUSMITTARIT JA JATKOTOIMENPITEET	53
6.1	Kannattavuuden mallimittaristo	53
6.2	Investointipäätökseen vaikuttavat poltto- ja tuotantotekniikat.....	54
6.2.1	Kattilatekniikkojen soveltuminen kartoitetuille polttoaineille.....	54
6.3	Sijoituksen vaikutus investointiin.....	56
7	KAUKOLÄMPÖENERGIAN KANNATTAVUUSTARKASTELU.....	58
7.1	Tutkimuskohteiden valinta ja tietojen kerääminen.....	58
7.2	Tutkimuskohteet	58
7.2.1	Malli A	58
7.2.2	Malli B	59
7.3	Investointikustannukset	60
7.4	Lämmöntuotannon omakustannushinnan muodostuminen	61
7.5	Kannattavuus erilaisilla hintakehityksillä.....	65
7.6	Tulosten tarkastelu.....	68
7.6.1	Kaukolämpöenergian perustuotantoon soveltuva lämmön tuotantomuoto.....	68
7.6.2	Vara- ja huipputuotannon lämmöntuotantaselvitys	71
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	74
8.1	Tulosten hyödynnettävyys sekä jatkotutkimusehdotukset	76
9	YHTEENVETO	78
	LÄHTEET	79

LIITTEET

- Liite 1. Rajattujen lämmöntuotantomuotojen alustavat investointikustannukset
- Liite 2. Tarjousvertailut
- Liite 3. Lämpöpumpun mitoitusarvot tarjouspyyntöä varten
- Liite 4. Alustavat investointikustannukset
- Liite 5. Omakustannushinnat -taulukko
- Liite 6. Herkkyystarkastelut

SYMBOLILUETTELO

Lyhenteet

CHP	combined heat and power (yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto)
COP	lämpöpumpun hyötysuhdekerroin
IEA	International Energy Agency
IRENA	International Renewable Energy Agency
LBG	liquid biogas (nesteytetty biokaasu)
LNG	liquid natural gas (nesteytetty maakaasu)
LPG	liquefied petroleum gas (nestekaasu)
VM	Valtionvarainministeriö
VN	Valtioneuvosto
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
YM	Ympäristöministeriö

1 JOHDANTO

Diplomityön tutkimuksen aiheena on kaukolämpötuotannon kehittäminen hiilineutraaliksi. Tutkittavassa kaukolämpöjärjestelmässä lämmön tuotanto perustuu 80 %:sti fossiilisiin polttoaineisiin, turpeeseen ja polttoöljyyn. Yrityksen hallitus on asettanut tavoitteen vähentää fossiilisilla polttoaineilla tuotettua kaukolämpöä hiilineutraalein ratkaisuin. Valitsin aiheen, sillä syventyminen lämmöntuotannon kustannusten muodostumiseen on hyödyllistä ja opettavaista. Diplomityö on tehty yritys A:lle yhteistyössä Planora Oy:n kanssa. Tutkimuksessa on keskitytty hiilineutraaleihin lämmön tuotantomuotoihin, joiden kannattavuutta on tarkasteltu omakustannushintojen avulla.

Diplomityön tavoitteena on tehdä kannattavuustarkastelu hiilineutraalista lämmön tuotantomuodosta. Kannattavuustarkastelun tarkoituksena on tukea yrityksen hallitusta toiminnan kehittämisen päätöksenteossa. Tavoitteeseen on pyritty kriittisen tarkastelun avulla, tiedustellen kustannusarvioita ja toimintamahdollisuuksia.

Lappeenrannan yliopiston energiatekniikan maisterivaiheen opinnot ovat antaneet lisätukea energiatekniikan tekniseen sekä liiketaloudelliseen osaamiseen. Diplomityö on opettanut katsomaan energiateollisuutta kokonaisuutena ja tarkastelemaan liiketalouden eri avainlukuja kannattavuuteen suhteutettuna.

Tutkimusta tehdessä on ollut mielenkiintoista tutustua Sanna Marinin hallituksen ja Suomen ilmastopaneelin asettamiin tavoitteisiin ja keinoihin saavuttaa hiilineutraalius energiantuotannossa. Lisäksi tutkimuksessa on perehdytty lämmöntuotannon polttoainesektoreiden soveltumisesta eri tehoryhmiin.

Tärkeimpinä lähteinä diplomityössä ovat olleet työnantajan antama kokemuspäätäinen tieto, Tilastokeskus, Energiateollisuuden materiaalit, Verohallinnon lämmöntuotannon polttoaineverotus sekä voimassa olevat lait.

1.1 Tutkimuksen tausta

Yritys A toimii kaukolämmönjakelijana toimialueellaan. Tällä hetkellä yritys B tuottaa kaukolämpöä muun muassa yritys A:n tarpeisiin turpeella ja biopolttoaineita polttamalla. Kaukolämpöasiakkaiden nykyinen vuotuinen energiantarve on noin 130 GWh.

Tutkimuksen taustamateriaalina käytettävää mittausaineistoa käytetään vuodelta 2019, sillä vuoden 2020 energiamäärät ovat olleet normaalia pienemmät eivätkä näin ollen ole relevantteja mittauspoikkeamien vuoksi. Vuoden 2017 mittausaineistossa on puolestaan ollut mukana vanha öljykattila, joka on sittemmin poistettu käytöstä.

Yritys A:n hallituksen kehittämissuunnitelmaan sisältyy kaukolämpöenergian saattaminen hiilineutraaliksi. Nykyinen lämmön-toimitussopimus päättyy yritys B:n kanssa lähivuosina, jolloin on aika tarkastella kaukolämpöenergian tuotantoa kannattavuuden ja kilpailukyvyn ylläpitämiseksi.

Energia- ja päästötavoitteet kiristyvät yhteiskunnallisesti, jolloin tulevaisuuden energiantuotannon polttoainesektoreiden tarkastelun tulee olla kriittistä. Yleisen energiapolitiikan mukaisesti fossiilisten polttoaineiden käyttöä pyritään vähentämään kasvihuoneilmiön hallitsemiseksi, jolloin myös lämmöntuotannon polttoaineena käytettävää turvetta pyritään vähentämään. Puupohjaiset polttoaineet ovat kasvattaneet osuuttaan energiantuotannon lähteenä, sen hyvän saatavuuden ja matalan hinnan ansiosta. Energiapolitiikan muuttaessa energiantuotannon päästövaatimuksia ja puupohjaisten polttoaineiden kysynnän kasvaessa, ovat ennustettavissa puupohjaisten polttoaineiden hintojen nousu ja saatavuusongelmat. Uusissa investoinneissa pyritään huomioimaan fossiilisten polttoaineiden korvaaminen muilla polttoainesektoreilla, erityisesti kaukolämpöenergian perustehon tuotannossa.

Yritys A on todennut investointitarpeen kaukolämmön tuotannon kehittämisessä hiilineutraaliksi. Tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa lämmöntuotannon investointivaihtoehtoja samalla varautuen kaukolämpöenergian tuotannon kasvuun. Tutkimuskysymyksien avulla selvitetään lämmön tuotantovaihtoehtojen kokonaistaloudellisia tekijöitä laskemalla ja vaihtoehtojen vertailulla. Tutkimuksesta saadut tulokset esitetään yritys A:lle investoinnin pääomatarpeen, rahoituksen suunnittelua sekä päätöksentekoa varten.

Tutkimuksen kohteena oleva investointihanke perustuu operatiivisiin investointeihin, jolloin tavoitellaan yritys A:n asettamaa tavoitetta hiilineutraalista kaukolämpöenergiasta. Lisäksi investointihanke perustuu strategisiin investointeihin, jolloin investointi vaikuttaa yrityksen toiminnan toimintarajoihin. (Ikäheimo et. al, 2019, 176)

Tutkimuksessa on huomioitava yritys A:n lämmön tuotantotarpeiden muutokset, kokonais-taloudellisuus, lämmön tuotantolaitoksen elinkaari ja toimintavarmuus, tavoitteet hiilineut-raalista lämmöntuotannosta sekä vastuullinen yritystoiminta.

Eri polttotekniikoiden ja polttoainevaihtoehtojen esilletuonnissa on huomioitu soveltuvuus kohteeseen ja karsinta tehdään aikaisempien tutkimuksien ja suositusten perusteella.

Kannattavuuslaskennassa ei pyritä liian yksityiskohtaiseen kustannusrakenteen erittelyyn, vaan keskitytään tärkeimpien investointien pääoma- ja käyttökustannuksista muodostuvan kaukolämpöenergian omakustannehinnan tarkasteluun.

Projekti, johon tutkimuskohde sisältyy noudattaa yleistä lämpöratkaisun hankintamenette-lyä. Projektin hankintamenettelystä on mahdollista lukea lisää lähteestä: Puhakka, Asko. Lämpöratkaisun hankintamenettely, kuntataajama. 2012. Helsinki. Motiva Oy.

1.2 Tutkimusongelma

Tutkimusongelmana ovat tulevaisuuden näkymät, jossa yhteiskunta pyrkii hidastamaan il-mastonmuutosta. Sen seurauksena myös muun muassa energiateollisuuden päästöjen val-vonta tarkentuu ja savukaasujen tarkkailu tehostuu. Hiilinielut hupenevat valtakunnallisen polttoainesektorin kohdistuessa puupohjaisiin polttoaineisiin, joka aiheuttaa epävarmuutta puupohjaisten polttoaineiden saatavuuteen. Polttoainetarastojen huventuessa on ennustetta-vissa, että puupohjaisten polttoaineiden kustannukset nousevat. Hintojen nousu puolestaan vaikuttaa kaukolämmön energiahinnan nousuun ja heikentää kaukolämmön kilpailukykyä.

Haastavinta tutkimuksessa on ympäristöpoliittisten muutosten skenaario. Suomen ilmasto-paneeli on tehnyt tammikuussa 2021 raportin suosituksista, joita ilmastolakiin kirjattaisiin pitkän aikavälin päästö- ja nielutavoitteista. Ilmastolakiin on tarkoitus päivittää keinot, joilla

saavutetaan hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä. Tavoitteena on rajoittaa maailman keskilämpötilan nousu 1,5 asteeseen Pariisin ilmastopimuksen mukaisesti. (Suomen ilmastopaneeli, 2021)

Tutkimuksen avulla pyritään ennakoimaan ympäristöpolitiikan tuomia muutoksia kustannuksiin. Ajallisesti tutkimusprosessin tulokset vaikuttavat lämpölaitoksen eliniän verran.

Tulevaisuuden epävarmuuden vuoksi on haasteellista huomioida kaikki investointiin liittyvät riskit. Epävarmuuksien vuoksi investoinnista aiheutuvia kustannuksia on rajattu oleellisiin osatekijöihin, kuten polttoaineen yksikköhinnan tarkasteluun sekä kaukolämpöenergian omakustannehinnan muodostumiseen. (Ikäheimo et. al, 2019, 175)

1.3 Tavoitteet

Yritys A:n hallituksen tavoitteena on kehittää kaukolämpöenergian tuotanto hiilineutraaliksi. Tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa taloudellisesti kannattavia vaihtoehtoja fossiilisten lämmönpolttoaineiden korvaamiseksi. Tutkimustuloksien tarkoituksena on tukea yrityksen hallitusta toiminnan kehittämisen päätöksenteossa.

Suomen ilmastopaneelin mukaan hiilineutraalius-määritelmän lähtökohdaksi luetaan kaikki ihmisperäiset kasvihuonepäästöt ja ilmakehästä poistettavat kasvihuonekaasut. Hiilineutraaliudella pyritään saavuttamaan nettonollapäästötila, jossa ihmistoiminnan synnyttämät kasvihuonekaasupäästöjen lähteet saadaan kompensoitua kasvihuonekaasuja poistavilla hiilinieluilla. (Lounasheimo et. al., 2020)

Lämmöntuotannon hiilineutraaliutta tavoitellaan uusien investointien kautta, jolloin lämmöntuotannon lähteenä käytettäisiin uusiutuvaa energiaa. Jotta kaukolämpöenergia säilyisi kilpailukykyisenä toimintana muihin kiinteistökohtaisiin lämmitysjärjestelmiin verrattuna, tulee tutkittavat kohteet tarkastella taloudellisesti omakustannehinnan muodostumisen avulla.

1.3.1 Tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tavoitteena on kehittää yritys A:n tarpeita vastaava kaukolämpöenergian tuotanto hiilineutraaliksi, ylläpitäen kaukolämmön kilpailukyky. Polttoainesektoreiden kartoittamisella tavoitellaan kiertotalouden ja energiasektorin kehittämistoimilla hiilineutraaliuden saavuttamista. (Planora, 2019)

Tutkimuskysymykset:

1. Mikä lämmön tuotantomuodoista on taloudellisesti kannattava?
2. Mistä lämmön tuotantomenetelmien taloudellisuus riippuu?

Tutkimustavoitteen mukaiset tutkimuskysymykset ovat suunnanneet ja rajanneet tutkimusaineiston hankintaa ja ohjanneet analyysiä. Tutkimustavoitteena on selvittää yritys A:lle kaukolämpöenergian tuotantoon taloudellisesti kannattavia polttoainevaihtoehtoja, kaukolämmön kilpailukyky huomioiden. Tutkimuksen välituloksien tarkastelussa otetaan huomioon yritys A:n hallituksen strategiset päämäärät. Tutkimus toteutetaan tutkivalla otteella, jolla tehdään esitutkimusta vaihtoehtoista asiakkaan tarpeiden kartoittamiseksi sekä kilpailukyvyn säilyttämiseksi.

Tutkimuksella pyritään saamaan taloudellista vertailua, kuten polttoainehintavertailu, lämpölaitoksen kustannusarvio sekä kaukolämpöenergian omakustannehinnan tarkastelu. Välivaiheiden tutkimustuloksille haetaan yritys A:n hyväksyntä, jolloin tutkimuksen suunta saattaa muuttua asiakkaan tarpeiden mukaisesti.

Investointimahdollisuuksien kartoituksessa lähtökohtana pidetään yritys A:n hallituksen tavoitetta hiilineutraalista lämmöntuotannosta. Vaihtoehtoja kartoittaessa pyritään tunnistamaan keskeisimpiä kustannuksia ja hahmottamaan investoinnin epävarmuustekijöitä.

1.3.2 Hypoteesit

Tutkimuksen päähypoteesina on kilpailukykyisen energiahinnan varmistaminen kaukolämmöntuotannolle.

- Yritys A:n tavoitteena on vastata kasvavaan kaukolämmön kysyntään hiilineutraalisti kestävä kehitys huomioiden.

- Alueella toimivien polttoainetoimittajien yhteistyökyvykkyyden ja polttoainekustannuksien selvittäminen.
- Alueella toimivan teollisuuden prosessihukkalämmön saatavuuden ja yhteistyökyvykkyyden kartoittaminen.
- Miten investointien aiheuttama energiahinnan kasvu voidaan rajata?

1.4 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksen tutkimusmenetelmät on kohdistettu tasolle, jolla saadaan tehtyä luotettava kannattavuustarkastelu investointipäätöksen tueksi. Kannattavuustarkastelussa esitetyt lähtötiedot ja tulokset ovat sen hetkisiä tietoja ja arvioita.

1.4.1 Laadulliset menetelmät

Tutkimuksen keskeisinä lähtöaineistoina käytetään standardeja, valtioneuvoston säädöksiä, lakeja sekä pääministeri Sanna Marinin hallituksen hallitusohjelman mukaan valtioneuvoston kehittämishankkeiden raportteja. Tutkimusta tehdessä varmistetaan, että kyseiset lähtöaineistot ovat uusimpia ja voimassa olevia.

Tutkimuksessa käsitellään vaihtoehtoisen polttoainesektorin valintaa kokonaistaloudellisesti yksittäisenä tapaustutkimuksena. Tutkimuksessa ei pyritä yleistettävään tietoon, vaan tutkimustulokset ovat yritys A:n toiveiden mukaisesti ohjattuja. Tutkimuksessa otetaan huomioon polttoainesektoreihin vaikuttavat kontekstit. Fenomenologisen reflektoinnin avulla tutkimuksessa käsitellään polttoainesektorin valintaa ympäristösuojelulain, investointikustannusten, ympäristöpolitiikan ja yritys A:n hallituksen strategian välillä.

Tutkimuksessa ei tutkita tarkemmin eri lämpölaitosvaihtoehtojen elinkaarianalyysiä. Tiukkojen resurssien vuoksi tutkimuksen selvitysvaiheessa on huomioitu vertailuun vain lämpölaitoksen käyttöaika ja siihen liittyvät kustannukset.

Tutkimuksessa tavoitellaan asiakkaan etua, huomioiden alueellinen yhteistyö. Tämä rajoittaa tutkimustuloksien toistettavuutta ja alueellisten polttoaineiden saatavuuden kustannusanalyysiä.

Tutkimuksen luotettavuutta on tarkasteltava monesta eri näkökulmasta. Esimerkiksi prosesseollisuudesta saatavan hukkalämpöenergian hyödyntämiseen kohdistuvat alustavat kustannusarviot ovat projektin ja yhteistyökumppanin kannalta luotettavia arvioita, mutta näitä tuloksia ei voida yleistää muissa tutkimuksissa.

Tutkimuksen otanta on hyvin kapea, sillä rajaus on tehty kapeasti asiakkaan tarpeet ja tavoitteet huomioiden. Kohderyhmä on alueellinen, yritys A:n toimialue. Otantakoko on alueen yleisen ja luotettavan hintatason selvittämiseksi pieni, koska otantaan on valittu vain mahdolliset yhteistyökumppanit. Tutkimuksen tiedonkeruu suoritetaan tutkimalla kirjallisuutta, selvittämällä ominaisuuksia ja rajoitteita säädöksistä, laeista sekä raporteista ja kootaan kerätty tieto.

Tutkimus edustaa hiljaisen tiedon hyödyntämistä ja epävirallisia haastatteluja. Tutkimuksen tiedonkeruu ei kuvaa yleistä näkemystä vaan vain asiakkaan tarpeen mukaisen rajatun otoksen. Haastattelut suoritetaan suullisesti, puhelimitse ja sähköpostitse. Haastattelut ovat epämuodollisia tiedusteluja. Tutkimuksessa käytetään laskennallista analysointia kannattavuuden tarkasteluun ja asiakkaan päätöksen teon tukemiseen. Tutkimuksen keskiössä ovat tarpeiden ja tavoitteiden kuunteleminen. Hypoteeseja testataan tutkimuksen aikana kustannusarvioiden ohella. Kokonaistaloudellista kannattavuutta arvioidaan jokaisen välivaiheen jälkeen.

Haastattelut toteutetaan strukturoimattomana avoimena haastatteluna yritys A:n mahdollisille yhteistyökumppaneille helmikuussa 2021. Haastattelun tuloksia syvennetään reflektoidulla esille tullut hiljainen tieto toimittaja-asiakas-suunnittelija-reflektoinnilla.

Tutkimuksen kohteena olevan kaukolämpöenergian tuotantojärjestelmän kannattavuustarkastelu on eri vaihtoehtojen poissulkevien pääomakustannuksien vertailu, jossa vertaillaan useita investointivaihtoehtoja, joista pyritään valitsemaan kannattavin. Investointivaihtoehtoja arvioidaan myös toimintatapojen muodossa, onko kannattavaa ostaa kaukolämpöä teollisuuden prosessihukkalämmöstä vai tuotetaanko lämpöenergia itse.

1.4.2 Määrälliset menetelmät

Kvantitatiiviset tutkimustulokset luovat pohjan tutkimuksen tavoitteena olevalle investointipäätökselle. Tutkimuksessa käsitellään lämmöntuotannon omakustannehinnan numeraalista vertailua sekä selvitetään polttoaineiden ja eri lämmön tuotantomuotojen keskimääräisiä yksikköhintoja tuotettua energiaa kohti. Puupohjaisten polttoaineiden, kuten lajitellun kierrätyspuun hinta selvitetään suppeasti alueellisilta toimijoilta. Otos on suppea, mutta tulokset ovat realistisia energian omakustannehinnan määrittelyssä, yritysten mahdollisen yhteistyön solmimiseksi.

Lämpölaitoksen investointikustannusarviot lasketaan alustavien tarjouspyyntöjen sekä kokemusperäisen tiedon perusteella. Annettuun alustavaan tarjoukseen vaikuttaa ajankohta, sijainti, tilauskanta, projektin laajuus ja mahdollisesti saadut avustukset. Investointikustannuksia selvittäessä tehdään alustavia tarjouspyyntöjä urakoitsijoilta projektin tavoitteiden ja yksityiskohtaisten lähtötietojen mukaisesti.

Tutkimustyössä käytetään kokonaistaloudellisesti kannattavan arvion saamiseksi tutkimusmenetelmänä triangulaatiota. Triangulaatiossa käytetään tapaustutkimusta, kvantitatiivista sekä kvalitatiivista tutkimusaineistoa. Tutkimus on vertaileva tutkimus, jossa tapaustutkimusten kautta tutkitaan kokonaistaloudellisesti kannattavan energian tuotantomuodon suunnittelua. Tutkimukseen otetaan analyttinen lähestymistapa, jossa tutkimuksen välituloksia vertaillaan kannattavuuden ja strategian mukaisesti.

Tutkimuksen kvalitatiivinen puoli auttaa ymmärtämään asiakkaan tarvetta ja päätöksen syitä. Kvalitatiivinen tutkimusosa tulkitsee, analysoi kriittisesti sekä arvioi prosessia. Tutkimuksen lopputulos ei ole puhtaasti taloudellinen, vaan tuloksessa korostetaan lisäksi yrityksen strategiassa määritellyjä tavoitteita.

Tutkimuksen toteutus on kartoittavaa eli eksploratiivista tutkimusta, jolla tehdään esitutkimusta vaihtoehtoista asiakkaan tarpeiden kartoittamiseksi, kaukolämpöenergian kilpailukyvyn ylläpitämiseksi. Tutkimuksessa esiintyvien ilmiöiden väliset riippuvuudet ovat tiedossa, lämpölaitoksien kokonaiskustannuksien suuruus vaikuttaa verrannollisesti energiahinnan

suuruuteen ja kaukolämmön kilpailukykyyn. Tämän takia ilmiöiden keskinäinen vuorovaikutus on olennainen osa tutkimusta tehdessä.

1.5 Rajaukset

Tutkimustyö on rajattu asiakkaalle tehtävän kaukolämpöenergian kehittämisprojektista. Tutkimus rajoittuu projektin kannattavuuden selvittämiseen, jossa varsinaisia lämpölaitoshankintoja tai lupaprosesseja ei vielä toteuteta. Selvitysvaiheessa on kartoitettu kilpailukykyinen polttoainesektori sekä alustavien kustannusarvioiden mukaan tarkasteltu eri lämmön tuotantomuotojen kannattavuutta.

Tutkimuksessa on hyödynnetty paljon aiempia tutkimustuloksia lähtöaineistoina. Tutkimus on suoritettu tutkimusraportin osalta tilaajan sekä yritys A:n aikataulujen rajoissa, jolloin projektin selvitysvaihe on saatu toteutettua suunnitelmallisesti. Rajaus on tehty projektin alkuselvitykseen, jossa selvitetään kilpailukykyinen polttoainesektori sekä hankintaan alustavia kustannusarvioita kaukolämpöenergian kilpailukykyyn ylläpitämiseksi. Tutkimustyön tuloksien perusteella yritys A päättää jatkoselvityksistä sekä tekee investointipäätökset selvitetystä hankinnoista.

Tutkimuksen ensisijaisena kohteena on tarkastella tuotantomuotoja kaukolämpöenergian perustehon tuotantoon, jolloin hiilineutraalius lämmöntuotannossa nousee rajaavaksi tekijäksi. Vara- ja huipputehon tuotannossa hiilineutraaliuden edelle nousevat käytettävyys ja toimintavarmuus.

Alustavissa selvityksissä on kartoitettu yritys A:n kaukolämpöverkoston nykytilanne luomalla verkostomalli ja kalibroimalla malli mittaustrendiaineistoa käsittelemällä. Lisäksi verkostoon on tehty verkostolaskennat perus- ja varatuotantoa tarkastelemalla eri ulkolämpötiloilla. Verkoston optimoinnilla on tarkasteltu verkoston hyötysuhteet, paineet, lämpötilat sekä kartoitettu verkoston ja pumppauksen investointitarpeet. Lämpöhäviölaskelmissa on huomioitu verkoston lämpöhäviöt vuositasolla vain investoitavalle siirtolinjalle. (Planora, 2021)

Lähtötietojen kartoituksessa on selvitetty kaukolämpöenergian nykyiset kustannukset sekä arvio fossiililla polttoaineilla tuotettavan lämpöenergian kustannusten noususta. Alustava raja-
rajaus kaukolämmön kilpailukyvyyn ylläpitämiseksi on tehty tilastokeskuksen joulukuussa 2020 julkaistujen lämmitysenergian kuluttajahintojen perusteella. Puupellettilämmityksen kuluttajahinta on ollut joulukuussa 2020 keskimäärin 58,3 €/MWh (alv 24 %). Puupellettilämmityksen kustannukset ovat nousseet noin 4,1 % vuodessa. Kuluttajien kotitaloussähkölämmityksen hinta on ollut joulukuussa 2020 keskimäärin 136,5 €/MWh (alv 24 %). Sähköisen lämmitysjärjestelmän vuosikustannukset ovat laskeneet vuodessa noin 2 %. Kevyt polttoöljyn kuluttajahinta on ollut keskimäärin 76,9 €/MWh (alv 24 %). Kevyt polttoöljyn vuosikustannukset ovat nousseet keskimäärin 21,7 %.

1.5.1 Fossiiliset polttoaineet

Yleisesti ottaen fossiilisten polttoaineiden käyttö kaukolämpöenergian perustehontuotantoon on rajattu tutkimuksen ulkopuolelle, sillä fossiiliset polttoaineet eivät tue hiilineutraaliustavoitetta. Hiilineutraaliustavoitteen lisäksi fossiilisiin polttoaineisiin kohdistuva yleinen suhtautuminen ja poliittiset päätökset tuovat kannattavuuteen epävarmuuksia.

Lämmitys- ja voimalaitospolttoaineena käytettävistä kevyestä ja raskaasta polttoöljystä, kivihilestä, nestekaasusta ja maakaasusta maksetaan lämpöarvon perusteella määräytyvää energiasisältöveroa ja polttoaineen koko elinkaaren aikana syntyneiden keskimääräisten kasvihuonekaasupäästöjen perusteella määräytyvää hiilidioksidiveroa. Lämmityspolttoaineista maksetaan valmisteverotuksen lisäksi huoltovarmuusmaksua. Kaasumaiset ja kiinteät biopolttoaineet ovat verottomia ja eikä huoltovarmuusmaksua tarvitse maksaa. Poikkeuksena on polttoturpeen ja mäntyöljyn verotus, joka ei määräydy yleisen energiaveromallin mukaisesti lämpöarvon ja kasvihuonekaasupäästöjen mukaan. (Verohallinto, 2021)

LNG (liquid natural gas) eli nesteytetty maakaasu koostuu 84–98 %:sti metaanista. LNG:n vahvuutena on savukaasujen puhtaus sekä alhaiset CO₂-päästöt, sillä palamistuotteina syntyy stabiileja kaasuja. Kun maakaasu nesteytetään, kaasun mukana olevat epäpuhtaudet poistuvat. LNG:ssä olevia epäpuhtauksia ovat happi, hiilidioksidi, rikkivety ja vesi. Se on rikitön polttoaine, jolloin kattilan ja savukaasuputkiston syöpymisriski pienenee. (Planora, 2019)

Lisäksi LNG:n vahvuuksina toimivat vakaa hinta, luotettava tekniikka ja laitteiston vähäinen huoltotarve. Vaikka laitteiston huoltotarve on vähäinen, on laitteisto investointikustannuksiltaan kallis. Vaikka nesteytetyn maakaasun hinta on vakaa, ovat uhkana silti energiapolitiikan päätökset sekä verojen kiristyminen. Polttoaine- ja laitetoimittajia on markkinoilla rajoitetusti. (Planora, 2019) Liitteessä 1 on esitetty LNG-laitteiston alustavia investointikustannuksia.

LPG (liquefied petroleum gas) eli nestekaasu muodostu propaanista ja butaanista. Polttoaineena LPG on puhtaasti palava, mutta sen hiilidioksidipäästöt ovat maakaasua suuremmat, johtuen propaanin ja butaanin pidemmistä hiiliketjuista. LPG:n polttoprosessissa ei synny nokea eikä rikki- tai raskasmetallipäästöjä, jolloin suorapolttosovelluksen käyttö on mahdollista. Polttimen säädöllä on suuri merkitys, sillä typen oksidien synty riippuu liekin lämpötilasta. Puhtaasti palavana nestekaasu täyttää nykyiset päästöraajat. LPG:n hintakehitys on vaikeasti arvioitavissa LNG:n tavoin. (Planora, 2019)

LPG eli nestekaasu soveltuu ominaisuuksiensa puolesta vara- ja huipputehontuotantoon. Nestekaasun suurimpia hyötyjä on korkea lämpöarvo, jolloin nestekaasulla voidaan tuottaa enemmän energiaa polttoaineyksikköä kohden kuin öljyllä. Vaikka nestekaasun hinta seuraa fossiilisten polttoöljyjen hintaa, säästetään kustannuksissa pienemmän kulutuksen ansiosta. (Huttunen, 2017, 70)

Lisätehon tuotannossa LPG:n käyttöön siirtyessä öljykattikoiden polttimet, poltinlaitteistot ja venttiiliryhmiin tulisi investoida. Lisäksi LPG:n käyttöön siirtyessä tulisi tarkastella nykyisten öljysäiliöiden soveltuvuus LPG:n säilytykseen. Lisäksi höyrytimet, säiliöpään laitteistot sekä siirtoputkisto tulisi investoida. Hiilineutraalius tavoitteen vuoksi LPG:n investointikustannuksia ei ole tarkasteltu.

1.5.2 Geoterminen lämpö

Geotermisen lämpöjärjestelmän avulla voidaan hyödyntää maan sisäistä lämpöenergiaa päästöttömästi. Vettä kierrättämällä porattuun kaivoon saadaan hyödynnettyä kallioperän luonnollinen lämpö siirtämällä syntynyt lämpö lämmönvaihtimen kautta

kaukolämpöverkoston. Keskisyvä geoterminen lämpökaivo voi olla 1000–2000 metrin syvyinen. (ST1 Lähienergia Oy, 2020)

Kesäaikaisen kaukolämpötehon tuotantoon tulisi investoida 5 MW:n geoterminen lämpöjärjestelmä. Alustavien laskelmien mukaan kilometrin syvyisillä geotermisillä lämpökaivoilla energiakustannus vastaa tällä hetkellä öljylämmityksen kustannuksia. Keskisyvän geotermisen lämpöjärjestelmän alustavissa investointikustannuksissa ei ole huomioitu maaperätutkimuksen ja maaperän koostumuksesta aiheutuvia lisäkustannuksia. Liitteessä 1 on esitetty geotermisen lämpöjärjestelmän alustavia investointikustannuksia.

1.5.3 Maalämpö

Maalämpöjärjestelmässä maaperän lämpöä voidaan hyödyntää asentamalla lämmönkeruuputkia noin 100–300 metrin syvyyteen. Putkissa kiertävä lämmönsiirtoneste kerää lämpöä maaperästä ja lämpöpumppu nostaa lämpötilan vaaditulle tasolle (COP-luku 3). Maalämpöjärjestelmällä on Energiateollisuus ry:n teettämän tutkimuksen mukaan Suomessa käytetyistä lämmitysmuodoista ylivoimaisesti paras julkisuuskuva. (Motiva, 2018)

5 MW:n kesäaikaisen kaukolämpötehon tuotantoon tarvittaisiin alhaisen menolämpötilan vuoksi noin 300 noin 250 metrin syvyyttä lämpökaivoa, joiden maapinta-alan tarve on noin kahdeksan hehtaaria. Maalämpöjärjestelmän alustavissa investointikustannuksissa ei ole huomioitu maaperätutkimuksen ja maaperän koostumuksesta aiheutuvia lisäkustannuksia. Maalämpöjärjestelmä on rajattu kaukolämmön perustehon tuotannosta suurien investointikustannuksien ja suuren maapinta-alan vuoksi. Liitteessä 1 on esitetty maalämpöjärjestelmän alustavia investointikustannuksia.

1.5.4 Energiaa varastoivat laitteistot

Energiaa varastoivat akut ja laitteistot pyrkivät hyödyntämään sähkömarkkinahinnan vaihteluita varastoimalla edullista energiaa kaukolämpöenergian tuotannon tarpeeseen.

Suola-akut eli natriumakut koostuvat merivedestä ja suolakaivoista kaivettavasta suolasta, kivihiilestä ja sellusta erotetusta hiilestä, öljynerotusprosessin sivutuotteena syntyvästä rikkistä ja hiekasta. Akun kuori valmistetaan metalleista. Natriumakuissa ei ole yhtä paljon energiaa kuin litiumakuilla, sekä niitä on myös vaikea ladata. Natriumakkujen

katodimateriaalin pinnalle kerääntyy natriumkiteitä, jotka passivoivat natriumionien virtauksen ja vähitellen tuhoaa akun. Natriumakku soveltuu parhaiten sähkön pitkäkestoiseen varastointiin. Litiumakkujen hinta on noin 170 euroa kilowattitunnilta, natriumakun tavoitteellinen hinta on 60–105 euroa kilowattituntia kohden. (Hänninen, 2020)

Kotimaisella Elstor-laitteistolla tuotettu lämpöenergia tuotetaan sähköllä. Laitteiston avulla sähköä varastoidaan lämmöksi, jolloin voidaan hyödyntää sähkömarkkinahinnan vaihteluita. Yhden laitteiston varastointikapasiteetti on 5 MWh vuorokaudessa. Laitteiston lataustehon ollessa 0,75 MW, saadaan laitteistosta purettua 1 MW tehoa. Laitteistolla voidaan tuottaa 130°C kaukolämpöä tai jopa 180°C höyryä. (Elstor, 2021)

Laitteiston lämmöntuotantokyky ei riitä kattamaan koko kaukolämpöenergian tuotantoa kaukolämmön priimaustarpeet huomioiden. 4,8 MW:n kesäaikaisen kaukolämpötehon tuotantokapasiteetin korvaisi viisi rinnakkain kytkettyä Elstor-laitteistoa. Elstor-laitteistolla voidaan muuntaa ja varastoida myös erilaisista hybridijärjestelmistä, kuten aurinkoenergiajärjestelmästä, saatua energiaa kaukolämpöenergiaksi. (Planora, 2021)

Tällä hetkellä kaukolämpöenergian tuotantoon käytetty sähköenergia kuuluu sähköveroluokkaan I, jolloin käyttökustannukset tuotettua energiaa kohden ovat suuret kaukolämpöenergian tuottamiseen. (Planora, 2021)

Suurien käyttö- ja investointikustannusten vuoksi kaukolämpöenergian perustehontuotanto Elstor-laitteistolla ei ole kannattavaa. Yleisesti tämänhetkisten akkujärjestelmien suuret investointikulut sekä soveltumattomuus suuriin energiantuotantomääriin rajaa energiaa varastoivat laitteet tutkimuksen ulkopuolelle. Liitteessä 1 on esitetty Elstor-laitteiston alustava budjettihinta.

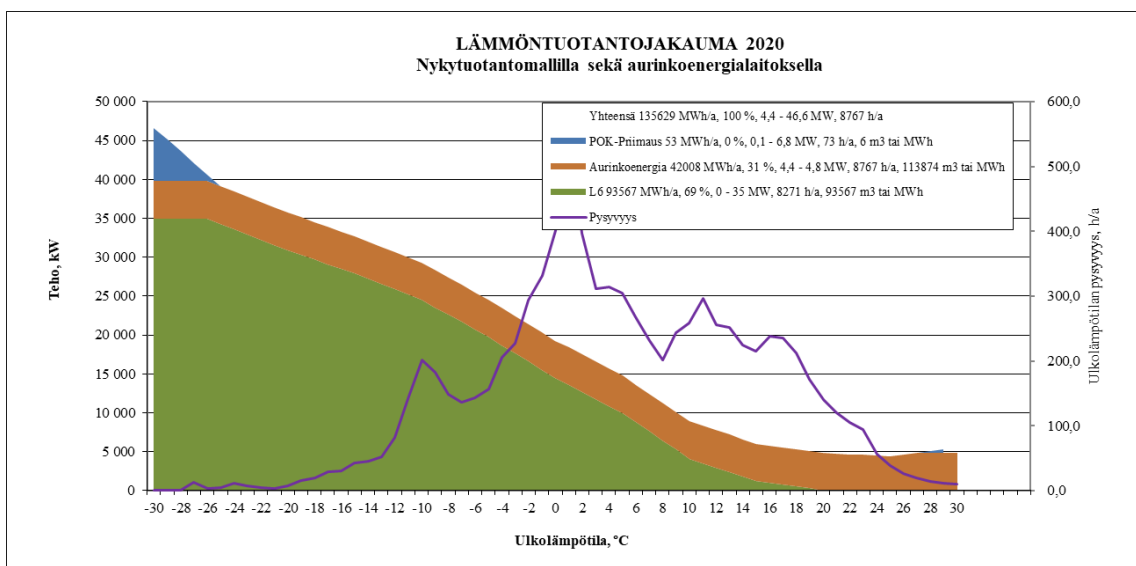
1.5.5 Aurinkoenergia

Teollisuuden aurinkoenergialla tarkoitetaan yleensä noin 50–500 m² keräilypinta-alan järjestelmiä. Kun yrityksen kulutus painottuu kesäkaudelle ja yritys käyttää suuria määriä matalaa lämpöä, on aurinkoenergiajärjestelmän kannattavuus paras. (Motiva, 2020)

Teollinen aurinkolämpöjärjestelmä koostuu aurinkokeräimistä, kiinnikkeistä tai telineistä, pumpuista ja varolaitteista, ohjausyksiköstä, paisunta-astiasta, lämmönsiirtoputkesta, putki-liittimistä sekä lämmönsiirtonesteestä. Järjestelmäkustannuksissa ei ole huomioitu lämpöenergiaa varastoivaa laitteistoa, kuten Elstor-laitteistoa, lämpöakkuja tai varaajaa. (Auvinen, 2016)

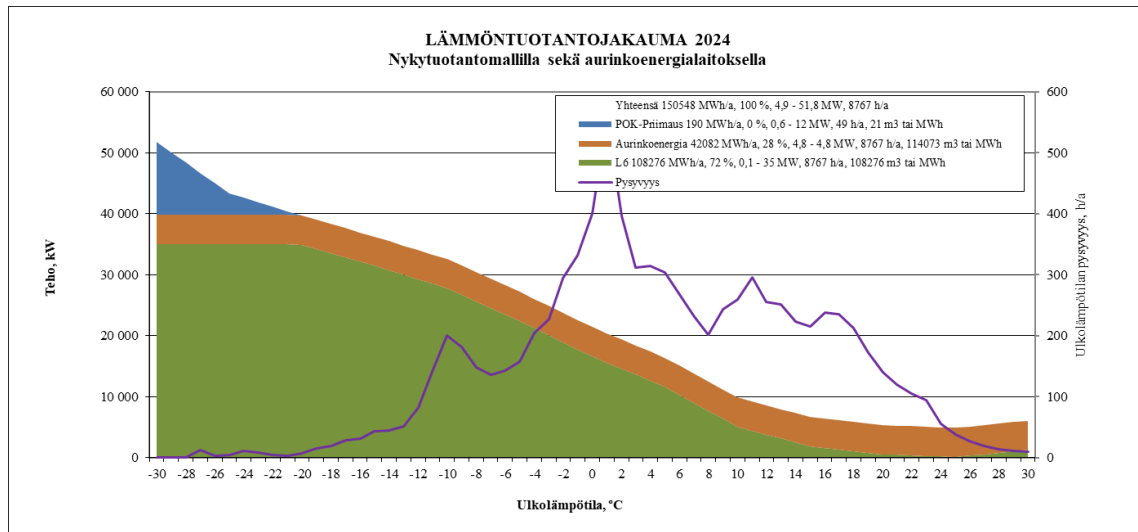
Kesäaikaisen kaukolämpöenergian huipputehontarve on noin 4,8 MW. Laskelmissa yhden paneelin tehona käytettiin 0,335 kWp, hyötysuhteena 14 % ja yhden paneelin kokonaan 1,6 m². Aurinkoenergiajärjestelmän vuosituotantoarvioksi saatiin 28.152 MWh. Paneelien tarvitsema pinta-ala on kesäaikaisen tehontarpeen tuottamiseksi noin 163.753 m² eli noin 16,4 hehtaaria. (Planora, 2021)

Kuvassa 1 on esitettyä lämmöntuotannon jakautuminen, mikäli aurinkoenergiajärjestelmällä tuotettaisiin ensisijaisesti kesäaikainen lämmön tarve. Tuotantomallia on tarkasteltu myös suuremmalla aurinkoenergiajärjestelmän tuottamalla osalla, mutta aurinkoenergiajärjestelmän omakustannushinta on huomattavasti nykyistä ostolämmön hintaa suurempi. Aurinkoenergiajärjestelmään investoitaessa kaukolämpötuotannon hiilineutraaliosuus nousee 20 %:sta 28,4 %:iin.



Kuva 1. Lämmöntuotannon jakautuminen aurinkoenergiaan investoitaessa.

Kuvassa 2 on havaittavissa lämpötehotarpeen kasvaminen tulevaisuudessa. Lisääntyvä kaukolämpötehon tarve tuotetaan kevyellä polttoöljyllä, jolloin aurinkoenergiajärjestelmän vaikutukset tulevaisuuden hiilineutraaliustaseeseen ovat vähäiset. Vuoden 2024 hiilineutraaliustase muuttuu 22,1 %:sta 27,5 %:iin.



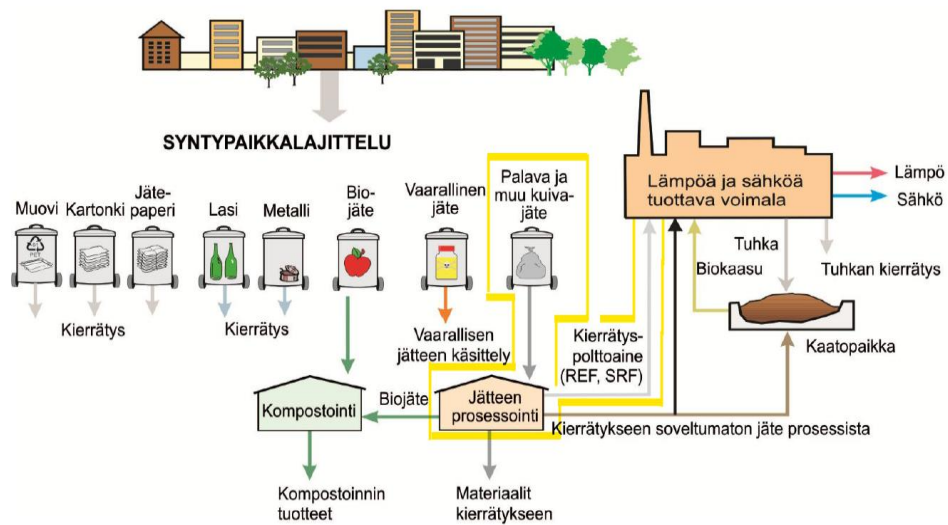
Kuva 2. Lämmöntuotannon jakautuminen aurinkoenergiaan investoitaessa.

Alustavien tutkimuksien mukaan aurinkoenergian hyödyntäminen kesäaikaisen kaukolämpöenergian tuottamiseen on taloudellisesti kannattamatonta suurien investointi ja pumpauksesta aiheutuvien käyttökustannusten vuoksi. Liitteessä 1 on esitetty aurinkoenergiajärjestelmän alustavia investointikustannuksia.

1.5.6 SRF-kierrätyspolttoaine

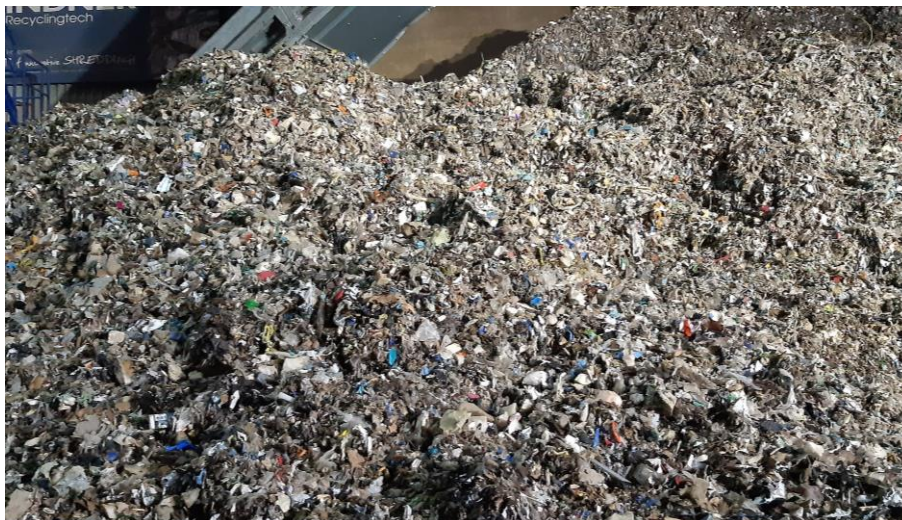
SRF-kierrätyspolttoaine on lajiteltua ja prosessoitua palavaa ja muuta kuivajätettä. Yhtensä vaihtoehtoisena polttoainesektorina on tutkittu SRF-kierrätyspolttoainetta, jolle yhteistyökumppaneiden mukaan ei tällä hetkellä ole hyödyllistä käyttökohdetta.

Keveyen rakenteensa vuoksi SRF-kierrätyspolttoaineen leviäminen ympäristöön tulee estää purkamalla polttoainekuorma katetussa katoksessa, jolloin kierrätyspolttoaine ei pysty leviämään tuulen mukana ympäristöön. Polttoaineena SRF-ei ole yksinään soveltuvaa polttoainetta lämmön tuotantoon sen hienojakoisuuden ja korkean energiapitoisuuden vuoksi. SRF-kierrätyspolttoainetta poltetaan seospolttona metsähakkeen kanssa, osuuksilla 80 % SRF-polttoainetta ja 20 % metsähaketta. (Planora, 2021)



Kuva 3. Syntypaikkalajiteltu SRF-kierrätyspolttoaineen tuotantoprosessi lämpöä tuottavaan laitokseen. (Alakangas et. al., 2016)

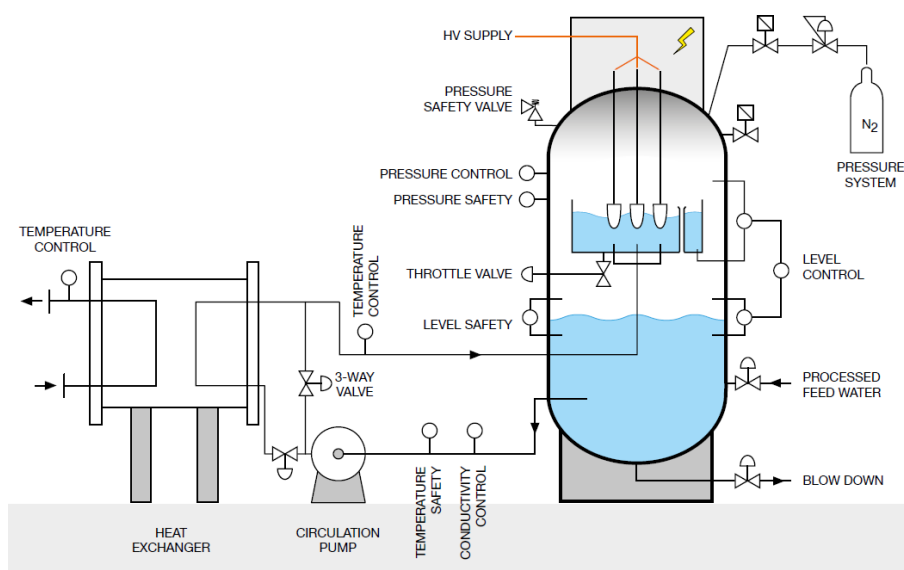
SRF-kierrätyspolttoaine luokitellaan tällä hetkellä jätteeksi, jolloin rakennettavan lämpölaitoksen tulee hakea ympäristölupa jätteenpolttolaitokselle. SRF-kierrätyspolttoaineen polttoainekustannukset ovat erittäin edulliset, mutta jätteenpoltoasetuksessa säädettyjen säästöjen noudattaminen tuo lisää investointikustannuksia kattilalaitokselle sekä pidemmät lupaprosessit verrattuna keskisuurten energiatuotantoyksiköiden ja -laitosten ympäristösuojausvaatimuksien alla olevissa kattilalaitoksissa. (Planora, 2019.)



Kuva 4. SRF-kierrätyspolttoaineen toimittajan varastokuva polttoaineen laadusta. (Planora, 2019)

1.5.7 Sähkökattila varaajalla

Sähkökattilatyyppejä on kahdenlaisia: elektrodikattiloita höyryn tuottamiseen ja vastuskattiloita kuuman veden tuottamiseen. Kaukolämpöveden lämmitykseen käytetään epäsuorasti ns. vastuskattiloita eli FIL-sähkökattiloita, jotka toimivat läpivirtausperiaatteella. Sähköenergian avulla tuotettavan lämpöenergian määrää voidaan säätää vastuksille syötettävän sähkövirran avulla tai paine- ja lämpötilamittaukseen perustuvan tehonsäädön avulla. (Ahonen, 2018. Kaukora Oy, 2014.)



Kuva 5. Sähkökattilan kuumavesijärjestelmän periaatekaavio. (PARAT, 2021)

Sähkökattila, lämmönsiirrin ja putkistot tulee mitoittaa täydelle teholle ja kokonaisvirtaukselle, mutta priimäuskäytössä tarvittavien säätöventtiileiden mitoituksessa huomioidaan virtaamien vaihtelu sekä jako sähkökattilalle ja ohitukseen menolämpötilan ohjaamana. Sähkökattilalla on oma itsenäinen ohjaus ja automaatio, joka toimii eri mittauksiin perustuvien parametrien perusteella sekä kattilalaitoksen operaattorin toimesta lämpölaitoksen automaatiojärjestelmän kautta. Käyttökohteesta ja teholuokista riippumatta kattilat kytketään putkiverkostoon siten, että lämmitettävä vesi kiertää aina pumpun avulla. Yli 120 kW:n sähkökattiloissa on sisäänrakennettu kuiviinkiehunnanestin. (Ahonen, 2018. Kaukora Oy, 2014.)

Sähkökattila soveltuu erityisesti kaukolämpöveden menolämpötilan priimauksessa sekä lämmöntuotannon varakattilana. Sähkökattiloiden tehoporrastus, -rajoitus, valinnanvarainen maksimiteho sekä kaukokäytön mahdollisuus mahdollistavat joustavan käytön.

Sähköenergian markkinahinta on keskimäärin noin 120 €/MWh. Kaukolämpöenergian tuotantoon käytetty sähkö verotetaan sähköveroluokan I mukaisesti, jolloin kaukolämpöenergian tuotantokustannukset nousevat korkeiksi. Suuren lämpötehotarpeen vuoksi sähkökattilan energian tarve nousee huonon hyötysuhteen vuoksi, jolloin tuotantokustannukset nousevat entisestään. Voidaan todeta, että uutta lämpölaitosta investoitaessa sähkökattilan ja varraajan avulla tuotettu kaukolämpöenergia ei ole kannattavaa. (Planora, 2021)

1.6 Tutkimuksen rakenne

Tämä tutkimusraportti koostuu seitsemästä luvusta, johtopäätöksistä sekä yhteenvedosta. Tämän johdantoluvun jälkeen luodaan katsaus aiempiin tutkimuksiin sekä tarkastellaan tutkimuksen taustaa. Tutkimusongelma muodostuu yhteiskunnan asettamien tavoitteiden muodostamien kehysten sisään. Tavoitteita tarkastellaan asetettujen tutkimuskysymysten ja hypoteesien kautta. Tavoitteiden ja tutkimusongelmien kautta määritellään tutkimuksessa käytettävät tutkimusmenetelmät sekä tutkimuksessa käytettävät rajaukset.

Toisessa luvussa käsitellään kaukolämmön perusteita ja hinnoittelua Suomessa, kaukolämpöjärjestelmän jakelujärjestelmän peruseriaatteita sekä haasteita, joita kaukolämmön tuotannossa esiintyy. Kolmannessa luvussa syvennyttään yritys A:n toiminta-alueen kaukolämpötuotannon -ja verkoston teknisiin lukuihin sekä nykyisessä kaukolämmöntuotannossa käytettäviin polttoaineisiin.

Neljännessä luvussa avataan, kuinka kannattavuutta voidaan mitata kaukolämpöenergian tuotannossa ja mitä mittareilla tavoitellaan. Viidennessä luvussa käsitellään investointikartoituksen periaatteita. Millä tavoin tutkittavat kohteet ovat valikoituneet. Luvussa käsitellään erikseen puupohjaiset kiinteät polttoaineet, muut biopohjaiset polttoaineet sekä muut lämmön tuotantotekniikat.

Kuudennessa luvussa käsitellään mallimittaristo, jota kannattavuuden tutkimisessa käytetään. Lisäksi käydään läpi investointikustannuksiin vaikuttavia poltto- ja tuotantotekniikoita sekä niiden soveltumista tutkimuskohteisiin. Tutkimuskohteiden investointikustannuksissa on lisäksi huomioitava lämmön tuotantolaitoksen sijoitukseen liittyviä huomioita ja mahdollisia lisäkustannuksia.

Seitsemännessä luvussa syvennyttään tutkittavien kohteiden valintaan ja tietojen keräämiseen. Tutkimuskohteiden määrittelyn jälkeen tarkastellaan kohteiden investointikustannuksia sekä omakustannushinnan muodostumista. Kannattavuutta tutkitaan erilaisilla hintakehyksillä, joiden avulla nähdään tutkimuskohteiden riskit. Lopuksi tarkastellaan saatuja tuloksia, joita kannattavuustarkastelun kautta on todettu kaukolämpöenergian tuotantoon.

Selvityksen tuloksista tehdyt johtopäätökset esitetään luvussa kahdeksan. Raportti päättyy liitteisiin, joissa listataan kirjallisuusviitteet sekä esitetään tutkimuksessa saadut tulokset.

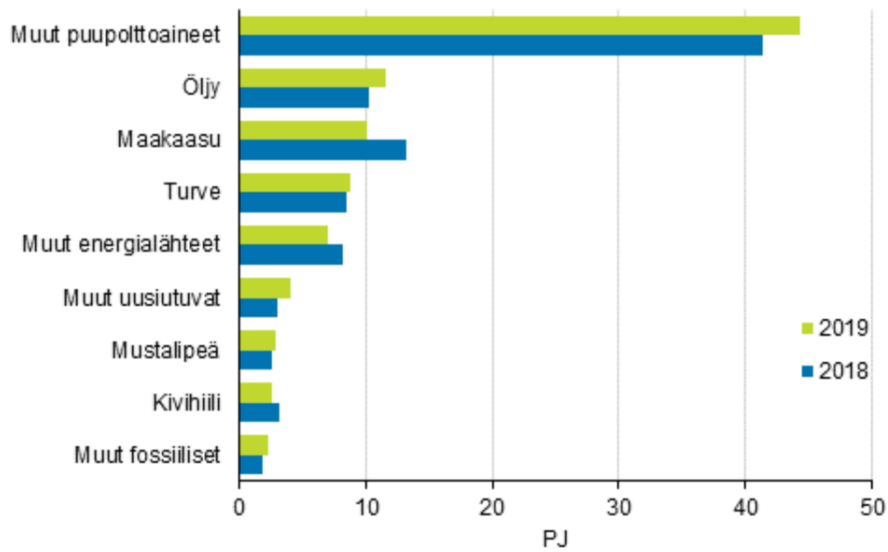
2 KAUKOLÄMMITYS

Kaukolämmitys on yksi Suomen merkittävimmistä lämmitysmuodoista ja teollisuuden aloista. Suomessa kaukolämmitys on alkanut yleistymään lämmitysmuotona 1970-luvulta lähtien kaupunkien ja suurempien kuntien taajamissa. Kaukolämpö on jatkuvasti kehittyvä lämmitysmuoto, jossa yhä kiristyvät ympäristötavoitteet nostavat vaatimuksia toiminnan kehittämistä, samalla antaen kasvupotentiaalia kaukolämmön myyntiin vihreämmän maineen myötä. (Energiateollisuus, 2006)

2.1 Kaukolämmön tuotanto Suomessa

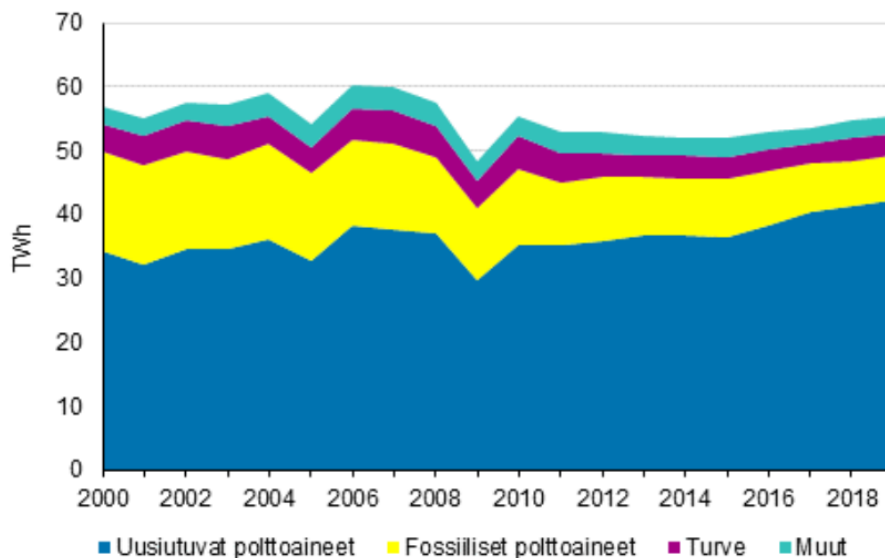
Suomessa tuotettiin vuonna 2019 kaukolämpöä yhteensä 38,1 TWh, joista uusiutuvilla polttoaineilla tuotettiin 15,2 TWh. Fossiililla polttoaineilla tuotettiin kaukolämpöenergiaa 13,2 TWh, johon ei ole sisällytetty turpeella tuotettua 5,7 TWh kaukolämpöenergian osuutta. Muiden energianlähteiden tuotannon osuus oli 4,0 TWh. Teollisuuslämpöä tuotettiin 55,4 TWh, joista noin 75 % tuotettiin kotimaisilla puupohjaisilla polttoaineilla. (Niininen, 2020)

Kuvasta 6 voidaan havaita fossiilisten polttoaineiden käytön vähenemisen kaukolämpöenergian tuotannossa vuonna 2019 jopa 14 % ja turpeen käyttö 9 % vuoteen 2018 verrattuna. Suurin osa kaukolämmöstä tuotettiin puupolttoaineilla (35 %) sekä kivihiilellä (18 %). Turpeella tuotetun kaukolämmön osuus oli 15 %. Muun hukkalämmön, lämpöpumppujen ja savukaasupesureiden tuottaman kaukolämpöenergian osuus on 10 % kokonaisenergian tuotannosta vuonna 2019. (Niininen, 2020)



Kuva 6. Polttoaineiden käyttö kaukolämpöenergian tuotannossa vuosina 2018 ja 2019. (Niininen, 2020)

Teollisuuslämmön tuotanto kasvoi vuosien 2018 ja 2019 välisenä aikana 0,4 % 55,4 TWh:iin. Suurimpiin teollisuuslämmön käyttäjiin kuuluva metsäteollisuus tuottaa energian omilla prosesseissaan, omilla polttoaineilla. Teollisuuslämmöstä 53 %:a on mustalipeällä tuotettua lämpöenergiaa. (Niininen, 2020)



Kuva 7. Teollisuuslämmön tuotanto polttoainesektoreittain. (Niininen, 2020)

Suomessa kaukolämpöenergian tuotantojärjestelmät voivat olla hyvin monipuolisia ja joustavia. Kaukolämpöä voidaan tuottaa lämpöä tuottavissa lämpölaitoksissa tai CHP-

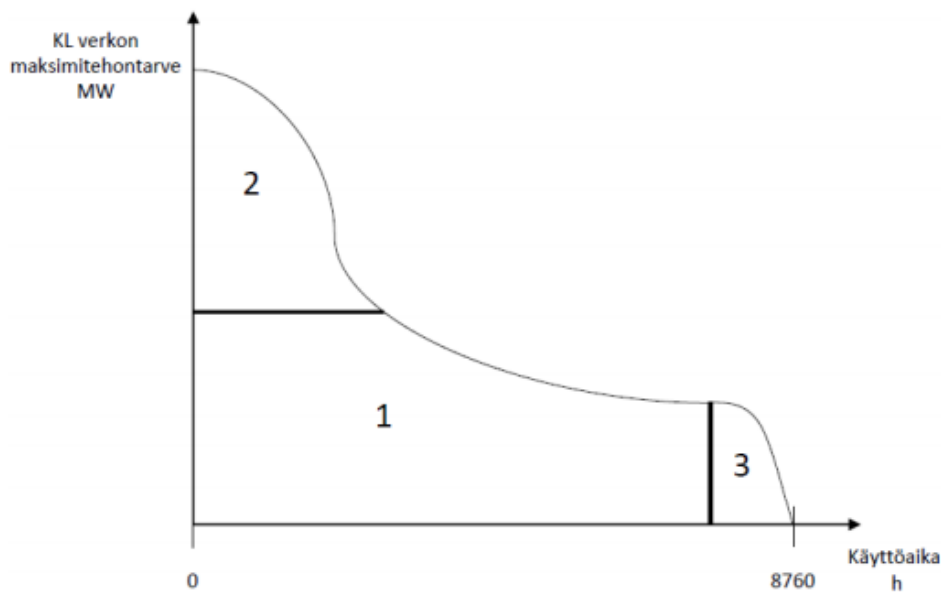
tuotantolaitoksissa. Kaukolämpöä voidaan tuottaa myös esimerkiksi suurilla lämpöpumppulaitoksilla tai geotermisellä lämpöjärjestelmällä. (Mäkelä et al. 2015, 22)

Lämmön tuotantolaitokset optimoidaan asiakkaiden tehontarpeen, verkoston siirtokapasiteetin sekä polttoaineiden hintasuhteiden perusteella. Optimoinnin avulla tehostetaan kaukolämpöjärjestelmän tuotantoa ja parannetaan liiketoiminnan kannattavuutta. Kaukolämmön tuotanto on optimaalista silloin, kun polttoainetta ei jouduta polttamaan turhaan. (Mäkelä et al. 2015, 22)

Kaukolämpötuotannon optimointiin vaikuttavat sähkön hinta, markkinatilanne, sähkön- ja lämmöntarve sekä niiden ennustettu kehitys. Lämpölaitosten käynnistysjärjestykseen ja tuotannon tehokkuuteen vaikuttavat polttoainekustannukset, pumppauksen tarve sekä sähkön kulutus. (Mäkelä et al. 2015, 22)

Kiinteän polttoaineen kaukolämpölaitos koostuu kattilasta, polttolaitteistosta sekä tuhkan kuljetin- ja käsittelylaitteista. Lämpölaitokseen kuuluvien polttoaineen kuljetin- ja käsittelylaitteiden sekä polttoainevarastojen omaisuudet vaihtelevat käytettävän polttoaineen mukaan. Paisunta- ja paineenpitojärjestelmien tarkoituksena on pitää kaukolämpöverkostossa optimoitu painetaso. (Energiateollisuus, 2006, 47. Mäkelä et al. 2015, 24)

Kaukolämpöjärjestelmän tuotantolaitosten mitoittamisessa käytetään apuna pysyvyyskäyrää, kuva 8. Pysyvyyskäyrä muodostuu asettamalla jokaisen tunnin tehontarve suuruusjärjestykseen vuoden jokaiselle tunnille. Kuvassa 8 numerolla 1 on esitetty peruskuormalaitoksella tuotettu osuus, numerolla 2 huippukuormalaitoksella tuotettu osuus ja numerolla 3 on esitetty varatuotantolaitoksilla tuotettu osuus. Pysyvyyskäyrän avulla voidaan mitoittaa peruskuormalaitoksen teho kattamaan noin 40–60 % huipputehosta. Tällöin peruskuormalaitoksella tuotetaan jopa yli 90 % kaukolämpöenergian vuosituotannosta. Huippukuormalaitosten käyttöaika on keskimäärin noin 3000 tuntia, loput tuotetaan eri peruskuormalaitoksilla. (Mäkelä et al. 2015, 28–31)



Kuva 8. Kaukolämmön tuotannon pysyvyyskäyrä.

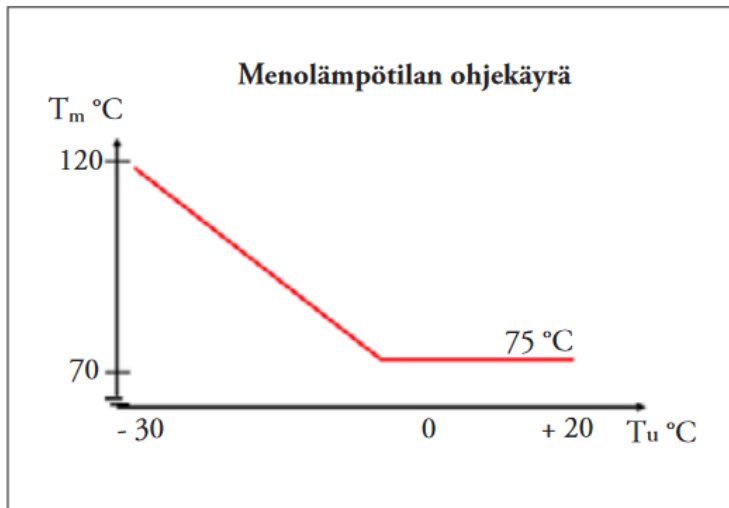
Kattilamitoituksessa on huomioitava kattiloiden säädettävyys kesäaikaista tehoa tuotettaessa. Esimerkiksi leijukerroskattilalla tuotettaessa minimiteho on noin 30 % nimellistehosta, kun arinakattiloilla tuotettava minimilämpöteho on noin 15–20 % nimellistehosta.

2.2 Kaukolämmön jakelujärjestelmä

Kaukolämpöä siirretään kaukolämpöverkoston avulla. Verkosto koostuu siirtojohdoista, runkojohdoista ja talojohdoista. Kaukolämpöverkoston rakentamiskustannukset muodostuvat putkimateriaaleista sekä rakentamiskustannuksista. Kaukolämpöverkosto on koko kaukolämpöjärjestelmän kallein osa, jolloin sen kestävyys, käytettävyys ja häviöt ovat keskeisessä roolissa. (Mäkelä et al., 2015, 50)

Kaukolämpöverkosto koostuu muun muassa meno- ja paluuputkesta, välipumppaamoista, venttiileistä, mittauslaitteista sekä erilaisista kiintopiste-, ohjaus- ja liikuntaelementeistä. Kaukolämpöä siirrettäessä kaukolämpöverkoston avulla, tärkeimmät kaukolämpöjärjestelmää ohjaavat tekijät ovat paine-ero meno- ja paluuputkien välillä sekä kaukolämpöverkoston menolämpötila. Paine-eroa säädetään siten, että kaikilla kaukolämpöverkoston kytkeytyillä asiakkaila tulee olla käytettävissään vähintään 60 kPa paine-ero. Kaukolämpöverkoston menolämpötilaa säädetään ohjekäyrän mukaisesti vastaamaan ulkolämpötilan edellyttämää lämpötilaa, kuva 9. Menolämpötilaa säädetään kattilalaitoksessa polttoaineesta saatavaa

tehoa säätämällä. Lähtevän kaukolämpöveden maksimilämpötilan määrittää verkoston suunnittelulämpötila, lämmöntuotannon vaatimukset sekä lämpöhäviöiden minimointi. (Mäkelä et al. 2015, 22–23, 51)



Kuva 9. Kaukolämmön menolämpötilan ohjearvo perustuen ulkolämpötilaan. (Mäkelä et al. 2015, 23)

Normaaleissa käyttötilanteissa kattilalaitoksilta lähtevän kaukolämpöveden ylin menolämpötila on 115 °C. Kesäaikana menoveden lämpötilan määrittelee käyttöveden lämmönsiirrimen 70 °C:en mitoituslämpötila. (Mäkelä et al. 2015, 23)

Kaukolämpöveden meno- ja paluuv veden välinen lämpötilaero, eli jäähtymä vaikuttaa tarvittavan tehon siirtoon vaadittavan tilavuusvirran suuruuteen. Kaukolämpöputkiston koko lasketaan vaadittavan vesivirran ja virtausnopeuden perusteella. Putkimateriaali ja putken sallittu painehäviö määrittelevät mitoituksessa käytettävän virtausnopeuden. Putkikokoa määriteltessä tulee huomioida tulevat käytön muutokset sekä mahdolliset tehon lisäykset. Jotta kaukolämpöverkoston toimivuus voidaan varmistaa, tulee kaukolämpöjärjestelmälle tehdä painehäviölaskenta. (Mäkelä et al. 2015, 52–54)

Lämmönjakokeskus yhdistää asiakkaan kaukolämpöverkostoon. Kaukolämpöveden jäähtymään vaikuttaa asiakkaan kaukolämpölaitteiden kytkennät ja säätöjärjestelmät. Mitoituksen ja suunnittelun avulla tavoitellaan taloudellista ja teknisesti toimivaa kaukolämpöjärjestelmää. Lämmönjakokeskus koostuu lämmönsiirtimistä, säätölaitteista, pumpuista ja muista

varusteista, joilla rakennuksen lämmityskohteisiin voidaan jakaa lämpöä. (Mäkelä et al. 2015, 64–65)

2.3 Kustannusrakenne

Suurimman osan kaukolämpöyrittötoiminnan kustannuksista aiheuttavat lämmönjakeluverkon ja lämpöä tuottavien laitosten käyttöomaisuusinvestointien pääomakustannukset. Suurien investointikustannuksien lisäksi kustannuksia aiheuttavat kaukolämpöverkostojen ja lämpölaitosten kiinteät käyttö- ja hoitokulut sekä muuttuvat kustannukset. (Energieollisuus, 2006, 465)

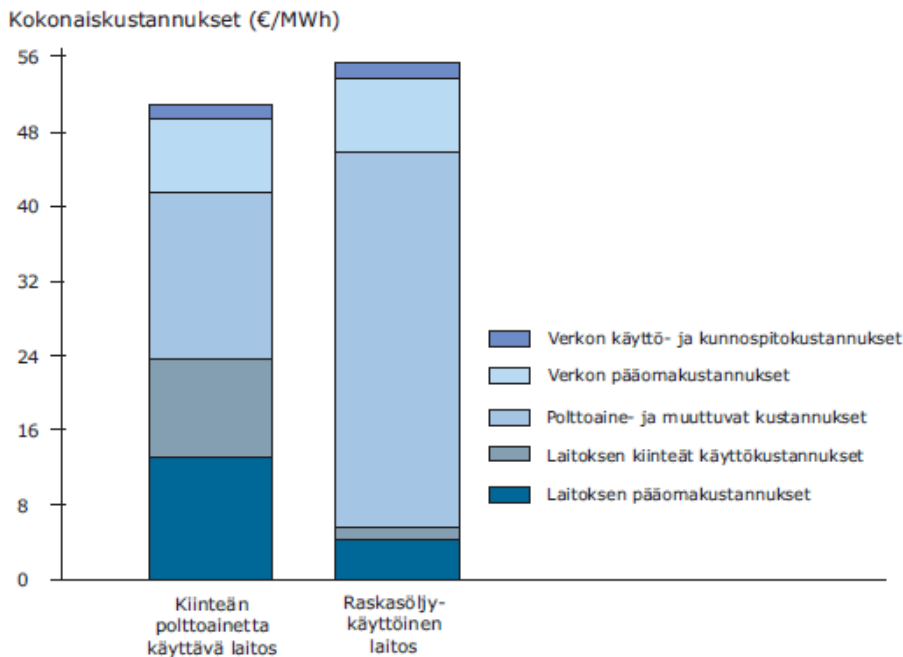
Yrityksen pääomakustannuksissa huomioidaan aineettomat hyödykkeet, maa-alueet, rakennukset ja rakenteet, tuotannolliset koneet ja laitteistot, kaukolämpöverkosto, muut koneet ja laitteet sekä finanssisijoitukset. Kaukolämpöä tuottavan yrityksen pääomakustannuksien rakenne muodostuu jo investointipäätöstä tehdessä. Suurin tuotantokustannuksiin vaikuttava tekijä on ostotehon ja oman lämmöntuotannon mitoitus. (Energieollisuus, 2006, 465–467)

Yrityksen kiinteisiin käyttö- ja hoitokuluihin otetaan huomioon kaikki kiinteät kustannukset, kuten esimerkiksi ulkopuoliset palvelut ja materiaalit, palkat sekä henkilöstökulut. Asiantuntevalla käytöllä ja kunnossapidolla voidaan vaikuttaa kiinteiden ja muuttuvien kustannusten määrään. (Energieollisuus, 2006, 465–466)

Muuttuvien kustannuksiin huomioidaan lämpömäärän ostot, lämmön tuotantoon käytettävien polttoaineiden hankinnat, polttoaine- ja tuotantoverot, päästöoikeudet, varaston hallinta sekä käytettävä pumppaus- ja omakäyttösähkö. Muuttuvissa kustannuksissa polttoainekustannukset ovat suurimmassa osassa hintasuhdanvaihteluiden sekä päästökaupan vuoksi. (Energieollisuus, 2006, 466–467)

Kaukolämpöä tuottavan yrityksen tuotot muodostuvat yleisesti hinnoittelujärjestelmän mukaisesti myyntituotoista, lämmön tuotantoon liittyvistä lisäpalveluista, liittymismaksuista sekä päästöoikeuksien myynnistä. (Energieollisuus, 2006, 466)

Kuvassa 10 voidaan havaita lämpölaitoksen polttoainevalinnan tuomat vaikutukset kustannusrakenteeseen. Raskaalla polttoöljyllä lämpöä tuottavan lämpölaitoksen polttoainekustannukset ovat jopa 70 % kokonaiskustannuksista. Puolestaan kiinteää polttoainetta käyttävän lämpölaitoksen pääoma- ja kiinteät käyttökustannukset ovat huomattavasti suuremmat. (Energiateollisuus, 2006, 467)



Kuva 10. Kaukolämmön käsikirjan esimerkkilaitosten kustannusrakenteet (Energiateollisuus, 2006, 467)

Kaukolämpöjärjestelmässä tulee seurata erityisesti savukaasuhäviöitä, hyötysuhteita, polttoainehävikkiä, häiriöistä muodostuvia tuotannon menetyksiä, kaukolämpöverkoston lämpö- ja mittaushäviöitä sekä käyttövarmuutta. Edellä mainittujen kustannustekijöiden seuraamisen avulla voidaan löytää potentiaalisia säästökohteita, jolloin saneerauksien ja investointien avulla voidaan pienentää kustannuksia. (Energiateollisuus, 2006, 466)

Lämmönhankinnassa polttoainekustannukset muodostavat merkittävän osan muuttuvista kustannuksista. Tuotantokustannuksiin vaikuttavat tehojen, kuten osto-, peruskuorma- ja huipputehon mitoituksen optimointi. Teho-osuuden huipun käyttöaikaa tarkastellessa kattilan maksimitehon suhdetta vuosittain tuotettuun energiaan. Ostettaessa perustehoa tai kiinteän polttoaineen kattiloita käytettäessä oikea tehomitoitus korostuu korkeiden pääomakustannusten vuoksi. Kun pääomakustannukset ja kiinteät käyttökustannukset jakaantuvat

pitkälle käyttöajalle, jäävät kokonaiskustannukset pienemmiksi ja kalliimmilla polttoaineilla toimivien vara- ja huipputehoa tuottavien kattiloiden käyttöä voidaan vähentää. Kiinteän polttoaineen kattilat tulee mitoittaa 40–60 % tehontarpeesta, jotta ne tuottavat 80–90 % vuositaisesta kokonaisenergian tarpeesta. (Energiateollisuus, 2006, 467–468)

2.3.1 Kaukolämmön hinnoittelu

Suomessa kaukolämmön kaupankäyntiä ohjaa lainsäädännön mukainen asiakkaan ja lämmönmyyjän välinen yksityisoikeudellinen lämpösopimus. Kaukolämmön hinnoittelussa on huomioitava yrityksen kannattava toiminta ja kilpailukykyisen toiminnan ylläpitäminen. Kaukolämpöä ostavan asiakkaan puoleen hinnoittelun on oltava kohtuullista, yksinkertaista, luotettavaa sekä kustannusvastaavaa. (Energiateollisuus 2006, 470. Mäkelä et. al., 2015, 116)

Suomessa on käytössä perinteinen kaukolämmön hinnoittelujärjestelmä, jonka perusteella hinnoittelu jakaantuu liittymis-, perus- ja energiamaksuun. Kaukolämmön piiriin liittyvä asiakas maksaa liittyessään liittymismaksun, joka kattaa yleensä enimmät investoinnin pääomakustannukset. (Energiateollisuus, 2006, 470)

Perinteisessä hinnoittelumallissa kaukolämpöasiakas maksaa perusmaksun kuukausittain lämmönhankinnan kiinteistä kustannuksista. Perusmaksulla voidaan kattaa liittymismaksusta kattamatta jääneet kustannukset. Perusmaksun avulla säädetään asiakkaan kokonaisuhintaa ja pidetään kaukolämpö kilpailukykyisenä lämmön tuotantomuotona. (Energiateollisuus, 2006, 470–471)

Perinteinen kaukolämpöhinnoittelumalli on kustannusvastaavaa. Kaukolämpöyritysten katsotaan olevan määräävässä markkina-asemassa, joten kilpailuviranomainen valvoo kaukolämpöyritysten hinnoittelua. Kohtuuttomuusrajoituksen lisäksi kaukolämmön hinnoittelua ohjaa hintasyrjinnän kieltäminen. Hinnoittelun on oltava tasapuolista, eikä poikkeavaa hinnoittelua hyväksytä. Hinnoittelua ohjaavat epäsuorasti myös tiukentuvat rakentamismääräykset, uudet energiatehokkuusdirektiivit, energiaverotus, päästökauppa sekä asiakkaiden muut lämmitysmuodot. (Korjus, 2016, 19–23)

Perinteisessä mallissa asiakkaan maksama energiamaksu sisältää kulutetun energiamäärän suuruisen lämmönhankinnan muuttuvat kustannukset sekä kaukolämpöverkoston pumpauskustannukset. Lämmönhankintarakenteen mukaan muodostuva energiamaksu vastaa lämmönhankinnan kiinteiden kustannusten ja käytettyjen polttoaineiden ja vuoden ajan mukaan määräytyviä rajaenergiakustannuksia. (Energiateollisuus, 2006, 471)

Uusia kaukolämmön hinnoittelumalleja on kehitetty perinteisen hinnoittelumallin rinnalle. Uusissa hinnoittelumalleissa pyritään parempaan kustannusvastaavuuteen sekä parempaan asiakastyytyvyyteen. Kaukolämpöjärjestelmän automaation ja uusien innovaatioiden kautta autetaan kaukolämmön kehittymistä, mahdollistetaan uusia tapoja säästää energiaa sekä parannetaan kustannustehokkuutta. Hinnoittelumallin muuttamisella voidaan saavuttaa riittävä kilpailukyky muihin lämmitysmuotoihin verrattuna. (Korjus, 2016, 51–53)

Uusilla hinnoittelumalleilla voidaan välttää hinnoittelun monimutkaisuus ja pyrkiä hinnoittelun avoimuuteen sekä helpompaan ennustettavuuteen. Uusien hinnoittelumallien kehitykseen vaikuttavat uusien teknologioiden tuomat mahdollisuudet sekä vaikutukset asiakkaiden käyttäytymiseen. Yksi tärkeimmistä syistä uuteen hinnoittelumalliin siirtymisessä on asiakkaiden maksaman hinnan, lämmöntuotannon sekä lämmöntoimituksen kohtaaminen. (Korjus, 2016)

2.4 Kaukolämmöntuotannon haasteet

Suomalainen energiajärjestelmä muuttuu jatkuvasti teknologiakehityksen sekä tiukkenevan ilmastopolitiikan seurauksena. Suomen hallituksen ilmastopolitiikka tavoittelee hiilineutraaliutta vuoteen 2035 mennessä. Hallitus edellyttää nopeutettuja päästövähennyksiä kaikilta sektoreilta sekä hiilinielujen vahvistamista. Hiilineutraaliutta tavoitellaan erityisesti lähes päästöttömällä sähkön- ja lämmöntuotannolla 2030-luvun loppuun mennessä. Kaukolämpöenergian tuotannossa erityisesti polttoteknisissä laitoksissa käytettävät polttoaineet ovat suuren muutoksen alla. Uusia lämmön tuotantomenetelmiä kehittäessä ja investoitaessa on kuitenkin riskinä kaukolämmön kilpailukyvyyn heikkeneminen. Kaukolämmön kilpailukyvyyn ylläpitäminen edellyttää, että kustannukset ovat pienemmät verrattuna vaihtoehtoisten lämmitysmuotojen kustannuksiin. (Energiateollisuus, 2006, 471. Ympäristöministeriö, 2019)

Suomen ilmastopaneelin mukaan hiilineutraalius voidaan tavoittaa saavuttamalla nettonollapäästötila, jossa kyseisen toiminnan aiheuttamat kasvihuonepäästöt rajatulla alueella ovat yhtä suuret kuin poistumat. Energia- ja prosessiperäiset kasvihuonekaasupäästöt otetaan huomioon nettonollapäästötilanteen tavoittelussa. (Seppälä et al. 2019, 7–8)

Hiilineutraaliuden tavoittelun avulla on pyritty torjumaan globaalia ilmastonmuutosta, mutta päästövähennystoimissa ei ole edetty riittävän nopeasti ilmastonlämpenemisen estämiseksi. Pariisin sopimuksen hyväksyneet osapuolet ovat sitoutuneet saavuttamaan ilmastoneutraaliuden, jossa ihmistoiminnan synnyttämät kasvihuonekaasujen päästöt ja ihmistoiminnan aikaansaamat kasvihuonekaasuja poistavat hiilinielut ovat tasapainossa. (Seppälä et al. 2019, 10–12)

Kaukolämpöenergiantuotannossa puupohjaisten polttoaineiden käytöllä voidaan korvata fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Bioenergian riittävydeksi metsien hakkuita on lisätty, jolloin hakkuut pienentävät hiilinieluja ja vaikeuttavat hiilineutraaliustavoitteiden saavuttamista tulevina vuosina Suomessa. Jokainen lisähakkuussa metsästä kaadettu kuutio puuta pienentää metsien hiilinielua keskimäärin 1,7 tonnia vuosittain. Bioenergiankäytöllä saavutettavat hyödyt eivät kuitenkaan pysty kumoamaan hakkuiden kautta menetettyjä hiilinieluja kuluvan vuosisadan aikana. (Seppälä et al. 2019, 17)

Turpeen ja metsähakkeen kilpailukykyyn parantamiseksi on asetettu CHP-tuotannon verotuki sekä turpeelle normaalia alhaisempi verokanta. Lisäksi verotuen ja alhaisemman verokannan avulla tuetaan metsähake- ja turvealan yritysten toimintaa. Veronalennuksella tuetaan myös metsähakkeella tuotetun sähkön kilpailuedellytyksiä. (Laukkanen, 2020, 41)

Suomen kasvihuonepäästöt olivat vuonna 2018 56,5 Mt CO₂-ekv, joista energiasektorin osuus oli 75 % eli 42,4 Mt CO₂-ekv. Energiasektorista energiateollisuuden, sähkön- ja kaukolämmöntuotannon sekä öljynjalostuksen, osuus oli 44 % eli 18,656 Mt CO₂-ekv. Jopa 82 % Suomen kasvihuonepäästöistä on hiilidioksidipäästöjä, mutta energian tuotannosta ja käytöstä syntyy myös metaani- ja dityppioksidipäästöjä. Suurin osa energiantuotannon hiilidioksidipäästöistä syntyy fossiilisista polttoaineista. Fossiilisten ja uusiutuvan biomassan

väliin luokitellulla turpeella on tuotettu noin 6 % Suomen energiasta, mutta sen ilmaa lämmittävät päästöt ovat noin 12 %. (Tilastokeskus, 2019. Suomen luonnonsuojeluliitto, 2020)

Ilmastopaneelin suosituksissa painotetaan erityisesti energiantuotannon, lämmityksen ja teollisen energiankäytön päästöjen eliminointiin talouden rakenteen sähköistymisen kautta. (Suomen ilmastopaneeli, 2021)

Tämänhetkisen energia-alan vähähiilisyystiekartan mukaan kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotannon päästöt tulee puolittaa vuoteen 2030 mennessä. Valtioneuvoston mukaan turpeen verotukseen tullaan tekemään uudistuksia, jotta turpeen energiakäyttö vähintään puolitetaan tavoiteaikataulussa. (Energiateollisuus, 2020. Hallituksen ilmastokokous, 2020)

Valtioneuvosto arvioi, että lyhyellä aikavälillä turpeen verotuen poisto johtaa turpeen käytön vähentämiseen. Vuoteen 2030 mennessä verotuen poisto johtaa todennäköisesti turpeen käytön poistumiseen. Valtioneuvosto arvioi raportissaan, että energiatuottajat pyrkivät korvaamaan mahdollisimman suuren osan käyttämästään biomassalla. Biomassaan yhdistyviin investointeihin liittyvät kuitenkin epävarmuudet biomassan saatavuudesta. Verotukien poistot vaikuttavat suoraan kaukolämmön kilpailukykyiseen hintaan. (Valtiovarainministeriö, 2020)

Energiaverotuksen avulla ohjataan energian toimitus- ja huoltovarmuutta, energian kilpailukykyistä hintaa sekä hallitaan energiantuotannon kestävyyttä. Energiaverot ovat valmisteveroja, joilla kartutetaan valtion tuloja kohdistamalla verot energiantuotannon polttoaineisiin. Energiaverotuksen kiristyminen fossiilisten polttoaineiden käytössä, ohjaa kulutusta ympäristöystävällisempään suuntaan. (VTT, 2019, 7. Valtiovarainministeriö, 2020)

Valmisteverot muodostuvat polttoaineiden energiasisältöverosta ja hiilidioksidiverosta. Energiasisältövero määritetään polttoaineen lämpöarvon perusteella. Hiilidioksidivero ottaa huomioon koko elinkaaren kasvihuonepäästöt. Käytettäessä polttoturvetta lämmöntuotamiseen enemmän kuin 5000 MWh kalenterivuodessa, maksetaan turpeesta valmisteveroa. (Verohallinto, 19.2.2021. VTT, 2019, 7–8)

Vuoden 2021 loppuun mennessä hallituksen valmisteluelin tulee laatimaan energiaverotuksen tiekartan, joka tukee hiilineutraaliustavoitteen täyttymistä vuoteen 2035 mennessä. Energiaverotuksen ennakoivan tiekartan avulla, arvioidaan veropohjan turvaaminen ja elinkeinolämän oikeudenmukaisuuden toteutuminen. (Valtioneuvosto, 16.9.2020)

Kestävän kehityksen verouudistuksen ensimmäisessä vaiheessa lämmitys- ja voimalaitoskäyttöön tarkoitettujen polttoaineiden verotusta nostettiin nettomääräisesti 105 miljoonalla eurolla vuoden 2021 alusta. Lämmityspolttoaineiden veron korotus nostettiin 2,7 eurolla tuotettua megawattituntia kohden. Samassa yhteydessä sähkön- ja lämmönyhteistuotannon 0,9-laskentasääntö poistettiin. Energiaintensiivisille yrityksille maksettavasta polttoaineiden energiaveron palautuksista luovutaan vuoteen 2025 mennessä. (Valtioneuvosto, 16.9.2020. Valtiovarainministeriö, 2021)

Vuoden 2021 alusta astui voimaan sähköveroluokkaan II kuuluvien sähköveron alennus, joka asetti sähköveron EU:n vähimmäistasolle. Lisäksi sähköveroluokkien muutokset vähensivät energiaintensiivisten yritysten veronpalautuksesta noin kaksi kolmasosaa, sillä sähköverosta ei saa enää palautuksia. Energiatuen avulla tuetaan päästötöntä teknologiaa ja investointitukea voidaan myöntää laitoskohtaisesti myös siirtymäajan jälkeen. (Valtioneuvosto, 16.9.2020. Valtiovarainministeriö, 2021)

Turpeen verotuksen lattiahintamekanismin avulla varmistetaan turpeen energiankäytön puollittuminen hallitusohjelman tavoitteen mukaisesti vuoteen 2030 mennessä. Mekanismin avulla turpeen verolle tullaan säättämään taso, jonka pitäisi varmistaa turpeenpolton vähentyminen suunnitelmien mukaisesti. Lattiahintamekanismin yksityiskohdista tullaan päättämään vuoden 2021 kehysriihessä. (Eskonen, 17.9.2020)

Energiayhtiöiden maksamat päästöoikeudet hiilidioksiditonneista määräytyvät EU:n päästökaupparakkinoiden mukaisesti. Päästöoikeuden hinnat ovat olleet alhaisia, eikä merkittävään vähentämiseen kannustavaa vaikutusta ole ollut. Turpeen lattiahintamekanismi tulee olemaan päästökaupan ja kansallisen verotuksen yhdistelmä. (Valtioneuvosto, 16.9.2020)

Vuonna 2011 asetetun päästökauppalain tarkoituksena on kasvihuonepäästöjen vähentäminen kokonaistaloudellisesti. Päästökauppalakia sovelletaan erityisesti yli 20 MW:n polttolaitoksissa, pois lukien jätteiden polttolaitokset. Mikäli lämpöä tuottava polttolaitoksessa sovelletaan päästökauppalakia, tätä lakia sovelletaan kaikkiin saman verkoston yli 3 MW:n teknisiin yksiköihin, tarvitsee lämpölaite päästökauppalain mukaisen päästöluvan. Euroopan komissio päättää EU:n päästökauppajärjestelmään osallistuvien maiden päästöoikeuksien kokonaismäärät. Päästöoikeuksien kokonaismäärä alenee vuodesta 2021 alkaen lineaarisesti 2,2 % vuosittain. Päästöoikeuksien kokonaismäärän vähentämisen avulla tavoitellaan Pariisin ilmastopimuksen mukaista päästökauppasektorin 43 %:n vähennystavoitteen saavuttamista vuoden 2005 tasosta vuoteen 2030 mennessä. (Päästökauppalaki, 2021. Päästökauppadirektiivi, 2020)

Lakkautettavan päästökauppakompensaatiojärjestelmän tilanne valmistellaan vuosien 2021–2025 aikana energiaintensiivisten yritysten sähköistämistuki, joka kannustaisi hiili-neutraaliin tuotantoon sekä energiaintensiivisten yritysten sähköistämiseen huomioiden kannustuskilpailukyvyyn. Sähköistämistuki tulisi kohdistaa esimerkiksi prosessien sähköistämiseen tai päästövähennystoimiin. Hallitus käyttää osan oikeudenmukaisen siirtymän rahastosta energiateollisuuden turpeen käytön vähentämiseen liittyviin investointeihin sekä turpeesta elinkeinonsa saavien tukemiseen. (Valtioneuvosto, 16.9.2020)

Sähköä verotetaan kulutuksen ja veroluokkien mukaan. Veroluokkaan 1 kuuluvat esimerkiksi kotitaloudet ja julkinen sektori. Veroluokkaan 2 kuuluvat esimerkiksi teollisuus ja muu maatalous, joille sähköveron alennus suoritetaan palautuksina. Toimialaluokitus TOL 2008 mukaan kaukolämmön tuotanto ja jakelu kuuluu luokkaan D 353. Verohallinnon mukaan teollisuudeksi luokitellaan toimialaluokitukseen B ja C kuuluvat toimialat. Näin ollen kaukolämmöntuotantoon käytettävän verojen osuus sisällytetään veroluokkaan 1. (VTT, 2019, 8. Verohallinto, 2019)

Hallitus on jättänyt esityksen eduskunnalle lämmöntuotannon sähköverotusta koskevan lainsäädännön muuttamisesta, siten että siirrettävien, kaukolämpöverkkoon lämpöä tuottavien lämpöpumppujen sähkönkulutus kuuluisi sähköveroluokkaan II. Esitys tullaan esittelemään

hallituksessa viikolla 38/2021. Sähköveroluokan muutoksiin liittyvät muutokset edellyttävät EU-oikeudenmukaisuuden varmistamista. (Valtiovarainministeriö, 2021; Marin et al., 2020)

Tavoitteisiin pääsemiseksi EU:n ilmastotavoitteina on lisätä uusiutuvan energian osuutta vähintään 32 %:iin energian loppukulutuksesta sekä energiatehokkuuden parantaminen. (Tilastokeskus, 2019)

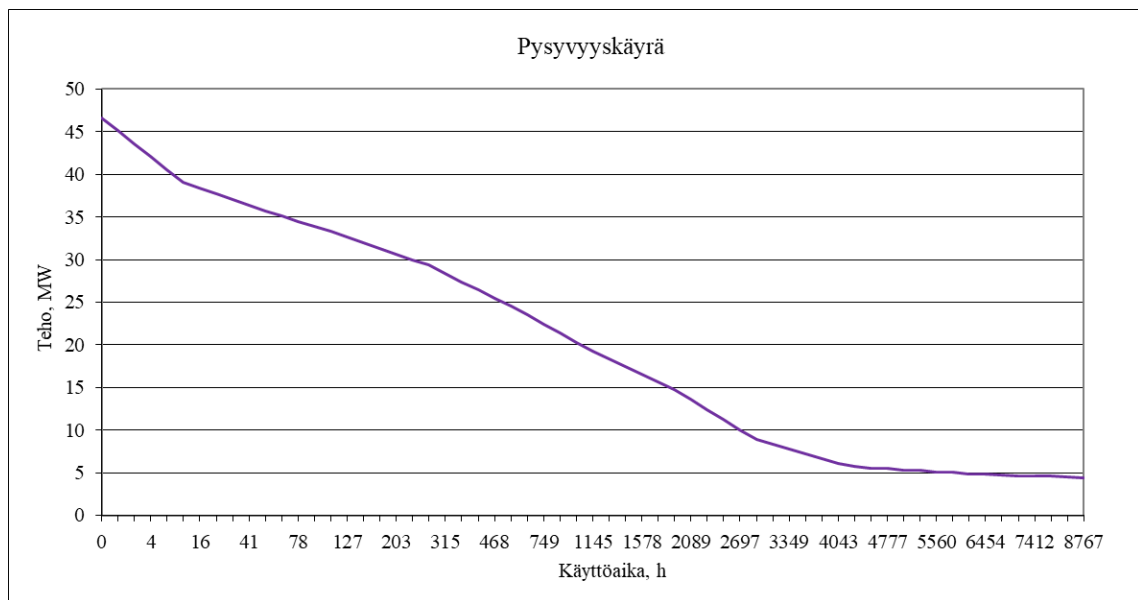
3 KAUKOLÄMMÖN TUOTANTO TOIMINTA-ALUEELLA

Nykyisellä kaukolämmön tuotantomallilla 99,8 % myytävästä kaukolämpöenergiasta on ostettu yritys B:ltä. Kaukolämmön tuotanto perustuu noin 80 %:sti fossiilisiin polttoaineisiin. Yhteiskunnallisten ja alueellisten muutosten vuoksi nykytuotantomallille tarkastellaan hiili-neutraaleja lämmöntuotantovaihtoehtoja.

3.1 Kaukolämmöntuotannon tekniset luvut

Yritys A:n huipputehontarve on tällä hetkellä noin 45 MW. Yritys A tuottaa kaukolämmön vara- ja huipputehoa kolmella öljykattilalla, joiden tehot ovat 20 + 12 MW sekä 10 MW. Kaukolämpöä myyvällä yrityksellä (B) on voimalaitos sekä kaksi leijupetikattilaa. (Planora, 2020)

Nykyinen ostettava kaukolämpöenergian määrä on noin 170 GWh vuodessa. Yritys A:n tarvitsema kaukolämpöenergian määrä on noin 130 GWh vuodessa. Alueen kesäaikainen lämpötehtarve on noin 4,2 MW. Kuvassa 11 on esitetty yrityksen pysyvyyskäyrä vuodelta 2019.

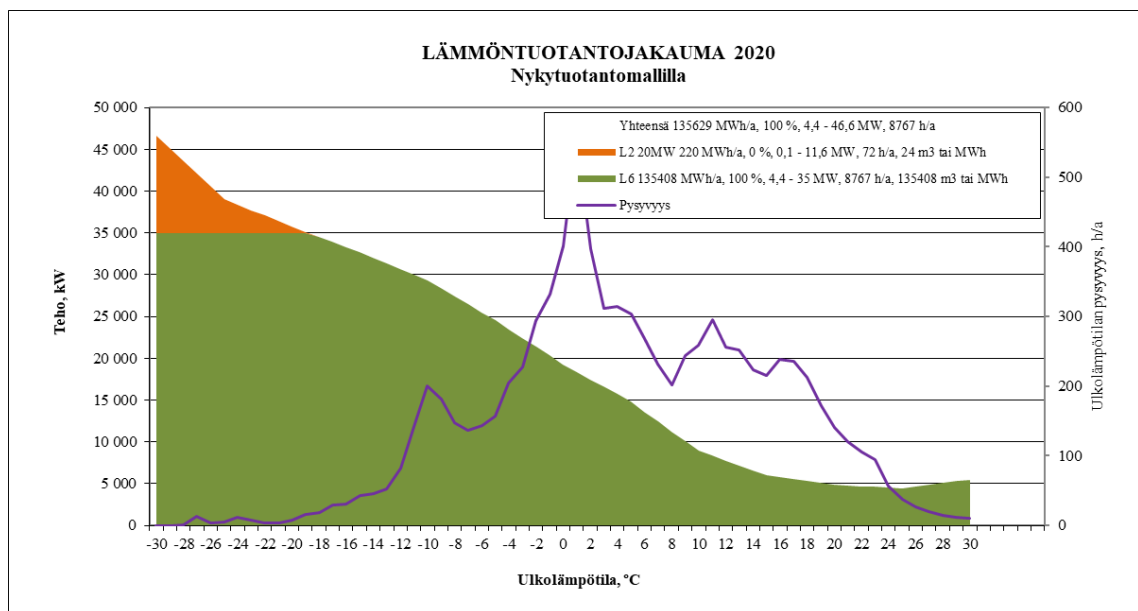


Kuva 11. Kaukolämmön pysyvyyskäyrä vuodelta 2019.

Nykyisellä toimintamallilla yritys C:n käyttöön myydään kaukolämpöä noin 7–8 MW teholla, vuosienergiamäärän ollessa noin 40 MWh. Yritys A:n oman

kaukolämpöenergiantarpeen kasvaessa, yritys C:lle voidaan myydä vain ylijäämälämpöä. Yritys C on investoinut vastikään kiinteän polttoaineen kattilalaitokseen, jolla voidaan korvata ostettava lämpöenergia sekä vanha bio- ja turvekattila. (Tekijä salattu, 2018)

Kuvassa 12 on esitetty lämmöntuotannon nykyinen jakautuminen. Kuvassa vihreällä on yritys B:n tuottaman kaukolämmön osuus, noin 135 GWh vuodessa. Oranssilla kuvataan öljykattilalla tuotettua huipputehoa, noin 220 MWh vuodessa. Kuvassa on lisäksi ulkolämpötilan pysyvyyskäyrä, josta voidaan lukea ulkolämpötilan moodiarvon olevan noin +1°C. Ulkolämpötilan pysyvyyskäyrä on muodostettu yritys A:n toimipaikkakunnan ulkolämpötilojen mukaan.

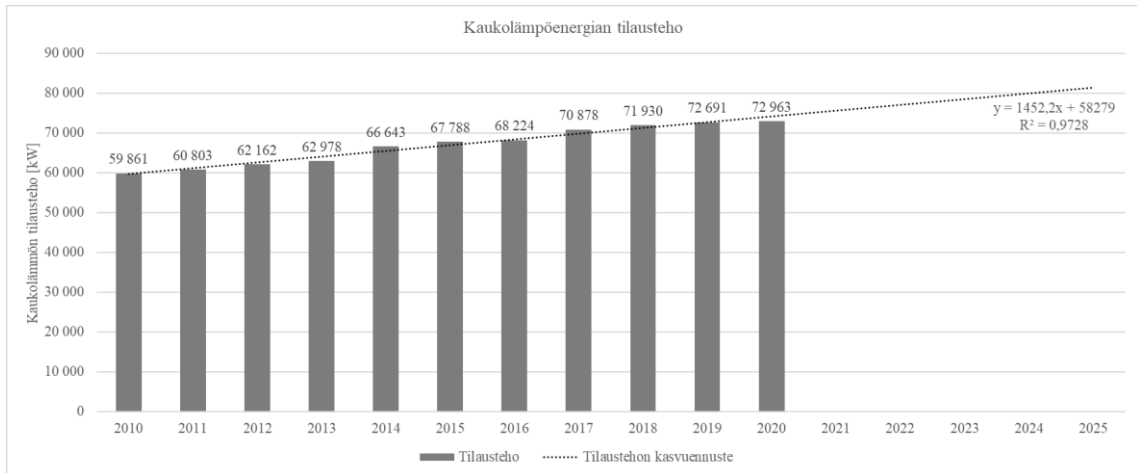


Kuva 12. Lämmöntuotannon jakautuminen nykytoimintamallilla.

3.2 Kaukolämpöverkoston tekniset luvut

Yritys A:n kaukolämpöverkoston tilausteho oli vuonna 2020 yhteensä noin 73 MW. Tilausteho on kasvanut vuosien 2010 ja 2020 välillä keskimäärin noin 2,2 %.

Muodostamalla lineaarinen kaukolämpöenergian tilaustehon kasvuennuste voidaan arvioida tilaustehon olevan lämmöntoimitussopimuksen päättymishetkellä vuonna 2024 noin 80 MW, kuva 13.

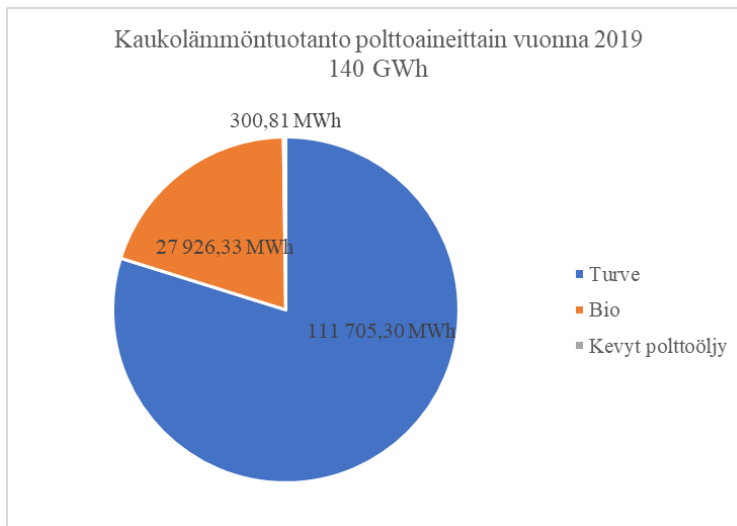


Kuva 13. Kaukolämpöenergian tilaustehon laskennallinen kasvunennuste.

Vuonna 2018 yritys A:n kaukolämpöverkostossa oli 254 pienkiinteistöä. Kaukolämmön kokonaismyynä vuonna 2018 oli 159 GWh, joista 55,4 GWh myytiin kotitalouksiin ja 42 GWh yritys C:n kaukolämpöverkoston.

3.3 Kaukolämpötuotannon nykyiset polttoaineet

Vuonna 2019 kaukolämpöenergiaa tuotettiin yhteensä 140 GWh, joista 79,8 % tuotettiin turpeella, 20,0 % puupohjaisilla biopolttoaineilla sekä 0,2 % kevytpolttoöljyllä. Vuoden 2019 tuotetusta lämmöstä jopa 99,8 % on ostettua lämpöä.



Kuva 14. Kaukolämpötuotannon polttoainesektorit ja tuotannon jakaantuminen vuonna 2019.

Yritys A:n oma kaukolämmön tuotanto perustuu vara- ja huipputehontuotantoon kevytpolttoöljyllä.

4 KANNATTAVUUDEN MITTAAMINEN KAUKOLÄMPÖENERGIAN TUOTANNOSSA

Kannattavuustarkastelu on osa kaukolämpöjärjestelmän yleissuunnittelua. Kannattavuustarkastelun avulla voidaan vertailla toteutusvaihtoehtojen taloudellisuutta, optimoida investoitavien laitosten mitoitusta sekä suunnitella hankinnan ajoitusta. (Energiateollisuus, 2006, 469)

Kannattavuustarkastelussa huomioidaan erityisesti nykyiset kaukolämpöenergian kustannukset, jotta asiakkaalta perittävä energiamaksu ei nousisi ja kaukolämpö menettäisi kilpailukykyään. (Energiateollisuus, 2006, 471)

Kaukolämpöenergian tuotantolaitoksia suunniteltaessa on ensisijaisesti huomioitava teho-ryhmien ominaisuudet. Perustehoa tuottaessa tuotanto on miltei jatkuvaa, jolloin käytettävyyden tulee olla hyvä ja käyttökustannuksien alhaiset. Huippu- ja varatehoa tuotettaessa korostetaan erityisesti nopeaa ja helppoa käytettävyyttä, mutta myös edullista tuotantohintaa tehoa kohti. (Energiateollisuus, 2006, 259)

4.1 Yleistä

Kaukolämmitysliiketoiminta on pääomaintensiivistä, sillä kattilalaitokseen ja kaukolämpöverkostoon tarvitaan suuria investointeja. Pohjoismaissa kaukolämpö on taloudellisesti kannattavaa ja kilpailukykyistä, joka on seurausta kaukolämmön kokonaisvaltaisesta suunnittelusta. (Mäkelä et al., 2015, 116)

Tyypillisiä piirteitä lämpölaitosinvestoinnille ovat investoinnin vaikutusten ulottuminen vuosikymmenien päähän. Investoinnilla on laajat vaikutukset ympäristöön, yhteistyökumppaneihin, asiakkaisiin sekä liiketoimintaan. Kun investointiin sidotaan suuri pääoma, tuotantotehokkuuden säilyminen tai polttoaineen saatavuus tulevaisuudessa ovat merkittäviä epävarmuustekijöitä kaukolämpöliiketoiminnalle. (Ikäheimo et al. 2019, 174)

4.2 Kannattavuuden tarkasteluun käytetyt mittarit

Kannattavuustarkasteluun käytettäviä mittareita tarkastellaan tuotettavan vuosienenergiamäärän mukaan selvittämällä polttoaineiden sekä muiden lämmön tuotantomuotojen markkinahinnat sekä lämmön tuotantokustannukset. Lisäksi selvitetään polttoainekohtaiset alustavat investointikustannukset sekä tarkistetaan sijoitukseen kohdistuvat kustannukset.

Alustavien markkinahintojen kartoituksen perusteella voidaan mitata polttoaineella tuotetun kaukolämpöenergian kannattavuutta, kuitenkin ottaen huomioon, ettei kustannus vielä sisällä muita tuotantoon liittyviä kustannuksia.

Taloudellisesti kilpailukykyisten polttoaineiden selvittyä voidaan kartoittaa eri lämmön tuotantotekniikat. On huomioitava, että tutkimusta edeltäviin esiselvityksiin on sisällynyt tarvittavat tehontarve-määrittelyt sekä kaukolämpöverkoston mallinnus.

Tutkimuskohteena olevista investointikohteista muodostettiin malleja, joiden lämmön tuotantojakaumaa tarkasteltiin nykyisellä vuosienenergiamäärällä sekä vuoden 2024 vuosienenergiamäärällä. Herkkyystarkastelussa mitattiin tarkasteluvaihtoehtojen omakustannushintoja suhteessa polttoaineen hinnan muutoksiin sekä investointimuutoksen vaikutukseen.

4.3 Tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa kannattavuustutkimuksen avulla kokonaistaloudellisesti edullisin ja kilpailukykyisin hiilineutraali vaihtoehto yritys A:n tarpeiden mukaiseen kaukolämmön tuotantoon.

Kaukolämpöenergiantuotannon muuttuviin kustannuksiin sisältyvät muun muassa polttoainekustannukset veroineen, joka on merkittävä kustannuserä. Muuttuvien kustannuksien lisäksi kannattavuudessa tulee huomioida kiinteisiin kustannuksiin sisältyvät uudet pääomakustannukset. Koko kaukolämpöjärjestelmää tarkastellessa tulee huomioida lämmön tuotantolaitoksen sijoittamisesta aiheutuvat pumppaamo- ja verkostoinvestoinnit. Tavoitteena on optimoida kaukolämpöenergian tuotantojärjestelmä kokonaistaloudellisesti kannattavaksi, huomioiden tulevaisuuden kasvuennusteet sekä poliittisten päätösten vaikutus kaukolämpöliiketoimintaan.

Tavoitteena on, että tutkimuskohteista tehdyn kannattavuustarkastelun avulla yritys A voi vertailla eri lämmön tuotantomuotojen omakustannehintoja, hakien tukea strategian mukaisiin päätöksiin; investoidaanko jatkossa uuteen energiantuotantolaitokseen vai onko kannattavampaa jatkaa nykytuotantomallilla.

5 INVESTOINTIKARTOITUKSEN TOTEUTUS

Tutkimustyö aloitettiin kartoittamalla lähtötiedot yhteistyössä yritys A:n kanssa. Lähtötietoina selvitettiin ostettavan ja myytävän kaukolämpöenergian määrä-, -lämpötila, -teho ja -yksikköhinta. Kaukolämpötoiminnan laajentamismahdollisuudet kartoitettiin sekä laskettiin tulevaisuudessa tarvittava kaukolämpöenergiämäärä, -lämpötila ja -teho. Lisäksi selvitettiin edellisvuosien huippu- ja varakattilateho ja polttoaineet.

Kannattavuuslaskentaa varten tutkittiin vuoden 2019 tilinpäätöstietoja, joista poimittiin nykyiset muuttuvat kustannukset, kiinteät kustannukset sekä huolto- ja ylläpitokulut. Tilinpäätöstietojen sekä vuoden 2019 lämpölaskutustietojen perusteella kartoitettiin nykyisen lämmön tuotantomuodon omakustannushinta.

Lähtötietokartoituksen jälkeen, selvitettiin alueellisesti saatavilla olevat polttoaineet tarjouspyynnöin. Tarjouspyyntöjä lähetettiin alueellisille polttoainetoimittajille, joiden polttoainesektoreihin kuuluivat puupohjaiset polttoaineet, LBG sekä biopyrolyysiöljy. Lisäksi selvitettiin alueella toimivan prosessiteollisuuden hukkalämmön saatavuus, lämpöteho, -määrä sekä alustava hintataso. Tutkimuksesta jätettiin pois kappaleessa 1.5. rajatut lämmöntuotannon polttoaineet ja menetelmät.

Saaduista polttoainetarjouksista valmisteltiin tarjousvertailu. Tarjousvertailun avulla karsittiin vaihtoehdot tarkempaa tutkimusta varten. Tarjousvertailussa huomioitiin erityisesti nykyisen ostolämmön asettama hintataso sekä hiilineutraalisuus. Tässä vaiheessa ei huomioitu muita polttoainevalinnasta aiheutuvia kustannuksia. Polttoainetarjouksista laadittu tarjousvertailu on esitetty liitteessä 2.

Tarjousvertailussa kannattaviksi osoittautuneiden polttoaineiden poltto- ja tuotantotekniikat kartoitettiin. Lisäksi kartoitettiin vaihtoehtoja kesäaikaiseen sekä vara- ja huipputehontuotantoon soveltuvia polttoaineita sekä lämmöntuotantotekniikoita 100 %:n hiilineutraaliuden saavuttamiseksi.

Esikarsinnasta valikoituneiden polttoaineiden ja lämmön tuotantomuotojen perusteella laadittiin kaksi erilaista lämmön tuotantomallia, malli A ja malli B. Kaukolämpöenergian

kannattavuustarkastelussa huomioitiin laadittujen mallien polttoainekustannukset, lämmön-
tuotantokustannukset, investointi- ja käyttökustannukset, lämmön tuotannon omakustannus-
hinta, huolto- ja ylläpitokustannukset sekä verkoston pumppaus- ja lämpöhäviökustannuk-
set. Takaisinmaksuaika sekä sisäinen korko määriteltiin asiakkaan toimesta.

Lämmöntuotantolaitoksien alustava sijoituspaikka optimoitiin lämmön tuotantoon soveltu-
vien tonttien kesken siten, kuinka verkoston investoinnit jäisivät mahdollisimman vähäi-
siksi.

Prosessiteollisuuden hukkalämpöä hyödyntäessä lämpöpumppulaitoksen sijainti optimoitiin
verkostoinvestointien kautta. Lämpöpumppulaitoksen optimisijoitukseen vaikuttivat virtaa-
man jäähtymä sekä onko siirrettävä virtaama ensiö- vai toisiovirtaama. Sijoituksen perus-
teella saadut verkoston investointikustannukset huomioitiin kannattavuuslaskelmissa.

5.1 Puupohjaisten polttoaineiden kartoituksen toteutus ja vastausten analysointi

Puupohjaisten polttoaineiden kartoitus suoritettiin etsimällä alueellisia polttoainetoimittajia,
sahateollisuustoimijoita sekä kierrätyspuuta toimittavia polttoainetoimittajia. Kartoitetuille
toimittajille lähetettiin tarjouspyynnöt sähköpostitse. Tarjouspyyntö lähetettiin kuudelle
puupohjaisia polttoaineita toimittaville toimittajille, joista yksi toimitti tarjouksen.

Tarjouspyynnössä biopolttoaineeksi hyväksyttiin metsäpuuhake, kuori, pelletti, A- ja B-luo-
kan kierrätyspuu, sahateollisuuden sivutuotteet sekä näiden eri biopolttoaineisen seos. Hy-
väksyttäväksi keskimääräiseksi palakooksi asetettiin 40 mm x 30 mm ja yksittäisen palan
pituudeksi enintään 100 mm. Tarjouspyynnössä mainittiin peruslämmöntarpeeksi noin 150
GWh/a sekä toimitussopimuksen alkamisajaksi lämmityskausi 2024.

5.1.1 Biopolttoaineseos

Saatu tarjous koostui kokopuu- ja rankahakkeesta 83 %, metsätähdehakeesta 8 % sekä kier-
rätyspuumurskeesta 8 %. Toimitettavan puupolttoaineen laatuominaisuudet vastaavat 'Puu-
raaka-aineen luokitus'-standardia SFS-EN 17225-1. Tarjous ei sisältänyt erillistä tuhkan-
sittelypalvelua, mutta palvelu on erikseen neuvoteltavissa.

Metsähakkeet ovat peräisin pääosin sertifioiduista metsistä (FSC tai PEFC). Sertifiointiosuus, arviolta 65–95 %, todennetaan tuotteittain toimituskuukausittain.

Tarjouksen mukainen murskattu kierrätyspuu luokitellaan luokkiin A ja B, joihin ei sovelleta jätteenpolttoasetusta. Luokkaan A sisältyy kemiallisesti käsittelemättömät puut, kuten teollisuuden sivutuotteet, puutähteet, uudisrakennustyömaan maalaamaton puu tai raivauspuu. Luokkaan B kuuluva kierrätyspuu on kemiallisesti käsiteltyä kierrätyspuuta, kuten teollisuuden sivutuotteita tai kotitalouksien puujätettä. On huomioitava, ettei B luokan kierrätyspuu saa sisältää raskasmetalleja tai orgaanisia halogenisoituja yhdisteitä enempää kuin luonnonpuu. (Planora, 2019)

Biopolttoaineseos-tarjous vastaa hiilineutraalin lämmöntuotannon vaatimuksia sekä edistää kiertotalouden hyödyntämistä energiantuotannossa.

5.2 Muiden polttoaineiden kartoituksen toteutus ja vastausten analysointi

Muiden kuin kiinteiden biopolttoaineiden tarjouksia vastaanotettiin kaksi: nesteytetty biokaasu sekä biopyrolyysiöljy. Molemmat tarjoukset vastasivat vuosittaiseen noin 150 GWh toimitusmäärään.

5.2.1 Biopyrolyysiöljy

Biopyrolyysiöljy luokitellaan biopoltonesteisiin. Se muodostuu biohakkeesta sekä sahanpurusta, jotka jalostetaan bioöljyjalostamolla biopyrolyysiöljyksi. Biopyrolyysiöljyä voidaan hyödyntää lämpölaitoksissa lämmön- ja sähköntuotannossa, jatkojalostaa öljynjalostamolla liikenteen polttoaineiksi tai hyödyntää kemian tehtailla kemiaan, elintarvikkeisiin tai lääkkeisiin. (Tarjous, 2021)

Biopyrolyysiöljyllä on korkea happipitoisuus, mistä johtuu sen vahva happamuus, pH (2–3), sekä korkea vesipitoisuus, noin 20–30 massa-%. Korkea vesipitoisuus heikentää sen syttymistä sekä madaltaa sen lämpöarvoa (13–18 MJ/kg vrt. POK 40,4 MJ/kg), mutta vesipitoisuus pienentää NO_x-päästöjen muodostumista. (Ruokamo, 2020)

Biopyrolyysiöljyn käyttö on epävarmaa, sillä se muodostaa eri faasikerroksia kuumennettaessa. Faasikerroksien muodostuminen heikentää sen ominaisuuksia erityisesti vara- ja huipputehon tuotannon polttoaineena. Biopyrolyysiöljyn viskositeetti kasvaa vanhentuuessa ja se korreloi vahvasti lämpötilamuutosten kanssa. Valmistuksen jälkeen biopyrolyysiöljy säilyy noin puolesta vuodesta vuoteen, vaatien sekoitusta faasikerroksien syntymisen estämiseksi. Lisäksi biopyrolyysiöljyn korkea kiintoainepitoisuus ilmenee merkittävänä kulumisena pumpuissa ja suuttimissa. (Ruokamo, 2020. Siponen, 2016)

Biopyrolyysiöljyn käyttö polttoaineena on poliittisten päätösten vuoksi epävarmaa, erityisesti päästökaupan sekä fossiilisten polttoaineiden verotuksen vuoksi. Biopyrolyysiöljyn hinnanmuutokset sidotaan LNG:n/nestekaasun hintaindeksiin tai FOEX PIX biomassahintaindeksiin. (Ruokamo, 2020; Tarjous, 2021)

Biopyrolyysiöljyn verotus on kuitenkin matalampi verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin, sillä verotuksen painotusta on kohdistettu yhä enemmän hiilidioksidiveroon. Biopolttoaineiden lämpöarvot ja hiilidioksidipäästöt ovat pienemmät kuin fossiilisilla polttoaineilla, mutta energiasisältöveron ja hiilidioksidiveron avulla varmistetaan verotason pysyminen matalampana. (Valtiovarainministeriö, 2021)

5.2.2 LBG

LBG eli nesteytetty biokaasu on nestemäistä biokaasua. Laadultaan nesteytetty biokaasu vastaa maakaasuverkostoon syötettyä biokaasua. Biokaasun pääkomponentit metaani ja hiilidioksidi on tuotettu biomassaa kaasuttamalla sekä orgaanisten aineksien hajoamistuotteita keräämällä. Sertifioidun biokaasun tuotannon alkuperä on varmistettu ja energiasisältö vastaa ylempää lämpöarvoa. (Gasgrid Finland Oy, 2020, 5–6)

Tarjouksen mukainen LBG on kotimaassa tuotettua ISCC-sertifikaattijärjestelmän mukaista biokaasua. LBG:n hinnoittelu muodostuu polttoaineen hinnasta sekä TTF Month Ahead-hinnasta. (Tarjous, 2021)

Biokaasua ei luokitella sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta annetun lain soveltamisalaan, jolloin biokaasuun ei sovelleta laissa olevia korvaavuussäännöksiä. (Jokinen et al., 2021)

Biokaasun käyttö energiantuotannon polttoaineena on poliittisten päätösten sekä hinnan kehittymisen vuoksi epävarmaa.

5.3 Prosessiteollisuuden hukkalämpö

Muihin kaukolämmön tuotantotekniikoihin lasketaan muu kuin suoraan polttotekniikalla tuotettu kaukolämpöenergian tuotantotekniikka, kuten prosessiteollisuudesta hyödynnettävä hukkalämpö.

Tarjous hukkalämmöstä pyydettiin yritys D:ltä, joka on alueella toimiva suuri prosessiteollisuusyritys. Prosessien sivutuotteena syntyy matalalämpöistä vettä, jota ei voida hyödyntää teollisuudessa. Yritykselle lähetettiin tiedustelupyynnö, jossa kartoitettiin alle 85 °C hukkalämmön määrää ja saatavuutta.

Yritys D antoi kolme erillistä hinta-arviota 45°C:sta hukkalämmöstä. Matalalämpöisen veden virtaus on 1000–1400 l/s. Kymmenen asteen (10 °C) jäähtymällä, matalalämpöisessä vedessä olisi jopa 42–58 MW lämpötehoa hyödynnettävissä.

5.3.1 Lämpöpumppu

Prosessiteollisuudesta saatava hukkalämmön lämpötila tulee nostaa 85°C:en kaukolämpöenergian jakeluun sopivaksi. Tarjouspyynnöt lähetettiin viidelle (5) toimittajalle, joista kaikki viisi lähettivät kilpailukykyiset tarjoukset. Kolme toimittajaa tarjosi kompressiolämpöpumppuja, kaksi absorptiolämpöpumppuja. Lämpöpumppujen tarjousvertailu on esitetty liitteessä 2.

Tarjouspyynnössä esitetyt tekniset lähtöarvot olivat jäähdytysveden virtaus 1400 l/s, keskimääräinen tulolämpötila 45 °C, paluulämpötilan ollessa 35 °C. Lämpöpumpun suurin syötöteho on 24 MW ja menolämpötila on rajoitettu 85 °C:een. Lämpöpumppujen mitoitusarvot tarjouspyyntöä varten on esitetty liitteessä 3.

Absorptiolämpöpumpun toiminta perustuu sorptioprosesseihin, joissa välinaineena toimivan kaasun eksotermisiä reaktioita hyödynnetään lämmöntuotannossa. Absorptiolämpöpumppujärjestelmällä on hieman kompressiolämpöpumppuja parempi COP. Absorptiolämpöpumpujen toiminta-aika on jopa 30–40 vuotta, jolloin huollon tarve on vähäisempi. (Luoranen, 2017, 19–20. Planora, 2021)



Kuva 15. Friotherm-absorptiolämpöpumppu (Friotherm, 2021)

Kompressiolämpöpumppujärjestelmällä on yleisesti hieman heikompi COP kuin absorptiolämpöpumppuilla. Tämä puolestaan korreloi suurempiin käyttökustannuksiin. Kompressiolämpöpumpun toiminta-aika 10–15 vuotta, jolloin huollon tarve suurempi. Kompressiolämpöpumpun hyötysuhde laskee höyrystimen ja lauhduttimen lämpötilan kasvaessa. (Luoranen, 2017)



Kuva 16. Oilon-lämpöpumppu putkilämmönvaihtimilla (Oilon, 2021)

Lämpöpumppujärjestelmän käyttämän sähkön veroluokka määräytyy tuotetun lämmön kulutuskohteen perusteella. Kun lämpö kulutetaan teollisuuden omiin tarpeisiin, maksetaan sähköstä alemman veroluokan II sähkövero. Kaukolämpöä tuottaessa sähköstä maksetaan veroluokan I mukainen sähkövero. (Jokinen et. al., 2021)

Lämpöpumppujen kokonaiskustannuksia laskiessa, tulee huomioida lämmön tuotantoon käytetyn sähkön osuus, puhallin- ja pumppaussähkön osuus, kaukolämpöverkoston priimausenergian tarve sekä lämpöpumpun vuosihyötysuhde. (Planora, 2021)

6 KANNATTAVUUSMITTARIT JA JATKOTOIMENPITEET

Kannattavuustarkasteluun valitut tutkimuskohteet valittiin polttoainetarjousvertailun perusteella. Tutkimuskohteista muodostettiin kaksi erilaista lämmön tuotantomallia, joiden kannattavuutta lämmöntuotannossa mitattiin.

Investointien kannattavuutta voidaan tarkastella ympäristöystävällisyyden ja imagollisten seikkojen näkökulmasta tai taloudellisen kannattavuuden perusteella. Tutkimuksen kannattavuustarkastelu painottuu taloudelliseen kannattavuuteen, joka pyrkii huomioimaan myös imagolliset seikat. Imagoon perustuva kannattavuus lisää asiakkaiden mielikuvaa yrityksen ympäristöystävällisyydestä, mutta imagoon panostamisesta aiheutuvat kustannukset voivat työntää asiakkaita pois. Kuluttajille lämmitys on huomaamaton perustarve, jolloin palvelun luotettavuus ja kustannukset nousevat merkittävään rooliin.

6.1 Kannattavuuden mallimittaristo

Lämmöntuotantoinvestointien kannattavuutta tarkastellaan omakustannehintojen herkkyysoanalyysien avulla. Analyysissä tarkastellaan investoinnin kannattavuuden muutoksia, mikäli kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä muutetaan. Herkkyysoanalyysin tarkoituksena on löytää arviointivirheitä, jotka voivat vaikuttaa kriittisesti investoinnin kannattavuuteen. (Ikäheimo et. al., 2019)

Tutkimuksen pääasiallisena tutkimuskohteena oli kartoittaa perustehontuotantoon soveltuvia kokonaisratkaisuja. Saatujen polttoainetarjouspyyntöjen avulla kartoitettiin polttoaineiden tuoma kustannuslisä muuttuviin kustannuksiin. Lisäksi polttoaineiden valintakriteereihin kuului hiilineutraalius sekä soveltuvuus perustehontuotantoon.

Polttoaineiden ominaisuuksien mukaan kartoitettiin perustehontuotantoon soveltuva tekniikka, jolta vaaditaan kestävyyttä miltei jatkuvaan tuotantoon, edullisia käyttökustannuksia sekä hyvää käytettävyyttä. Valitun tekniikan investointikustannusten kartoituksessa huomiointiin kesäaikaisen tehontuotanto sekä vaadittavan lämpötila- ja painetason saavuttaminen kaukolämpöverkostossa.

Investoitavien laitosten sijoituspaikat määräytyvät kaukolämpöverkoston runkolinjan sijainnin perusteella, jolloin suurilta verkostosaneerauksilta on mahdollista välttyä.

Teollisuuden hukkalämmön lämpötila nostetaan 45 °C:sta lämpöpumppujen avulla 85 °C:en. Lämpöpumppulaitoksen sijainti suhteessa investointikustannuksiin sekä syntyvään hukkalämpöön optimoitiin. Kannattavuuden mallimittaristona ja tavoiteltuna tuloksena voidaan pitää nykyisen lämmön tuotantomallin omakustannushinnan alittamista.

6.2 Investointipäätökseen vaikuttavat poltto- ja tuotantotekniikat

Investointipäätöstä ohjaavia tekijöitä kannattavuuden ohella ovat voimassa olevat lait, asetukset, suositukset, standardit ja ohjeet.

Investoinnin kannalta olennainen on ympäristöministeriön hallinnoima valtioneuvoston asetus keskisuurten energiantuotantoyksiköiden ja -laitosten ympäristösuojeluvaatimuksista, joka koskee polttoaineteholtaan 1–50 MW energiantuotantoyksiköitä. Sääöksessä määritellään energiantuotantoyksiköitä koskevat lupaprosessit, raja-arvot päästöille sekä polttoainneiden käsittelylle ja varastointiin. (Rinne, 2020)

6.2.1 Kattilatekniikkojen soveltuminen kartoitetuille polttoaineille

Leijukerroskattilat mahdollistavat joustavamman polttoaineiden käytön verrattaessa perinteiseen arinakattilaan. Leijukerroskattiloihin sovellettava sähkösuodatin on toiminnaltaan kannattava valinta poltettaessa sekä puuta että turvetta. Sähkösuodatin on investointina melko kallis. Kesäaikaista tehontuotantoa suunniteltaessa on huomioitava, että leijukerroskattilalla tuotettava minimilämpöteho on noin 30 % nimellistehosta.

Leijukerroskattilaa on mahdollista käyttää monipolttoainekattilana. Mikäli leijukerroskattila varustetaan hiekan sisään sijoitetuilla tulistimilla, tuorehöyryn lämpötilassa voidaan päästä turvallisesti jopa 470–480 °C lämpötilaan. Leijukerroskattilassa ensisijaisesti käytettäviä polttoaineita ovat metsätähdehake, puun kuori, sahanpuru sekä jyrsinturve. Rinnakkaispolttoaineina on mahdollista polttaa esimerkiksi puupellettejä, kutterinlastua, palaturvetta murskattuna tai A- ja B-laatuokan kierrätyspuuta. (Planora, 2020)

Leijukerroskattilassa päästöjen hallinnassa hiukkasten hallintaan toimii sähkösuodatin, typen oksideille palamisilman vaiheistus, runsas rikkiselle turpeelle savukaasupesuri tai rinnakkaispoltto puun kanssa. (Planora, 2020)

ARINAPOLTTO

Arinakattila on edullisempi ja tekniikaltaan yksinkertaisempi kuin leijukerroskattila. Arinakattiloilla tuotettava minimilämpöteho on noin 15–20 % nimellistehosta, mikä on huomiotava kesänaikaisen lämmöntuotannon suunnittelussa. (Planora, 2020)

Arinoiden ja tulipesien rakenteet vaihtelevat polttoaineen ja kattilan koon perusteella. Puupolttoaineille ja palaturpeelle käytetään yleisimmin kiinteää tai mekaanista taso- tai viistoarinaa. Erityisen tärkeä on huomioida viistoarinan kulma polttoainekohtaisesti. Arinakattilan tulipesän rakenne voi olla polttoaineen mukaan joko kokonaan muurattu tai membraaniseinä. Kokonaan muuratussa tulipesässä ei ole etupesän seinissä vesikiertoa, jolloin se soveltuu parhaiten märälle polttoaineelle. Mikäli tulipesässä on membraaniseinä, on sen etupesä vesikiertoinen, jolloin tulipesässä on mahdollista polttaa kosteudeltaan vaihtelevaa polttoainetta. (Planora, 2020)

Polttoaineet, joiden laatu vaihtelee, voidaan polttaa arinakattilalla tehokkaasti. Polttoaineen kosteus voi olla jopa 65 % erityisrakenteisilla polttimilla ja ensisijaisesti polttoaineen syöttötekniikka määrää polttoaineen palakoon. Arinakattilan omakäyttösähkön tehon tarve on pienempi kuin leijukerroskattilalla. (Planora, 2020)

Jauhemaisista polttoaineista arinakattilassa sopivat parhaiten poltettavaksi sahanpuru, kutterinlastu seospolttona palamaisten polttoaineiden kanssa. Rinnakkaispolttoon sopivat keskenään metsätähdehake, palaturve, A- ja B-luokan haketettu tai murskattu kierrätyspuu. Puupelletti on yksinään poltettavana liian kuivaa. Puupellettiä voidaan polttaa yhdessä kosteuspitoisuudeltaan korkeamman pääpolttoaineen kanssa. (Planora, 2020)

Arinakattilassa päästöjä voidaan hallita usein eri keinoin. Hiukkasten hallintaan voidaan käyttää multisyklonia, polttoaineen tuhkapitoisuuden ja lentöpölyn hiukkaskoon mukaan tarvittaessa voidaan käyttää sähkösuodatinta. Typen oksidien hallintaan käytetään

palamisilman vaiheistusta. Savukaasupesurissa ja lauhduttimessa muodostuvat jätevedet on neutraloitava, selkeytettävä ja suodatettava ennen viemäriin ja vesistöön johtoa. Lauhdevedet, jotka johdetaan ojaan, on saostettava ensin kemiallisesti, selkeytettävä ja suodatettava. (Planora, 2020)

6.3 Sijoituksen vaikutus investointiin

Yritys A:lla on kolme vaihtoehtoista sijoituspaikkaa uudelle lämpölaitokselle. Ensisijaisesti uuden lämpölaitoksen sijoitukseen vaikuttaa lämmöntuotantomenetelmä ja toiseksi laitoksen suunniteltu käyttöaste.

Ensimmäinen sijoituspaikka on yritys B:ltä tulevan kaukolämpöverkoston runkolinjan varrella, jolloin kaukolämpöputkea ei tarvitse saneerata ja investointikustannuksiin lisätään ainoastaan liitäntäputken rakentamisesta aiheutuvat kustannukset. Liitoskohdassa kaukolämpöverkon lämmönsiirtokapasiteetti on riittävä uudelle laitokselle. Kaukolämpöverkoston riittävä paineenpito tulee tarkistaa toteutussuunnittelun yhteydessä. Ensimmäiselle sijoituspaikalle on mahdollista sijoittaa perustehoa tuottava laitos sekä kesäaikaiseen tuotantoon soveltuva lämpölaitos.

Toinen mahdollinen sijoituspaikka sijoittuu nykyisen öljylämpölaitoksen viereen. Sijoituspaikan sijainti on keskeinen suhteessa kaukolämpöverkoston, jolloin kaukolämpöverkoston tilavuus ja paine on riittävä kaukolämpöenergian tuotannolle. Keskeisen sijainnin vuoksi sijoituspaikkaan ei toivota kiinteänpolttoaineen lämpölaitosta lisääntyvän liikenteen vuoksi.

Kolmas sijoituspaikka sijaitsee käytöstä poistetun öljylämpölaitoksen reitin varrella. Tontti on varattu yhdyskuntateknisen huollon käyttöön. Sijoituspaikan yhteydessä oleva kaukolämpöverkosto ei sovellu perustehontuotantoon, sillä verkosto vaatisi suuria saneerauksia. Kaukolämpöverkoston rakenteen vuoksi sijoituspaikka soveltuu vain vara- ja huipputehontuotantoon.

Mikäli tarvittava kaukolämpötehontuotanto toteutetaan prosessiteollisuuden hukkalämmöstä tuotetulla lämpöenergialla, tulee lämpöpumppulaitoksen sijoitus optimoida suhteessa lämmönlähteeseen ja kaukolämpöverkoston. Vaihtoehtona on sijoittaa hukkalämmön

lämpötilaa nostava lämpöpumppulaitos lähelle prosessiteollisuutta, jolloin siirrettävä kaukolämpö lähtee noin 85 °C asteisena. Matalalämpöisenä siirrettäessä kaukolämpöenergiaa on mahdollisuus hyödyntää siirtolinjan varrella olevissa lämmityskohteissa.

Toisena vaihtoehtona on tuoda hukkalämpö matalalämpöisenä lähelle kaukolämpöverkosta, jolloin lämpöenergiassa ei tapahtuisi häviöitä. Lämpöä ei voi hyödyntää siirtolinjan varrella, sillä rakennuskustannukset ovat isomman putkikoon ja tarvittavan putkimateriaalin vuoksi suuremmat. Hukkalämmön palauttamisesta teollisuusalueelle muodostuisi suuret verkostoinvestointikustannukset.

Yrityksen toiminta-alue sijaitsee alueella, jossa maaperä on koostumukseltaan hienojakoista hiesua sekä hienoa hietaa. Esisuunnitteluvaiheessa oletetaan kaikkien sijoituspaikkojen olevan hyvin savipitoista maata, jolloin rakennusten perustukset oletetaan paalutettaviksi. Näin ollen kaikkien sijoitus- ja lämmöntuotantovaihtoehtojen rakentamiskustannukset ovat normaaleja rakennuskustannuksia korkeammat. Ennen rakennustöiden aloitusta valitulle alueelle tulee teettää pohjatutkimus maaperäolosuhteiden selvittämiseksi ja perustamistapaesityksen laatimiseksi.

7 KAUKOLÄMPÖENERGIAN KANNATTAVUUSTARKASTELU

Kannattavuustarkasteluun valittiin kaksi eri toteutusvaihtoehtoa tavoitteiden, polttoaineiden tarjousista muodostuvan muuttuvien kustannusten pohjan sekä sijoituksen perusteella.

7.1 Tutkimuskohteiden valinta ja tietojen kerääminen

Tutkimuskohteiksi kaukolämmön perustehontuotantoon on valittu hiilineutraaleja lämmön tuotantomuotoja. Ensimmäinen karsinta suoritettiin esitutkimusten kautta, jolloin arvioitiin järjestelmän kannattavuutta vertaamalla arvioituja kokonaiskustannuksia tuotettua vuosienenergiaa kohden. Jäljelle jäävien polttoaineiden ja lämmön tuotantomuotojen kustannukset selvitettiin tarjouspyynnöin.

Lämmöntuotantolaitoksien investointikustannukset laskettiin kokemusperäisten budjettihintojen perusteella. Investointikustannuksia tarkasteltiin 14 MW:n biokattilasta, 6 MW:n pellettikattilasta sekä 6 MW:n sähkökattilasta.

7.2 Tutkimuskohteet

Tarkempiin kannattavuustutkimuksiin valittiin kolme tarkasteltavaa mallia: kaukolämpöenergian tuotanto nykyisellä tuotantomuodolla, puupohjaisten polttoaineiden ja teollisuuden hukkalämmön yhdistelmällä tuotettu kaukolämpöenergia sekä kokonaan puupohjaisilla polttoaineilla tuotettu kaukolämpöenergia.

Kaikki mallit on tarkasteltu nykytilanteessa sekä vuoden 2024 tilanteessa, jossa huomioitiin arvio kaukolämmön vuosittaisesta 2,2 %:n tehon kasvusta.

Mikäli kaukolämpöenergian tuotannosta halutaan 100 %:sti hiilineutraalia tulee lisäksi tarkastella kesäaikaista sekä vara- ja huipputehoa tuottavien laitosten lämpöenergian tuotantomuodot.

7.2.1 Malli A

Mallissa A kaukolämpöverkoston peruskuorma tuotetaan prosessiteollisuuden hukkalämmöllä sekä puupohjaisilla polttoaineilla. Prosessiteollisuuden hukkalämmöllä tuotetaan kaukolämpöä 24 MW:n kompressiolämpöpumppujärjestelmän avulla. Kaukolämmön

kokonaispriimaustehon tarve on 21 MW, joka tuotetaan 14 MW:n biokattilalla sekä ole-massa olevilla kevyen polttoöljyn kattiloilla. Kevyellä polttoöljyllä tuotettu osuus voidaan myöhemmin tuottaa muulla lämmön tuotantomuodolla. Priimauslämmön avulla kaukoläm-mön menolämpötila saadaan nostettua kaukolämpöverkostossa haluttuun ohjearvoon.

Lämpöpumppuratkaisulla voidaan alentaa polttamalla tuotetun energian määrää, säästään energiaa ja ympäristöä, mutta rahallisesti investointi ei välttämättä ole kannattava. Inves-toinnin ympäristöystävällisyys riippuu myös hankittavan sähkön tuotantotavasta.

Hukkalämmön ja lämpöpumppujärjestelmän käyttö kaukolämpöenergian tuotannossa vaatii noin 20 km:n siirtolinjan rakentamista, joka vaikuttaa laskevasti hankinnan kannattavuuteen. Siirtämällä kaukolämpö matalalämpöisenä, noin 85 °C:ssa, kaukolämpöputkien koko rajoit-tuu DN400, jolloin kaukolämpöputkien investointikustannukset ovat matalammat. Kauko-lämpöenergian priimaus yli 85°C:ksi on kannattavinta tehdä yritys A:n kaukolämpöverkos-ton läheisyydessä, myös lämpöhäviöiden minimoimiseksi.

Lämpöpumppujärjestelmien tarjousvertailussa havaittiin absorptio- ja kompressiolämpö-pumppujen COP-arvojen olevan miltei samaa luokkaa. COP-arvot vaihtelivat 4,0–5,7. Ab-sorptiopumput olivat investointikustannuksiltaan huomattavasti korkeammat, mutta kom-pressiopumppujen huonomman COP-arvon tuomat sähkönkäyttökustannukset eivät tasanneet vuosittaisia kustannuksia.

Biokattilan käyttö- ja kunnossapitotöiden on arvioitu työllistävän yhden kokoaikaisen hen-kilön lisää.

7.2.2 Malli B

Mallissa B kaukolämpöverkoston peruskuorma tuotetaan kokonaan puupohjaisilla polttoai-neilla. Kaukolämpöenergian peruskuorman tuotanto tuotetaan kahdella 14 MW:n biokatti-lalla. 14 MW:n biokattilan minimiteholla voidaan tuottaa lämpöä myös kesäaikana.

Yhteiskunnallisesti nousevana trendinä on käyttää biopohjaista polttoainetta energian tuotannon polttoaineena. Energiapuun käytön tulevaisuus on yritys A:n toimialueella epävarmaa puupohjaisen teollisuuden kasvaessa alueella.

Biokattilan käyttö- ja kunnossapitotöiden on arvioitu työllistävän yhden kokoaikaisen henkilön lisää.

7.3 Investointikustannukset

Investointikustannukset muodostuvat tarjouspyyntöjen perusteella saaduista budjettitarjouksista sekä kokemusperäisistä budjettihinnoista. Investointikustannuksiin on huomioitava myös kaukolämpöverkoston rakentamiseen ja saneeraamiseen liittyvät kustannukset, kaukolämpöverkoston painetta nostavat välipumppaamot sekä paineenpitojärjestelmät.

Mallin A investointikustannuksiin sisältyy:

- 24 MW:n kompressiolämpöpumppujärjestelmä
- 14 MW:n biokattila
 - o paineenpitojärjestelmä
 - o savupiippu
 - o savukaasun puhdistuslaitteet
 - o polttoaineen käsittelylaitteet
 - o ajoneuvovaaka
- Kaukolämpöverkoston välipumppaamot 2 kpl
- Sähköliittymä biokattilalle
- Sähkömuuntajat ja -keskus biokattilalle
- Prosessitekniset työt
 - o putkistot ja varusteet, sis. vesikierrot ja paineilman
 - o venttiilit, pumput
 - o sähkö- ja automaatio
- Rakennustekniset työt
 - o LVISA
- Yleiskulut
- Kaukolämpöverkoston laajentaminen DN400 2MPUK

Mallin B investointikustannuksiin sisältyy:

- 2 x 14 MW:n biokattila
 - o paineenpitojärjestelmä
 - o kaksihorminen savupiippu
 - o savukaasun puhdistuslaitteet
 - o polttoaineen käsittelylaitteet
 - o ajoneuvovaaka
- Sähköliittymä lämpöpumpulle ja biokattilalle
- Sähkömuuntajat ja -keskus lämpöpumpulle ja biokattilalle
- Prosessitekniset työt
 - o putkistot ja varusteet, sis. vesikierrot ja paineilman
 - o venttiilit, pumput
 - o sähkö- ja automaatio
- Rakennustekniset työt
 - o LVISA
- Yleiskulut
- Kaukolämpöverkoston laajentaminen DN300 2MPUK

Alustavat investointilaskelmat on esitetty liitteessä 4.

7.4 Lämmöntuotannon omakustannushinnan muodostuminen

Tutkiessa investointien kannattavuutta täytyy huomioida tilanteeseen ja kohteeseen soveltuva laskentamenetelmä. Investoinnin kannalta hyväksi havaittuja ominaispiirteitä ovat investointiin liitettävät pääomat, riskit sekä investoinnin vaikutus toimintaan tulevaisuudessa. (Ahonen, 2018)

Investoinnin arvo voidaan kokea strategisesti tai operatiivisesti merkittävänä. Tutkimuksen kohteena oleva kaukolämpöenergian tuotantomuodon muuttuminen voidaan liittää strategiseen investointiin toiminnan luonteen muuttuessa merkittävästi.

Kaukolämpöenergiaa tuottavien investointivaihtoehtojen merkittävimmät kulut kartoitettiin, kuten lämpöpumppujärjestelmän sähkökäyttökustannukset, biokattiloiden polttoainekustannukset, omakäyttösähkön ja lämpöhäviöiden aiheuttamat kustannukset, uusien pumppaamoiden pumppauskustannukset sekä uudet huolto- ja ylläpitokustannukset.

Kannattavuuslaskennan pohja muodostuu yrityksen kiinteistä kuluista, muuttuvista kustannuksista, käyttö- ja huoltokustannuksista, poistoista sekä valinnaisesti voittotavoitteesta. Omakustannushinta muodostuu energiatase- ja kannattavuuslaskelmat huomioiden edellä mainituista kannattavuuslaskennan pohjakustannuksista sekä investointivaihtoehtojen merkittävimmistä kustannuksista.

Kiinteät kustannukset muodostuvat investoinnin vuosikustannuksista, annuiteetikertoimesta, korkokannasta sekä investoinnin pitoajasta. Annuiteetikertoimen avulla investointi muutetaan vuosikustannuksiksi. (Energieollisuus, 2006, 312)

$$K_{po} = a * I = \frac{(I+i)^N}{(I+i)^N - 1} \quad \text{KAAVA 1}$$

, jossa

K_{po} = investointien vuosikustannus tasapoistolla [€/a],

a = annuiteettikerroin [1/a],

I = investointi [€]

i = korkokanta ja

N = investoinnin pitoaika [a]. (Energieollisuus, 2006, 312)

Nykyiset kiinteät vuosittaiset käyttö- ja kunnossapitokustannukset huomioitiin omakustannushinnan muodostumisessa tuotettua vuosienergiaa kohti aiempien tilinpäätöstietojen mukaisesti. Kustannuksiin huomioitiin henkilöstökulut, vuokrat sekä muut kiinteät kulut.

Uusien investointien vuosittaiset uudet kiinteät kustannukset sekä uudet käyttö- ja kunnossapitokustannukset arvioitiin mukaan omakustannushinnan laskentaan sekä poistuvien tuotantomuotojen osuudet vähennettiin kustannuksista.

Muuttuvat kustannukset huomioitiin jokaiselle laskentamallille erikseen, niin nykyiselle, tulevalle kuin uusillekin malleille. Muuttuvien kustannusten polttoainekustannukset huomioitiin tuotettua energiaa kohti kaavan 2 mukaisesti.

$$K_{pa} = \frac{H_{pa}}{\eta_L} \quad \text{KAAVA 2}$$

, jossa

K_{pa} = lämmöntuotannon polttoainekustannus,

H_{pa} = polttoaineen hinta [€/a] ja

η_L = lämmöntuotannon vuosihyötysuhde. (Energiateollisuus, 2006, 313)

Muihin muuttuviin kustannuksiin huomioitiin erityisesti omakäyttösähkön sekä pumppaus-sähkön osuus.

Mallin A lämpöpumppujärjestelmän uudet muuttuvat kustannukset saadaan laskettua selvitettyillä lähtöarvoilla, kun summataan lämpöpumpuilla tuotetun lämmön sähkökäyttökustannukset, uusien lisälämpöhäviöiden aiheuttamat kustannukset sekä hukkalämmön käytöstä aiheutuvat ostokustannukset. Tarkempaan tarkasteluun valitun lämpöpumppujärjestelmän keskimääräinen COP on 5,0, jota käytetään sähkökäyttökustannusten laskennassa.

$$\begin{aligned} K_{LP} = & \frac{\text{vuosienergia [MWh]}}{500\%} * \text{sähkönhinta} \left[\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right] \\ & + \text{uudet lisälämpöhäviöt [MWh]} * \text{lämmönhinta} \left[\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right] \\ & + \text{vuosienergia [MWh]} * \left(1 - \frac{1}{500\%} \right) \\ & * \text{hukkalämmön hinta} \left[\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right] \end{aligned}$$

KAAVA 3

Pumppaussähkön 1 %:n osuus tuotetulle vuosienergiämäärälle on huomioitu lisälämpöhäviöissä. Laskelmissa on huomioitu myös lämpöpumppujärjestelmän 3 %:n huolto- ja ylläpito-kustannukset sekä uuden kaukolämpöverkoston siirtolinjan 1,0 %:n huolto- ja ylläpitokustannukset.

Mallin A investoitavan kaukolämpöverkoston siirtolinjan vuotuiset lämpöhäviöt ovat noin 7 312 MWh, jolloin lisälämpöhäviöiden osuus hukkalämmön omakustannehinnan muodostumisessa on noin 3,1 €/MWh.

Mallin A biolämpölaitoksen sekä mallin B:n molempien biokattiloiden muuttuvat kustannukset saadaan lähtöarvojen avulla. Uusien biolämpölaitosten muuttuvat kustannukset muodostuvat todellisista polttoainekustannuksista, lämmöntuotannon omakäyttösähkön 12 kWh/MWh tuomista kustannuksista sekä pumppaussähkön 1 %:n osuudesta tuotetulle vuosienenergiamäärälle.

$$K_{pa} = \frac{\text{vuosienergia [MWh]}}{87\%} * \text{polttoainehinta} \left[\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right] + \text{vuosienergia [MWh]} * \frac{\text{omakäyttösähkön määrä} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{MWh}} \right]}{1000} + \text{vuosienergia [MWh]} * \text{pumppaussähkön osuus [\%]} * \text{sähkön hinta} \left[\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right]$$

KAAVA 4

Laskelmissa on huomioitu myös lämpölaitoksen 3 %:n huolto- ja ylläpitokustannukset sekä uuden kaukolämpöverkoston siirtolinjan 1,0 %:n huolto- ja ylläpitokustannukset. Laitosten vuotuiset kokonaiskustannukset [M€/a] saadaan laskemalla kaavalla 5.

$$K = \left(\text{uudet pääomakulut} \left[\frac{\text{€}}{\text{a}} \right] + \text{muuttuvat kustannukset} \left[\frac{\text{€}}{\text{a}} \right] + \text{uudet huolto – ja ylläpitokulut} \left[\frac{\text{€}}{\text{a}} \right] + \text{uudet kiinteät kustannukset} \left[\frac{\text{€}}{\text{a}} \right] + \text{nykyiset pääomakulut} \left[\frac{\text{€}}{\text{a}} \right] + \text{nykyiset huolto – ja ylläpitokulut} \left[\frac{\text{€}}{\text{a}} \right] + \text{nykyiset kiinteät kustannukset} \left[\frac{\text{€}}{\text{a}} \right] \right) / 1\,000\,000$$

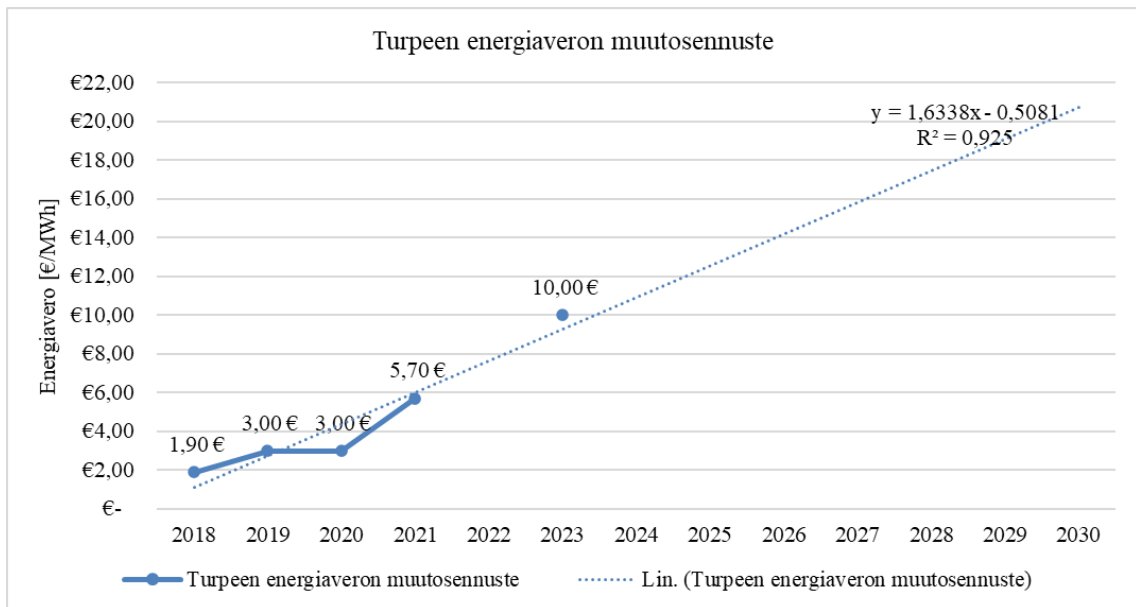
KAAVA 5

Omakustannushinta eri tuotantomalleille saadaan, kun vuotuiset kokonaiskustannukset [M€/a] jaetaan vuosienenergiamäärällä [MWh]. Laskelmien koontitaulukko on esitettyä liitteessä 5.

7.5 Kannattavuus erilaisilla hintakehityksillä

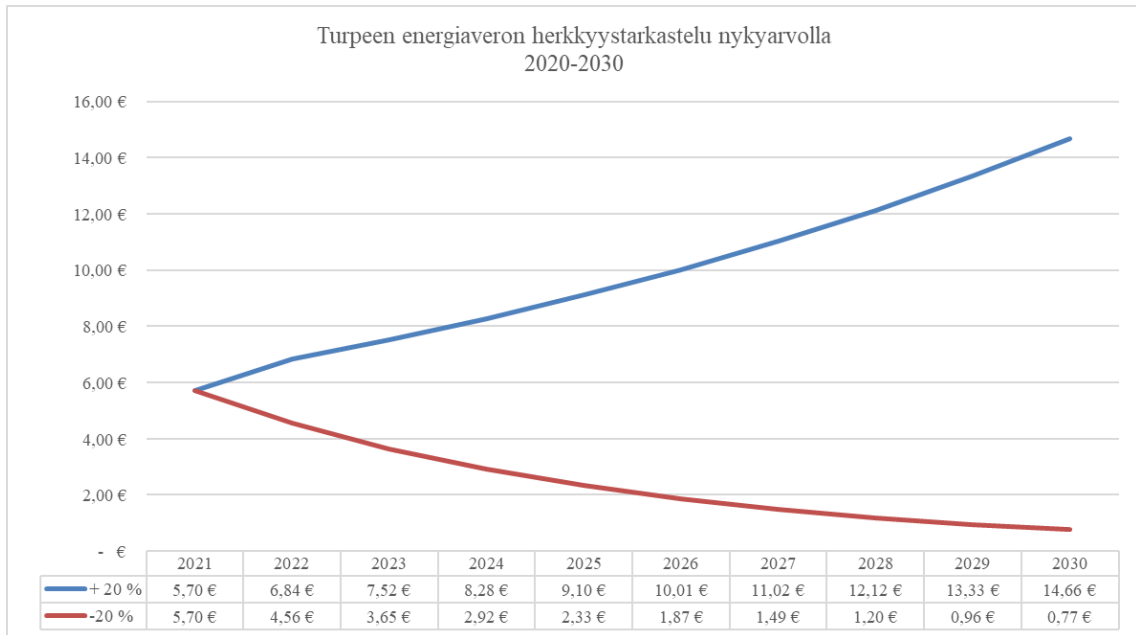
Nykytuotantomallin kannattavuus on vahvasti riippuvainen tulevista poliittisista päätöksistä sekä niiden aiheuttamista kustannusten noususta. Nykytuotantomallilla lämpöenergia tuotetaan 80 %:sti fossiilisilla polttoaineilla, jolloin turpeen energiaveron sekä päästöoikeuksien kustannusten nousulla on merkittävä vaikutus.

Kuvassa 17 on esitetty turpeen hinnan arvioitu nousu lineaarisen trendiviivan avulla. Vuoden 2021 turpeen energiavero oli 5,70 €/MWh. Laskennallisesti energiaveron suuruudeksi voidaan arvioida vuonna 2025 noin 12,00 €/MWh.



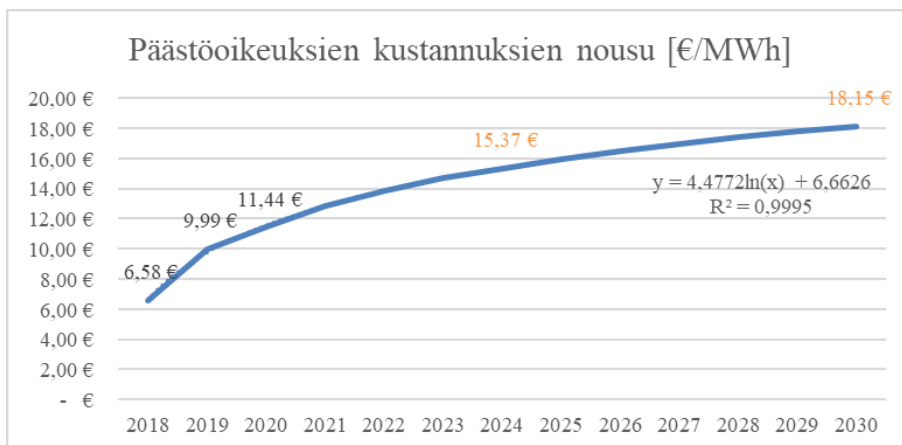
Kuva 17. Turpeen energiaveron muutosennuste lineaarisen trendiviivan avulla.

Kuvassa 18 on esitetty nykyisen turpeen energiaveron herkkyytarkastelu. Mikäli turpeen energiavero nousee 20 % vuosittain, vuonna 2026 turpeen energiavero olisi 14,66 €/MWh.



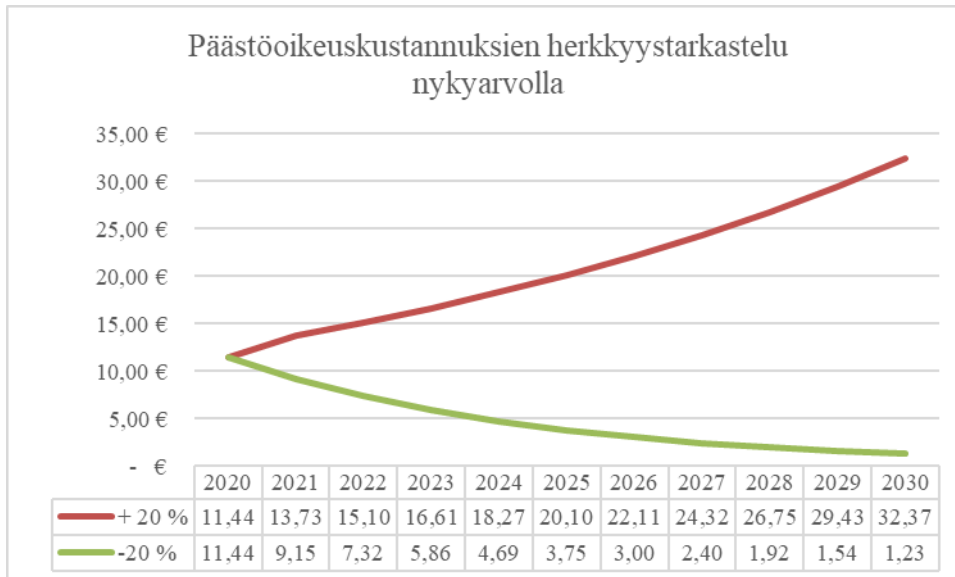
Kuva 18. Turpeen energiaveron herkkyystarkastelu nykyarvolla.

Nykytuotantomallissa myös päästöoikeuksien nousulla on merkittävä osuus muuttuvien kustannusten muodostumisessa. Kuvassa 19 on esitetty päästöoikeuksien arvioitu nousu logaritmisien trendiviivan avulla. Vuoden 2020 päästöoikeusmaksut olivat 11,44 €/MWh. Laskennallisesti päästöoikeusmaksun arvioidaan olevan vuonna 2024 noin 15,37 €/MWh ja vuonna 2030 noin 18,15 €/MWh.



Kuva 19. Päästöoikeuksien arvioitu kustannusten nousu.

Kuvassa 20 on esitetty nykyisen päästöoikeusmaksun herkkyystarkastelu. Mikäli päästöoikeusmaksut nousisivat 20 % vuosittain, vuonna 2023 päästöoikeusmaksut olivat 32,37 €/MWh.



Kuva 20. Päästöoikeuskustannuksien herkkyystarkastelu nykyarvolla.

Nykytiedoilla ostolämmön hinta on noussut vuosittain keskimäärin 5 %. On mahdollista, että yritys B muuttaa lämmöntuotannon polttoainesektoreita ympäristöystävällisempään suuntaan. Kun ostohinnan vuosittaisen nousun lisäksi huomioidaan turpeen energiaveron sekä päästöoikeusmaksujen kiristyminen, kustannukset nousevat keskimäärin 7 % vuodessa.

Vuoden 2024 tuotantojakaumaa tarkastellessa, voidaan huomata öljykattiloiden lämmöntuotannon lisääntyneen 801 MWh:iin. Öljyn hinnan kehitystä on lähes mahdotonta ennustaa, mikä aiheuttaa epävarmuutta lisääntyvän öljylämmöntuotannon käyttöön.

Mallissa A tuloksien kannattavuutta voidaan vertailla useilla eri näkökulmilla. Kannattavuus muuttuu huomattavasti, mikäli lämpöpumppujärjestelmän käyttämä sähkö olisi markkinahinnan mukainen. Mallin A kannattavuutta voidaan tarkastella myös, mikäli prosessiteollisuuden hukkalämmön hinta vaihtelee. Mallissa B kannattavuus muuttuu vain, mikäli polttoaineseoksen toimitushinta nousee. Tuolloin muuttuvien kustannuksien osuus korostuu kannattavuuden tarkastelussa ja omakustannushinnan muodostumisessa.

7.6 Tulosten tarkastelu

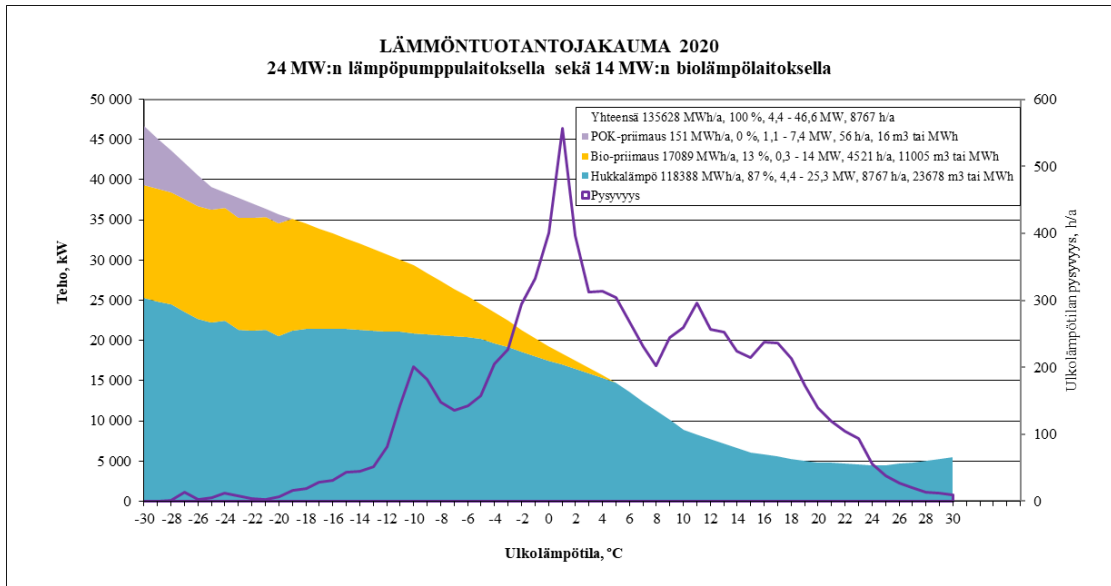
Tutkimuksen kohteena olevien vaihtoehtomallien kannattavuustarkastelun tuloksia on tarkasteltu ensisijaisesti perustehon tuotantoon soveltuvien lämmitysjärjestelmien osalta. Lisätehontarpeeseen soveltuvien lämmöntuotantojärjestelmien kannattavuustarkastelun tuloksia ei ole esitelty yksityiskohtaisesti.

7.6.1 Kaukolämpöenergian perustuotantoon soveltuva lämmön tuotantomuoto

Mallissa A tarkasteluun valittiin kompressiolämpöpumppujärjestelmä. Lämpöpumppujärjestelmien vertailussa havaittiin, ettei sähkönkäyttökustannuksilla ole merkittävää eroa. Absorptiolämpöpumppujen yksittäinen koko oli suurempi, joka kompensoi kompressiopumppujen lukumäärän rakennuksen kokoa arvioitaessa. Kompressiopumppujen vuosittaiset kokonaiskustannukset olivat 20 vuoden takaisinmaksuajalla ja 1,2 %:n sisäisellä korolla kokonaistaloudellisesti edullisimmat. Lämpöpumppujärjestelmä sijoitetaan lähelle prosessiteollisuuden hukkalämpölähdettä.

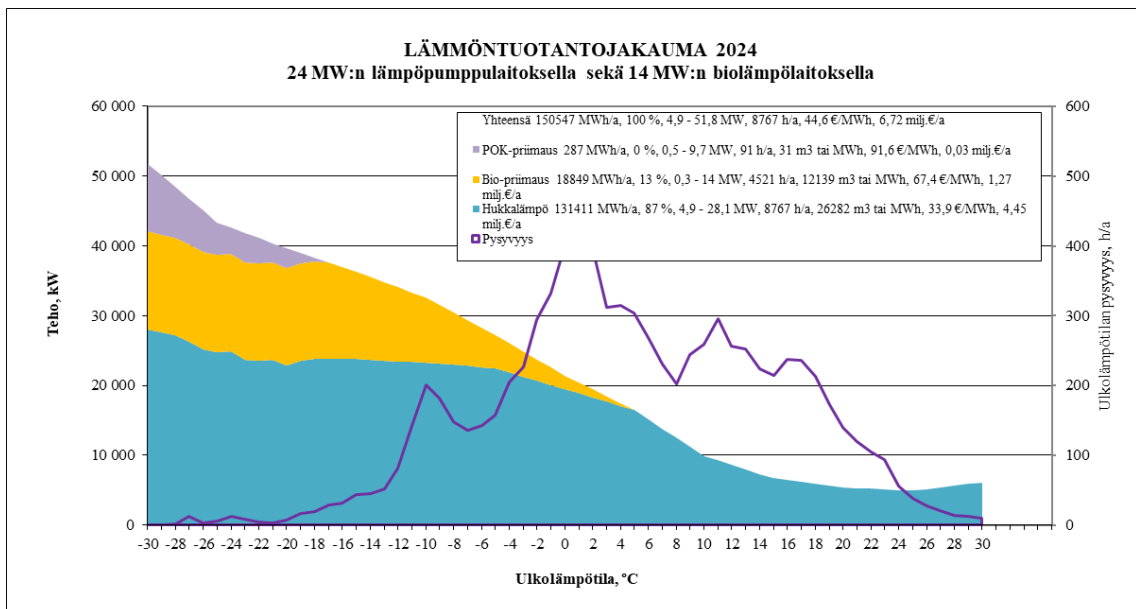
Malliin A valittiin lisäksi 14 W:n biokattila kaukolämpöenergian priimaukseen. Biokattila sijoitetaan ensimmäiselle sijoituspaikalle, joka sijaitsee yritys B:ltä tulevan runkolinjan varrella. Tällöin investointikustannuksissa huomioitiin ainoastaan liitäntäputken rakentamisesta aiheutuvat kustannukset.

Kuvassa 21 on esitetty lämmöntuotannon jakautuminen mallin A mukaisesti. Mallin A hiilineutraaliosaste on noin 99,9 %. Kevyttä polttoöljyä käytetään vain 151 MWh vuodessa. Lisäksi kuvassa on esitetty pysyvyyssäyrä, joka muodostuu toimipaikkakunnan ulkolämpötilojen mukaan. Ulkolämpötilan pysyvyyden avulla voidaan ajallisesti painottaa eri ulkolämpötiloilla tarvittavat lämmitystehon tarpeet, sillä lämmitysteho korreloi ulkolämpötilan kanssa.



Kuva 21. Lämmöntuotannon jakautuminen vuonna 2020, malli A.

Kuvassa 22 on esitettyä lämmöntuotannon jakautuminen mallin A mukaisesti vuonna 2024. Mallin A hiilineutraaluisaste on noin 99,8 %. Kevyttä polttoöljyä käytetään noin 287 MWh vuodessa. Kevyen polttoöljyn käytön määrä kasvaa lämmitystehon tarpeen kasvaessa.

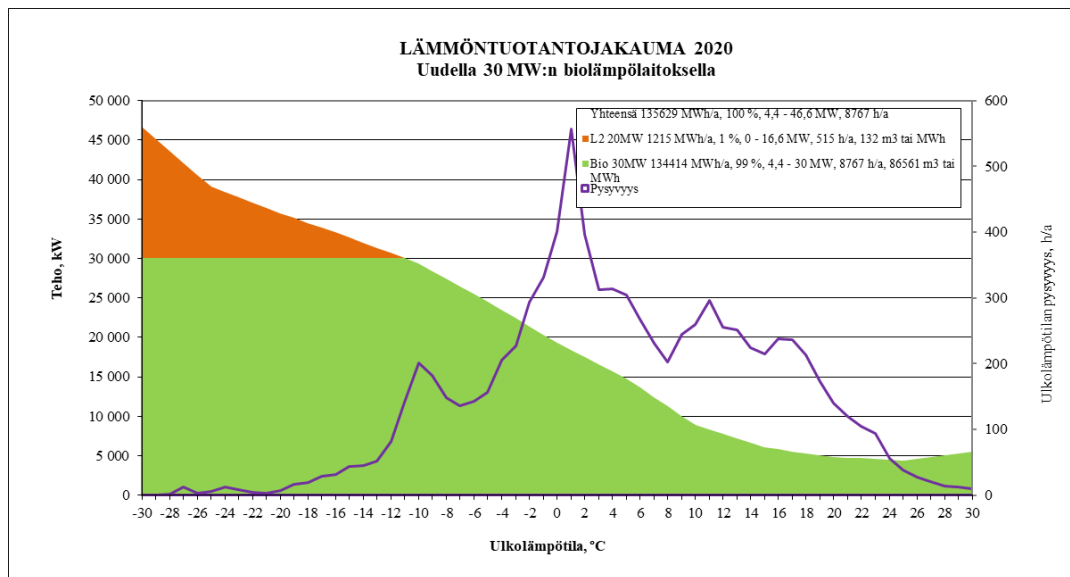


Kuva 22. Lämmöntuotannon jakautuminen vuonna 2024, malli A.

Mallissa B tuotetaan kaukolämpöenergian peruskuorma kahdella 14 MW:n biokattilalla. Biokattiloiden vuosittaiset kokonaiskustannukset laskettiin 20 vuoden takaisinmaksuajalla

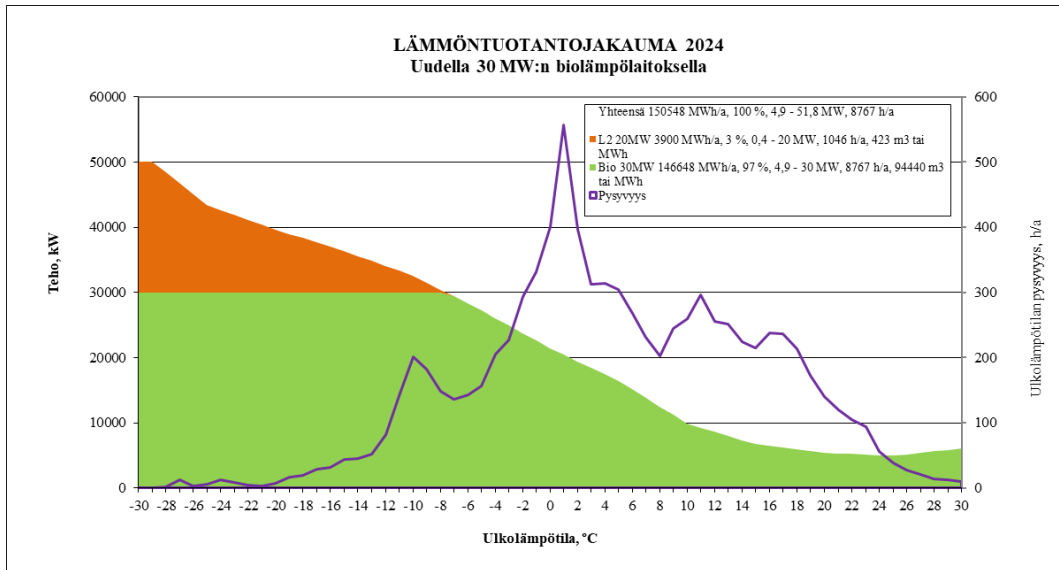
ja 1,2 %:n sisäisellä korolla. Biokattilat sijoitetaan ensimmäiselle sijoituspaikalle runkolinjan varrelle. Investointikustannuksissa huomioitiin vain liitäntäputken rakentamisesta aiheutuvat kustannukset.

Kuvassa 23 on esitettyä lämmöntuotannon jakautuminen mallin B mukaisesti. Mallin B hiilineutraalisuusaste on noin 99,1 %. Kevyttä polttoöljyä käytetään noin 1215 MWh vuodessa.



Kuva 23. Lämmöntuotannon jakautuminen vuonna 2020, malli B.

Kuvassa 24 on esitettyä lämmöntuotannon jakautuminen mallin B mukaisesti vuonna 2024. Mallin A hiilineutraalisuusaste on noin 97,4 %. Kevyttä polttoöljyä käytetään noin 3900 MWh vuodessa. Kevyen polttoöljyn käytön määrä kasvaa lämmitystehon tarpeen kasvaessa.



Kuva 24. Lämmöntuotannon jakautuminen vuonna 2024, malli B.

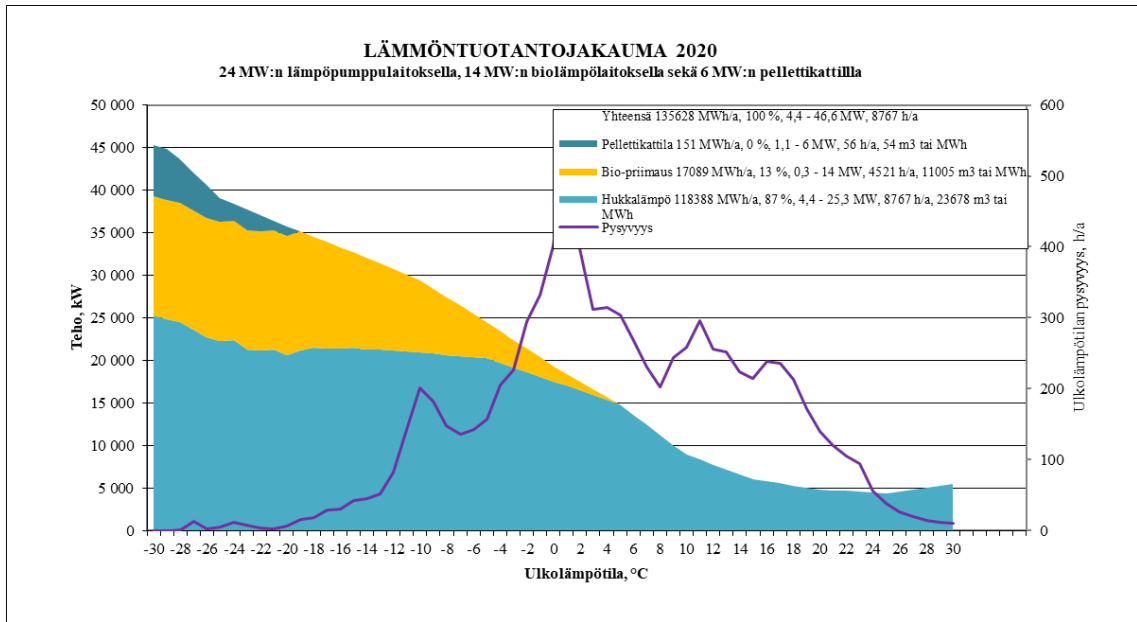
Liitteessä 6 on esitettyinä nykytuotantomallin sekä mallien A ja B herkkyystarkastelut. Lisäksi liitteessä on herkkyystarkastelut mitoitusasteista suhteessa omakustannushintaan.

7.6.2 Vara- ja huipputuotannon lämmöntuotantoselvitys

Kaukolämpöenergiantuotannon kehittäminen 100 %:sti hiilineutraaliksi vaatii investointeja. Yritys A on saneerannut viime vuosina öljylämpölaitosten polttoainesäiliöt, jolloin tarve saneeraukselle ei ole välitön.

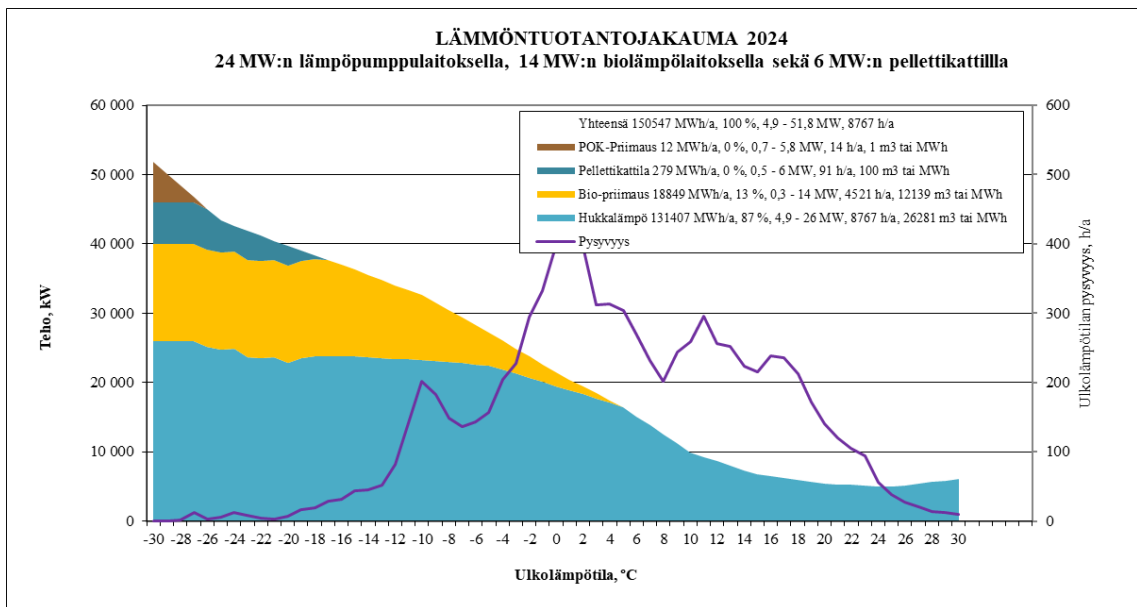
Pelletti on metsäteollisuuden laitosten sivuotteista kokoon puristettu puupohjainen polttoaine. Pelletti on energiasisällöltään ja laadultaan tasaista, jolloin se sopii myös suurempien lämpölaitosten polttoaineeksi. (Pulkinen, 2017, 21) Vara- ja lisätehon tarve on mahdollista tuottaa nykyisillä öljykattiloilla, jolloin uusia investointikustannuksia ei synny. Tavoitellessa lämmöntuotannon 100 % hiilineutraaliutta, pellettikattila olisi suositeltava investointi.

Kuvassa 25 on esitettyä lämmöntuotannon jakautuminen mallin A mukaisesti, jossa on huomioitu 6 MW:n pellettikattila. Mallin hiilineutraaliusaste on noin 100 %. Kevyttä polttoöljyä ei käytetä lainkaan.



Kuva 25. Lämmöntuotannon jakautuminen vuonna 2020, malli A sekä pellettikattilla.

Kuvassa 26 on esitettyä lämmöntuotannon jakautuminen mallin A mukaisesti vuonna 2024. Mallin A hiilineutraaluisaste on lähes 100 %. Kevyttä polttoöljyä käytetään noin 12 MWh vuodessa.



Kuva 26. Lämmöntuotannon jakautuminen vuonna 2024, malli A pellettikattilalla

Öljykattila on mahdollista saneerata pelleille sopivaksi etupesätkänsä kautta, jolloin muutokset kattilaan ovat mahdollisimman vähäiset. Toinen vaihtoehto on lisätä kattilaan

arina. Pelletillä toimiva kattila on nopea vastaamaan kulutuspiikkeihin. Liitteessä 4 on esitettyinä tuotantolaitosten alustavia budjettihintoja.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa kartoitettiin hiilineutraaleja lämmön tuotantomuotoja kaukolämmön perustehon tuotantoon. Ensimmäisen rajauksen perusteella karsittiin fossiiliset polttoaineet. Lisäksi karsittiin erilaiset lämmön tuotantomuodot, joiden arvioidut investointi- ja käyttökustannukset nousivat liian korkeiksi.

Alueellisilta polttoaineen toimittajilta kartoitettiin hiilineutraaleiden polttoaineiden saatavuutta. Samalla selvitettiin alueella toimivan prosessiteollisuuden hukkalämmön saatavuutta ja yhteistyökyvykkyyttä. Tutkittaviksi malleiksi valittiin malli A, jolla tarvittava kaukolämpöenergia tuotetaan hukkalämmöllä 24 MW:n lämpöpumppujärjestelmän kautta sekä 14 MW:n biokattilalla sekä malli B, jolla tarvittava kaukolämpöteho tuotetaan kahdella 14 MW:n biokattilalla.

Jotta kaukolämmöntuotannossa saavutetaan täydellinen hiilineutraalius, tulee lisätehon tuotavat öljykattilat saneerata uusiutuvilla polttoaineilla toimiviksi. Öljykattiloiden öljysäiliöt on vasta saneerattu, joten saneeraustarve ei ole vielä ajankohtainen.

Yritys A on vastannut hallituksen hiilineutraaliustavoitteeseen teettämällä selvityksen hiilineutraalin kaukolämpöenergian tuottamisesta kustannustehokkaasti.

Kannattavuustutkimustulosten kautta voidaan todeta, että malleilla A ja B kaukolämpöenergian omakustannehinta on nykyisellä vuosienergiämäärällä matalampi kuin nykyisen tuotantomallin mukainen omakustannushinta. Tilaustehon kasvaessa vuosittain noin 2,2 % sekä poliittisten päätösten aiheuttamien fossiilisten polttoaineiden verotuksen kiristytessä tutkittavien mallien A ja B kannattavuus korostuu entisestään.

Puupohjaisten polttoaineiden saatavuus ja energiahinnan nousu tulee haasteeksi toimialueella kasvavan puupohjaisen teollisuuden myötä. Mallissa A puupohjaisilla tuotetun energian osuus on pienempi, jolloin myös riskit puupohjaisten polttoaineiden energiahintojen nousuun ovat rajatummalla.

Lämmön tuotantomuodoista kannattavin oli omakustannushinnan kautta verrattuna malli A, jossa tarvittava kaukolämpöenergia tuotetaan prosessiteollisuuden hukkalämmöllä sekä biokattilalla. Lisäksi mallilla A polttamalla tuotetun kaukolämpöenergian osuus laskee 100 %:sta 15 %:iin.

Tutkimuskohteiden investointikustannuksia nostaa tämänhetkinen lämmön tuotantomalli, jossa yritys A:lla on pelkästään lisätehon tarpeen tuottamiseen soveltuvia öljykattiloita. Öljykattiloita ei voida hyödyntää kaukolämmön kesäaikaisessa tuotannossa, mikäli tavoitellaan hiilineutraaliutta.

Mallin A kannattavuutta laskee verkostoinvestoinneille annettu 20 vuoden takaisinmaksuaika. Verkoston vuosittaiset pääomakustannukset olisivat noin 260 000 € pienemmät 30 vuoden takaisinmaksuajalla. Verkoston 20 vuoden takaisinmaksuajan vaikutus omakustannushintaan on hieman alle kaksi euroa tuotettua megawattituntia kohden.

Lämmön tuotantomenetelmien taloudellisuus riippuu käytettävän lämmönlähteen tai polttoaineen energiahinnasta sekä siihen kohdistetuista veroista ja päästömaksuista. Lisäksi taloudellisuutta arvioitaessa tulee huomioida tulevaisuuden näkymät polttoainekohtaisesti, jolloin verojen ja päästömaksujen muodostamat kustannukset voivat vaikuttaa merkittävästi kannattavuuteen. Lämmön tuotantomenetelmien taloudellisuus riippuu myös alustavista investointikustannuksista, joihin sisältyvät laitos- ja verkostoinvestoinnit sekä käyttö- ja huoltokustannukset. Lämmön tuotantomenetelmien taloudellisuuteen vaikuttaa myös yrityksen nykyiset kustannukset, kuten pääomakustannukset, muuttuvat kustannukset sekä käyttö- ja huoltokustannukset, mitkä on otettava huomioon jokaisen mallin omakustannushinnan muodostumisessa. Taloudellisuuden muodostumiseen vaikuttaa myös asiakkaiden kaukolämmön kulutuksesta muodostuva tuotantorakenne, jota korreloi vuosienergian määrä suhteessa pysyvyyteen.

Mallin A lämmön tuotantojakaumia tarkastellessa kappaleessa 7.6.1 voidaan havaita, että kevyttä polttoöljyä joudutaan käyttämään huipputehon tarpeeseen. Vuosia 2020 ja 2024 tarkastellessa öljyn käyttö ei kuitenkaan näy omakustannushintaa nostavasti. Hiilineutraaliutta

tavoitellessa lisääntyvä öljyn käyttö voitaisiin korvata 6 MW:n pellettikattilalla. Tällöin kuitenkin omakustannushinta nousee.

Nykyisellään öljyn käytön poistamista vara- ja huipputehon tuotannosta ei ole taloudellisesti kannattavaa, sillä nykyisten öljykattiloiden käyttö ei vaadi uusia investointeja. Nykyisillä öljykattiloilla lisätehon tuottaminen on siis edullisempaa, kuin tuottaa energia 100 %:sti hiilineutraalisti.

8.1 Tulosten hyödynnettävyys sekä jatkotutkimusehdotukset

Tutkimustuloksien tarkoituksena on tukea yritystä A:n hallitusta hiilineutraalin kaukolämpöenergian kehittämisessä ja mahdollisesti auttaa tekemään investointipäätöksiä kannattavuuslaskelmien avulla.

Investointivaihtoehdoista malli A ja B vaikuttavat kannattavuustarkastelun myötä toteuttamiskelpoisilta kaukolämmön perustehon tuottamiseksi. Molemmat investointivaihtoehdot vaativat jatkoneuvotteluita yhteistyökumppaneiden kanssa sekä tarkemman suunnittelun aloittamista todellisten kustannusten tarkastamiseksi.

Prosessiteollisuuden hukkalämmön hinnan sekä toimitusehtojen tarkastuksen myötä, kannattavuuslaskelmat realisoituisivat. On huomioitava riskit, mikäli prosessiteollisuuden yksikkö lopettaa toimintansa tai hukkalämpöä ei olekaan tilapäisesti saatavilla.

Tutkimustuloksissa on huomioitu investointihankkeen ympäristövaikutuksia, mutta huomiomatta jää rakennuksen aikaiset työllisyysvaikutukset sekä muut yhteiskuntavastuun piiriin kuuluvat seikat. Mallien A ja B on todettu työllistävän yhden kokoaikaisen henkilön lisää lämpölaitosten kunnossapitoon, joka on huomioitu laskelmissa. Laskelmissa ei huomioida mahdollista inflaatiota eikä muita kuin päästö- ja energiaveroja. Näiden huomiotta jättäminen ei ole ratkaisevaa investointihankkeen kannattavuuden suhteen.

Relevantti jatkotutkimuksen aihe on energiahinnan muodostavien tekijöiden riippuvuuksien ja syy-seuraussuhteiden osoittaminen ja voimakkuuksien selvittäminen. Lisätutkimuksen avulla voitaisiin tuottaa tietoa tulevaisuuden ennusteista, jolloin tapahtumakulkujen

tutkiminen ja niihin vaikuttavien tekijöiden selvittämisen perusteella voitaisiin laatia selkeitä ennustemalleja.

Lämpölaitoksen elinkaarianalyysi olisi hyödyllinen jatkotutkimuksen aihe, mutta tiukkojen resurssien vuoksi tutkimuksen selvitysvaiheessa on huomioitu vertailuun vain lämpölaitoksen käyttöaika ja siihen liittyvät kustannukset.

9 YHTEENVETO

Tutkimuksen aiheena oli asiakkaan kaukolämpöjärjestelmän kehittäminen hiilineutraaliksi. Asiakkaan ostama kaukolämpö on tuotettu 80 %:sti fossiilisilla polttoaineilla, jolloin energia- ja päästötavoitteiden kiristyminen aiheuttaa epävarmuutta kannattavuuteen.

Lähtötietojen perusteella muodostettiin nykytilanteen lämmön tuotantojakauma sekä laskettiin ostolämmön omakustannehinta. Tilaustehon arvioidun kasvun myötä muodostettiin lisäksi vuoden 2024 lämmön tuotantojakauma.

Työssä käsiteltiin kaukolämmön perusteita sekä kaukolämpöjärjestelmään liittyviä haasteita, jotka vaikuttavat uusien investointivaihtoehtojen tutkiessa. Esitutkimuksien perusteella rajattiin fossiiliset polttoaineet sekä lämmön tuotantomuodot, joiden investointi- ja käyttökustannukset nousivat liian korkeiksi.

Tutkimuksessa selvitettiin alueellisesti saatavilla olevia hiilineutraaleja polttoaineita sekä lämmönlähteitä, joiden kautta karsittiin tavoitteisiin ja toimintaan soveltuvat polttoaineet. Potentiaalisiksi lämmön tuotantovaihtoehtoiksi valikoitui puupohjaiset biopolttoaineet sekä prosessiteollisuuden hukkalämpö.

Valittujen lämmön tuotantolähteiden perusteella muodostettiin kaksi erilaista mallia, joiden laitteistojen tuottamat lämpötehot optimoitiin lämmön tuotantojakauman avulla. Tehojen selvittämisen jälkeen alustavia investointikustannuksia selvitettiin tarjouspyynnöin sekä kokemusperäisten budjettitarjousten perusteella.

Tutkimuksessa saatiin aikaiseksi kaksi uutta lämmön tuotantomallia, jotka osoittautuivat alustavien kannattavuustarkastelujen tuloksina kannattaviksi. Uusien mallien hiilineutraaliusaste sekä omakustannushinta olivat tavoitteen mukaisesti nykytuotantomallia kannattavammat.

LÄHTEET

AHONEN TUOMAS, 2018. Sähkökattilan investoinnin esiselvitys, Jyväskylän Ammattikorkeakoulu.

ALAKANGAS EIJA, HURSKAINEN MARKUS, LAATINEN-LUNTAMA JAANA and KORHONEN JAANA, 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Technology.

AUVINEN KAROLIINA, 26.9., 2016-last update, Aurinkolämpöjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Available: <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkolampojarjestelmien-hintatasot-ja-kannattavuus-suomessa/> [20.3., 2021].

ELSTOR OY. A big impact on the climate. 2021. Lappeenranta.

ENERGIATEOLLISUUS, 2020. Energia-alan vähähiilisyystiekartta.

ENERGIATEOLLISUUS 2020. Liiketoimintaympäristö 2020.

ENERGIATEOLLISUUS RY, 2020. Maanalaisten kiinnivaahdotettujen kaukolämpöjohtojen rakentamiskustannukset 2019

ENERGIATEOLLISUUS RY, 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Kirjapaino Libris Oy.

ENERGIAVIRASTO, 2020. Toiminnanharjoittajakohtaiset todennetut päästöt [t CO₂] vuosilta 2013–2019.

FINLEX, 2021. Päästökauppalaki 311/2011. Available: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110311> [1.2.2021]

GASGRID FINLAND OY, 2020. Biokaasusertifikaattijärjestelmän säännöt. Espoo.

GREEN FUELS NORDIC OY, Tuotteet. Available: <https://www.greenfuelnordic.fi/tuotteet> [23.2., 2021].

HALLITUKSEN ILMASTOKOKOUS, 2020. Kestävän verotuksen tiekartta.

HANNA ESKONEN, 2020. Turpeen kiistelty veroetu ei poistunutkaan, vaan tilalle ilmestyi yllättäen uusi mekanismi – riittääkö se puolittamaan turpeen polton? Yle uutiset.

HUTTUNEN ANTTI, 2017. Ympäristönsuojeluvaatimukset energiapalveluliiketoiminnassa, Aalto-yliopisto.

IKÄHEIMO SEPPO, MALMI TEEMU and WALDEN RISTO, 2019. Yrityksen laskenta-toimi. Helsinki: Talentum.

IRENE 2018. Available: www.irena.org [7.4.2021]

JOKINEN MIKA and SAASTAMOINEN ANTTI, 2021. Energiaverotus.

KAUKORA OY, 2014. Käyttöohje FIL-kattiloille.

KOHOPÄÄ, A., 2019. Kaukolämpöyhtiöiden lämmön ostaminen ja määräävän markkina-aseman asettamat kilpailuoikeudelliset reunaehdot.

KOLJONEN TIINA, LEHTILÄ ANTTI, KORENEFF GÖRAN, LINDROON TOMI, J., PURSIHEIMO ESA, RÄMÄ MIIKA, SIIKAVIRTA HANNE, LAUKKANEN MARITA, KYRITSIS EVANGELOS, OLLIKKA KIMMO and EEROLA ESSI, 2019. Energiatuotannon valmisteverotuksen kehittäminen Suomessa. Espoo: VTT.

KORJUS TAIJA, 2016. *Kaukolämmön uudet hinnoittelumallit Suomessa ja Ruotsissa sekä niiden kehittyminen markkinoiden mukana*, Aalto University.

LAUKKANEN MARITA, 2020. Energian tuotantoon ja energian käyttöön liittyvät yritystuet Helsinki: Yritystukien tutkimusjaosto.

LEHTO JANI, OASMAA ANJA, SOLANTAUSTA YRJÖ, KYTÖ MATTI and CHIARAMONTI DAVID, 2013. Fuel oil quality and combustion of fast pyrolysis bio-oils. Espoo: VTT Technology.

LOUNASHEIMO JOHANNES, OLLIKAINEN MARKKU, REGINA KRISTIINA, SAIKKU LAURA and SEPPÄLÄ JYRI, 2019. Hiilineutraalius ilmastopolitiikassa. LUORANEN JUHO, 2017. Teollisen kokoluokan lämpöpumppukoneikon tekniikka ja talous, Aalto Yliopisto.

MÄKELÄ VELI-MATTI and TUUNANEN JARMO, 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu.

MARIN SANNA and VANHANEN MATTI, 2020. Hallituksen esitys eduskunnalle laeiksi energiaverotusta koskevan lainsäädännön muuttamisesta. Hallituksen esitys.

MOTIVA, 5.8., 2020-last update, Teollinen aurinkolämpö. Available: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/teollinen_aurinkolampo [20.3., 2021].

MOTIVA, 2019. Kaukolämmön hinta.

MOTIVA, 2018. Lämpöä omasta maasta. Motiva.

NANOBITTEJA, 2020. Tutkijat kehittävät elinkelpoisen natriumakun, 9.6.2020, Available: <https://www.nanobitteja.fi/uutiset.html?181301> [7.4.2021].

NIININEN MINNA, 2020. Sähkön ja lämmön tuotanto 2019. Tilastokeskus.

PARAT HALVORSEN AS, 2021. High Voltage Electrode Boiler from POWER to HEAT for Steam or Hot water. Norway.

PARKKONEN LEO, 2020. Energiaverotuksen uudistamista selvittävän työryhmän loppuraportin ehdotukset ja niiden vaikutukset. Valtiovarainministeriö.

PLANORA OY, 2021. Kaukolämpöjärjestelmän optimointi. Planora Oy.

PLANORA OY, 2019a. Investoinnin vaikutus energiahintaan.

PLANORA OY, 2019b. Kattilan hankinta.

PLANORA OY, 2019c. Kilpailukyky selvitys. Oulu.

PLANORA OY, 2019d. LNG-kaukolämmöntuotannon polttoaineena. Oulu.

PUHAKKA ASKO, 2012. Lämpöratkaisun hankintamenettely, kuntataajama. Motiva Oy.

PULKKINEN KALLE, 2019. Maakaasun korvaaminen vaihtoehtoisilla polttoaineilla vara- ja huipputeholaitoksissa, Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

RINNE SAMI, 2020. Valtioneuvoston asetus keskisuurten energiantuotantoyksiköiden ja -laitosten ympäristönsuojeluvaatimuksista (1065/2017).

RUOKAMO KUSTI, 8.6.2020, Pyrolyysiöljyllä voidaan korvata fossiilisia polttoaineita. Available: <https://blogit.lab.fi/labfocus/pyrolyysioljylla-voidaan-korvata-fossiilisia-polttoaineita/> [23.2.2021].

SEPPÄLÄ JYRI, SAIKKU LAURA, SOIMAKALLIO SAMPO, LOUNASHEIMO JOHANNES, REGINA KRISTINA and OLLIKAINEN MARKKU, 2019. HIILINEUTRAALIUUS ILMASTOPOLITIIKASSA – VALTIOT, ALUEET JA KUNNAT.

SJÖMAN, M., 2014. KAUKOLÄMMÖN HINNOITTELMALLIENOPTIMOINTI JA KEHITTÄMINEN MUUTTUVASSA TOIMINTAYMPÄRISTÖSSÄ, Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

ST1 LÄHIENERGIA OY, 2020. St1 Heat from the ground. Espoo.

SUOMEN ILMASTOPANEELI, 2021. Ilmastolakiin kirjattavat pitkän aikavälin päästö- ja nielutavoitteet - Ilmastopaneelin analyysi ja suositukset.

SUOMEN LUONNONSUOJELULIITTO, 2020-last update, Turve.

Available: <https://www.sll.fi/mita-me-teemme/suot/nain-toimimme/turve/> [10.4., 2021].

TEKIJÄ SALATTU, 2018. Neuvonpitoselvitys.

TEKIJÄ SALATTU, 2021. Tarjous.

TIELINEN, A., 2020. KAUKOLÄMMÖSTÄ MAALÄMPÖÖN VAIHTAMISEN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS ASUINTALOISSA LAPPEENRANNASSA, Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

TILASTOKESKUS, 2021. Liitetaulukko 3. Lämmitysenergian kuluttajahintoja joulukuussa 2020. Tilastokeskus.

TILASTOKESKUS, 2019. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2018. Helsinki.

TOMMI SIPONEN, 2016. Pyrolyysiöljyn käyttökohteet ja -teknologiat Suomessa, Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

TYÖ- JA ELINKEINOMINISTERIÖ, 2020. Päästökauppadirektiivi.

VALTIONEUVOSTO, 2020. Hallituksen neuvottelu vuoden 2021 talousarvioesityksestä.

VALTIOVARAINMINISTERIÖ, 2021a-last update, Energiaverotus.
Available: <https://vm.fi/energiaverotus> [23.3., 2021].

VALTIOVARAINMINISTERIÖ, 2021, Hallituksen esitys lämmöntuotannon sähköverotuksesta. Available: <https://vm.fi/hanke?tunnus=VM024:00/2021>.

VALTIOVARAINMINISTERIÖ, 2020. Energiaverotuksen uudistamista selvittävän työryhmän raportti ehdotukseksi hallitusohjelman kirjausten ja tavoitteiden toteuttamisesta sekä energiaverotuksen muusta kehittämisestä.

VALTIOVARAINMINISTERIÖ, MAA- JA METSÄTALOUSMINISTERIÖ, TYÖ- JA ELINKEINOMINISTERIÖ, YMPÄRISTÖMINISTERIÖ and VEROHALLINTO, 2020. Energiaverotuksen uudistamista selvittävän työryhmän raportti ehdotukseksi hallitusohjelman kirjausten ja tavoitteiden toteuttamisesta sekä energiaverotuksen muusta kehittämisestä. Helsinki.

VEROHALLINTO, 2021. Energiaverotus.

VEROHALLINTO, 8.11.2019, Energiaverotus. Available: <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/56206/energiaverotus/> [13.2., 2021].

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ, 2019. Hallituksen ilmastopolitiikka: kohti hiilineutraalia Suomea 2035.

Taulukko 6. Lämpöpumpun lämpötehon mitoitus tarjouspyyntöä varten.

Ulkolämpötila °C	Verkon lämpötilat 2020			Uudet lämpötilat tulevassa tilanteessa		Lämpöpumpun toisiopuolen lämpötilaero °C	Kaukolämmön tehontarve (MW)		Lämpöpumpun maksimitoiminta-arvoja			Priimaustehontarve (MW)		Piimauksen osuus	
	Meno °C	Paluu °C	Jäähtymä °C	Meno (saatava) ^{a)} °C	Meno (tarve) ^{b)} °C		2019	2024	Optimoitu maksimivirtaama (l/s) 2024	Maksimilauhdutusteho (MW)		2019	2024	2019	2024
										2019	2024				
-35	112,1	57,4	54,7	85,0	112,1	27,6	48,0	53,3	232	24,2	26,9	23,8	26,4	50 %	50 %
-30	110,1	55,4	54,7	85,0	110,1	29,6	44,0	48,8	213	23,8	26,4	20,2	22,4	46 %	46 %
-25	110,3	55,8	54,5	85,0	110,3	29,2	36,9	40,9	179	19,7	21,9	17,1	19,0	46 %	46 %
-20	106,5	55,1	51,4	85,0	106,5	29,9	33,7	37,4	173	19,6	21,7	14,1	15,7	42 %	42 %
-15	102,6	50,6	52,0	85,0	102,6	34,4	30,8	34,2	157	20,4	22,6	10,4	11,6	34 %	34 %
-10	101,4	50,2	51,3	85,0	101,4	34,8	27,7	30,7	143	18,8	20,9	8,9	9,8	32 %	32 %
-5	92,8	47,4	45,4	85,0	92,8	37,6	23,1	25,7	135	19,2	21,3	4,0	4,4	17 %	17 %
0	88,8	46,1	42,7	85,0	88,8	38,9	18,2	20,2	113	16,5	18,4	1,6	1,8	9 %	9 %
5	83,0	45,4	37,6	83,0	83,0	37,6	14,0	15,5	98	14,0	15,5	0,0	0,0	0 %	0 %
10	81,0	49,1	31,9	81,0	81,0	31,9	8,4	9,3	70	8,4	9,3	0,0	0,0	0 %	0 %
15	80,9	51,9	29,0	80,9	80,9	29,0	5,7	6,3	52	5,7	6,3	0,0	0,0	0 %	0 %
20	80,7	53,8	26,8	80,7	80,7	26,8	4,6	5,1	45	4,6	5,1	0,0	0,0	0 %	0 %
25	80,7	55,3	25,4	80,7	80,7	25,4	4,2	4,6	43	4,2	4,6	0,0	0,0	0 %	0 %
-30	80,7	55,5	25,1	80,7	80,7	25,1	5,2	5,7	54	5,2	5,7	0,0	0,0	0 %	0 %
a) Lämpöpumpulta saatava menolämpötila										Kulutuksen mukaan rajoittuva virtaama ja teho					
b) Priimauksen jälkeen										Lämpöpumpun maksimisähköteho annetulla COP-arvolla				6,7	MW