

Lauri Jylänki

**METSÄENERGIAN ROOLI TULEVAISUUDEN
KAUKOLÄMMÖN TUOTANNOSSA –
CASE TAMPEREEN ENERGIA**

Johtamisen ja talouden tiedekunta
Yrityksen johtaminen, Kandidaatintutkielma
Ohjaaja: Kari Lohivesi
Toukokuu 2024

TIIVISTELMÄ

Lauri Jylänki: Metsäenergian rooli tulevaisuuden kaukolämmöntuotannossa – Case Tampereen Energia
Kandidaatintutkielma
Tampereen yliopisto
Kauppateiden kandidaatin tutkinto-ohjelma, Yrityksen johtaminen
Toukokuu 2024

Kandidaatintutkielma tarkastelee tekijöitä, jotka vaikuttavat metsäenergian käyttöön Tampereella. Tutkimuksen tavoitteena on vastata kysymykseen, mikä on metsäenergian rooli tulevaisuuden kaukolämmöntuotannossa. Tutkimuksen teoreettinen viitekehys rakentuu EU:n poliittisten toimien, kaukolämmön teknologioiden ja Tampereen Energian tuotantoskenaarioiden ympärille.

EU:n tavoitteena on saavuttaa ilmastoneutraalius vuoteen 2050 mennessä. Jäsenmaiden pitää samaan aikaan vähentää hiilidioksidipäästöjä, toteuttaa energiatehokkaampia ratkaisuja sekä lisätä metsien hiilinielua ja biodiversiteettiä. Kaukolämmöntuotannossa haetaan teknologisia ratkaisuja, joilla EU:n tavoitteisiin päästäisiin. Tutkimuksessa paneudutaan näihin ratkaisuihin.

Tutkimusmenetelmänä käytettiin laadullista tutkimusta, koska tarkoituksena oli kartoittaa ennalta tuntemattomia asioita ja näiden vaikutusta metsäenergian käyttöön. Aineisto kerättiin organisaatiosta kolmen asiantuntijahaastattelun avulla. Tuloksena saatiin kuvaus organisaation tuotantorakenteesta, näkemyksiä kaukolämmön tuotannon logiikasta, EU:n regulaation vaikutuksista, tuotantoskenaarioista ja tulevaisuuden suuntaviivoista sekä metsäenergian käytön haasteista ja mahdollisuuksista. Tulokset analysoitiin tutkimuksen viitekehyksen mukaisen aineiston avulla. Metsäenergian osalta tähän käytettiin SWOT-analyysiä tulosten jäsentelemiseksi.

Analyysin mukaan uudet kaukolämmön teknologiat perustuvat kustannustehokkaisiin sähköistymisen ratkaisuihin ja lämpöenergian varastointiin. Nämä vähentävät metsäenergian käyttöaikaa alle kuuteen kuukauteen vuodessa. Samaan aikaan vaihteleva tuulivoimatuotanto aiheuttaa teho-ongelman ja luo tarpeen säätyvälle polttamiseen perustuvalla tuotannolla, jonka ympäristöystävällisin vaihtoehto metsäenergia on. Tämän seurauksena metsäenergian rooli kaukolämmön toimitusvarmuudessa korostuu.

EU:n regulaatio ja poliittiset toimet luovat epävarmuutta ja tekevät metsäenergian uusista investoinneista haastavia. Toisaalta EU:n tuki hiilidioksidin talteenotolle tarjoaa potentiaalisen mahdollisuuden metsäenergian hyödyntäjille hiilidioksidin varastoinnin ja synteettisten polttoainesten valmistuksen kannalta. Metsäenergiaan perustuva hiilinegatiivinen kaukolämmöntuotanto on resurssien tehokkaan käytön ja nettopäästövähennyksen kannalta paras ratkaisu. Tutkimuksen johtopäätöksenä voidaan todeta, että metsäenergialla on merkittävä rooli kaukolämmön toimitusvarmuuden tukemisessa niin kauan kuin muualla Euroopassa tuotetaan sähköä polttamalla, vaikka hiilidioksidin talteenotto ei toteutuisikaan.

Avainsanat: metsäenergia, bioenergia, kaukolämpö, kaukolämmöntuotannon teknologiat, EU:n regulaatio, EU:n poliittiset toimet, BECCS, hiilidioksidin talteenotto

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

Sisällysluettelo

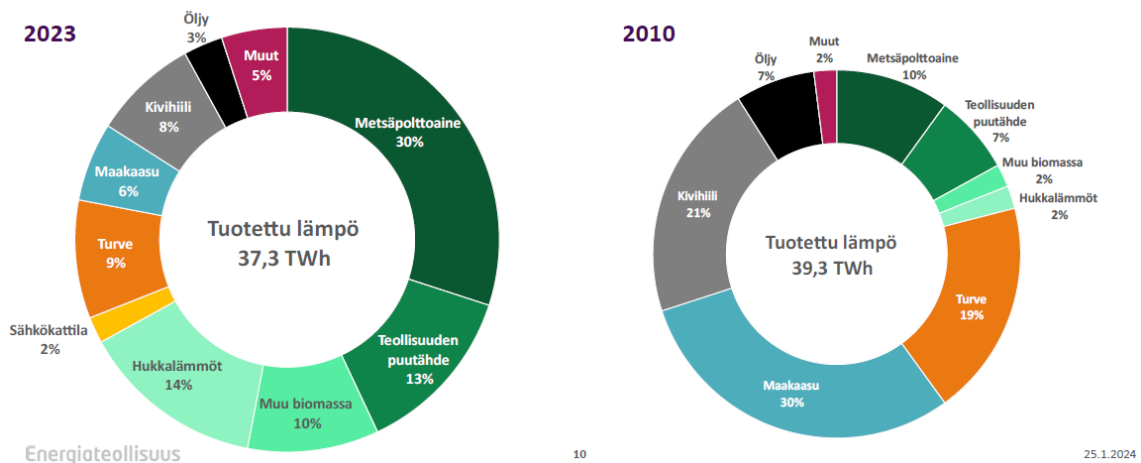
1	JOHDANTO.....	4
1.1	Aiheenvalinnan tausta.....	4
1.2	Tutkimuksen tavoite	7
1.3	Oletukset ja rajaukset.....	8
1.4	Tutkimuksen kulku	9
2	TUTKIMUKSEN TEOREETTINEN PERUSTA.....	10
2.1	Kaukolämmön tuotanto yleisesti	10
2.2	Kaukolämmön teknologiat.....	14
2.3	EU:n regulaatio	17
2.4	Tampereen Energian tuotantoskenaariot	18
2.5	Metsäenergia.....	20
2.6	Teoreettinen viitekehys.....	21
3	METODOLOGIA.....	23
3.1	Tutkimuksen kohde	23
3.2	Käytetyt tutkimusmenetelmät.....	23
3.3	Aineiston keruu.....	24
3.4	Aineiston käsittely ja analysointi.....	25
3.5	Tutkimuksen luotettavuuden arviointi	26
4	EMPIRIA.....	28
4.1	Kaukolämmön tuotannon logiikka Tampereen Energialla	28
4.2	Tampereen Energian tuotantorakenne	31
4.3	Metsäenergian käyttö Tampereen Energialla nykyään.....	38
4.4	Tuotantoskenaariot ja mahdolliset tulevaisuuden suuntaviivat	40
4.5	EU regulaation vaikutukset metsäenergian käyttöön	45
4.6	Metsäenergian käytön haasteet ja mahdollisuudet.....	51

5	TUTKIMUKSEN ANALYYSI JA JOHTOPÄÄTÖKSET	59
5.1	Analyysi.....	59
5.2	Johtopäätökset.....	65
5.3	Jatkotutkimusehdotukset.....	67
6	LÄHTEET	69
7	LIITTEET.....	73
	Liite 1: Haastattelurunko Niko Raami	73
	Liite 2: Haastattelurunko Jukka Joronen	75
	Liite 3: Haastattelurunko Pinja Salhoja	77
	Liite 4: Tampereen Energian kaukolämmön tuotantorakenne.....	80
	Liite 5: Tampereen Energian biomassan jakeiden osuudet tuotannosta	80

1 JOHDANTO

1.1 Aiheenvälinnan tausta

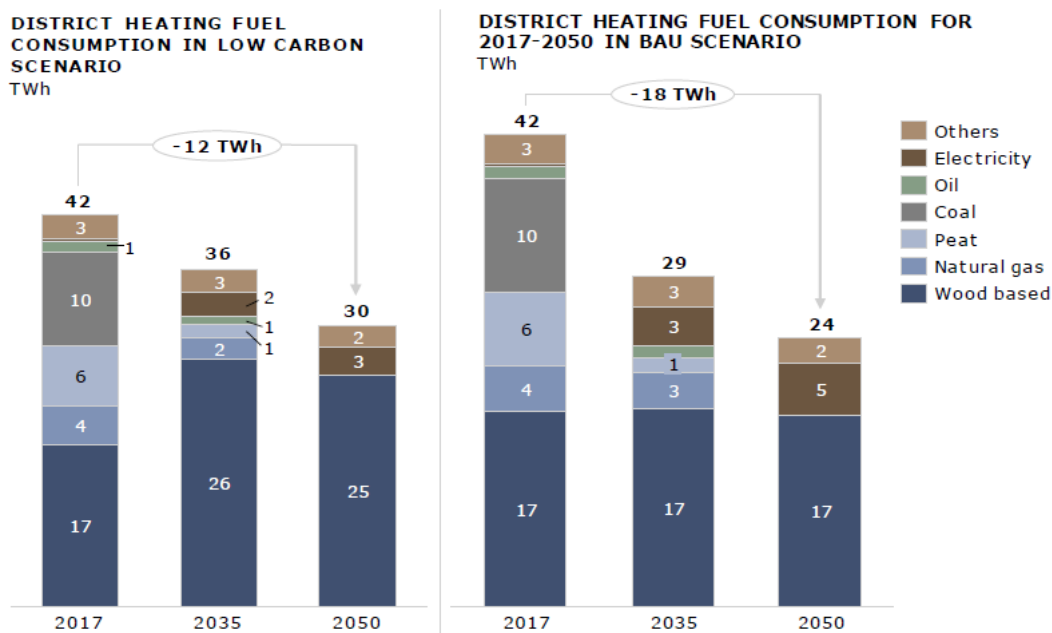
Kaukolämpö on yleisin lämmitysmuoto suomalaisissa kaupungeissa. Vielä vuonna 2010 se tuotettiin lähes täysin polttamalla. Tuolloin kivihiilen, maakaasun, turpeen ja öljyn osuus kaukolämmöntuotannosta oli 77 % ja puubiomassan 17 % (Kuvio 1). Ensimmäisinä ilmaston muutoksen vastaisina toimina pyrittiin vähentämään fossiilisten polttoaineiden osuutta lisäämällä puubiomassan käyttöä. Vuonna 2023 fossiilisten polttoaineiden ja turpeen osuus oli enää 26 %, puubiomassan osuuden ollessa 43 %. Muun kuin polttamisen osa-alueelta hukkalämmön osuus oli noussut jo 14 %:iin ja sähkökattiloiden 2 %:iin (Kuvio 1.)



Kuvio 1. Energialähteiden osuudet Suomen kaukolämmöntuotannossa vuosina 2010 ja 2023. (Energiateollisuus ry., 2024a).

AFRY:n (2020) kuviossa 2 Energiateollisuudelle tekemien skenaarioiden mukaan puuperäisten polttoaineiden kulutus Suomen kaukolämmöntuotannossa tulee joko pysymään samana tai kasvamaan tulevina vuosikymmeninä. Ukrainan sota on kuitenkin muuttanut markkinatilannetta olennaisesti, koska puun tuonti Venäjältä Suomeen on loppunut täysin. Nyt EU:n energia- ja ilmastopoliittiset toimet tähtäävät energiaomavaraiseen Eurooppaan ja Suomen metsien rooli nähdään Euroopassa hiilinieluna, jota pitää vuosi vuodelta kasvattaa. Siinä missä vielä muutama vuosi sitten puun polttaminen nähtiin ratkaisuna

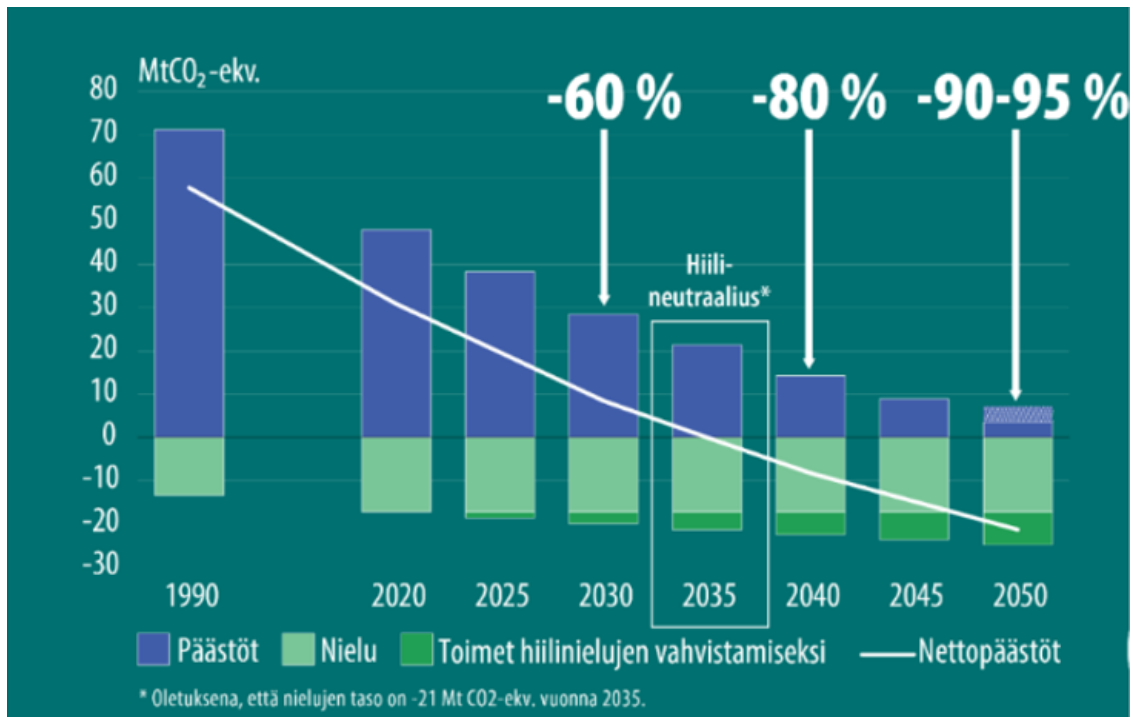
fossiilisista polttoaineista irti pääsemiseen, tulevana vuosina pyritään korvaamaan puun polttoa sähköllä. Polttaminen nähdään ongelmallisena sen tuottamien hiilidioksidipäästöjen takia, mutta tähän ratkaisuna voisi toimia hiilidioksidin talteenotto kaukolämmöntuotannon yhteydessä. Vaikka puun polttamisella ei vaikutettaisi metsiemme hiilinielujen määrään, niin puun käyttöön liittyvät rajoitukset ovat lisääntymässä. Tämä aiheuttaa pulonkautan kestävyyskriteerien mukaisen puun saatavuudelle, joka taas vaikuttaa päätöksiin tulevista investoinneista. Muun muassa tällä tavoin EU ohjaa hakemaan kaukolämmöntuotantoon muita kuin polttoon perustumattomia ratkaisuja.



Kuvio 2. AFRYn vuonna 2020 tekemän selvityksen mukaiset kaukolämmön energialähteiden osuudet vähähiiliskenaariossa ja perusskenaariossa 2017–2050. (AFRY, 2020).

Pariisin kansainvälinen ilmastopimus astui voimaan vuonna 2016 ja kaikki EU-maat ovat ratifioineet sen. Sopimuksen tavoitteena on rajoittaa maapallon lämpeneminen 1,5 asteeseen esiteolliselta ajalta lähtien tämän vuosisadan loppuun mennessä. Sopimuksen mukaisesti EU:n tavoitteena on olla ilmastoneutraali vuoteen 2050 mennessä. Tämän hetken välitavoitteet on julkilausuttu niin, että kasvihuonepäästöjä pitää vähentää tarkasteluvuoden 1990 tasosta 55 % vuoteen 2030 mennessä. Jokaisella jäsenmaalla on yksilölliset tavoitteensa ja esimerkiksi Suomella kasvihuonepäästöjen vähentämisen tavoite

vuodelle 2030 on 60 % ja vuodelle 2050 90-95 %. Tätä esitellään kuviossa 3. (Suomen ympäristökeskus, 2022.)



Kuvio 3. Suomen hiilidioksidin vähennystavoitteet, hiilinielujen kasvattamisen tavoitteet ja nettopäästötavoitteet. (Suomen ympäristökeskus, 2022).

Tavoitteisiin pääsemiseksi EU on laatinut direktiivejä ja muita poliittisia toimia, joiden avulla ohjataan jäsenmaita tekemään tarvittavat toimenpiteet. Koska suurin osa ilmastonmuutoksen ajureista liittyy tavalla tai toisella energiaajakeisiin ja energian tuotantotapoihin, kaukolämmöntuotannossa nämä pitää ottaa huomioon erityisen tarkkaan. Uusien investointien tekeminen energia-alalla on haastavaa, koska investointipäätökset pitäisi tehdä kymmeniksi vuosiksi eteenpäin. Nykyteknologioiden yhteiskunnallinen hyväksyttävyys on vaakalaudalla ja investoinnit pitäisi kohdistaa teknologioihin, joista ei ole vielä kunnan referenssejä.

Vantaan Energian liiketoimintajohtaja Patomerén mukaan Vantaan Energia lopetti kaksi projektia, jotka perustuivat puunpolton hiilidioksidin talteenottoon, koska EU:n lainsäädäntö määrittelee yhä tarkemmin, mitä puuperäisestä hiilidioksidista voidaan tehdä. Patomeri kertoo, ettei Vantaan Energia usko, että puuta poltettaisiin teollisesti 20 vuoden

kuluttua ja ennustaa sen loppuvan jo 10 vuoden päästä. (Helsingin Uutiset, 2024.) Nämä suunnitelmat koskevat vain Vantaan Energian toimintaa, mutta kertovat niistä ajatuksista ja toimenpiteistä, joita kaukolämmöntuottajat tällä hetkellä käyvät kukin tahoillaan lävitse. EU:n direktiivit ja asetukset tekevät kaukolämmöntoimittajien investointipäätökset vaikeiksi sääntelyn moninaisuuden, direktiivien ja asetusten ristiin kytkeytymisten ja sääntelyn jatkuvan muutoksen takia.

Tampereen Energialta on marraskuussa 2023 valmistunut selvitys polttoon perustumattomaan ja hiilinegatiiviseen kaukolämpöön siirtymisestä. Tampereen Energia on suunnitellut käyttävänsä bioenergiaa kaukolämmöntuotannossaan ainakin vuoteen 2040 asti merkittäviä määriä. Tampereen Energian selvityksen BECCS skenaarion mukaan käyttö jatkuu tämän jälkeenkin, mutta n. 60 % nykyisestä tasosta. Skenaario X:n mukaan puuta ei poltettaisi enää lainkaan. (Joronen, Salhoja, Seppälä & Vähätiitto, 2023.) Todennäköistä on kuitenkin, että puun poltto vähenee 2030-luvulle tultaessa, mutta säilyttäisi jonkinlaisen aseman uusien teknologioiden rinnalla. Tuleviin ratkaisuihin liittyy olennaisesti poliittiset toimet, huoltovarmuuskulmat, teknologioiden saatavuus ja investointien kannattavuus.

1.2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa, mikä on metsäenergian rooli tässä energiamurroksessa. EU:n energia- ja ilmastopolitiikka on keskiössä, koska poliittisilla toimilla vaikutetaan kaukolämmöntuottajien strategiaan valintoihin. EU tukee ja edistää puhtaita ja kestäviä ratkaisuja ja samalla verottaa runsaspäästöisiä ja kestäättömiä vaihtoehtoja. Tällä hetkellä on jokseenkin epäselvää, mihin joukkoon metsäenergia kuuluu. Päästötavoitteita kiristetään koko ajan ja IPCC:n mukaan ilmastotavoitteeseen ei päästä ilman hiilinegatiivisia toimia (Joronen ym., 2023, 53). Tampereen Energian BECCS skenaarion mukaan puun poltto olisi taas merkittävä osa tätä ratkaisua (Joronen ym., 2023, 53). Tutkimuksessa tehdään läpileikkaus Tampereen Energian kaukolämmön tuotantoon tällä hetkellä ja tutkitaan, miten metsäenergia liittyy skenaarioiden mukaiseen kaukolämmöntuotantoon. Pyrkimyksenä on saada selville, miten EU-politiikka vaikuttaa metsäenergian käyttöön, onko metsäenergialle enää tarvetta uusien teknologioiden käyttöönoton jälkeen tai

millainen sen rooli voisi olla. Asiantuntijahaastatteluiden avulla tutkimuksessa voidaan arvioida erilaisia vaihtoehtoja ja näiden todennäköisyyttä tämän hetken tiedon valossa.

Tutkimuksessa pyritään vastaamaan tutkimuskysymykseen ”*Mikä on metsäenergian rooli tulevaisuuden kaukolämmön tuotannossa?*”

Tarkentavat kysymykset rajaavat tutkimuksen käsittelemään poliittisten vaikutusten ja uusien teknologioiden vaikutusta kaukolämmön tuotantoon. Tarkentavia tutkimuskysymyksiä ovat ”*Miten EU:n poliittiset toimet vaikuttavat puun energiakäyttöön?*” ja ”*Miten uudet teknologiat vaikuttavat kaukolämmön tuotantoon?*”

1.3 Oletukset ja rajaukset

Tutkimuksessa oletetaan, että Suomi ei kyseenalaista EU:n poliittisia päätöksiä. Päästötavoitteisiin päästään, vaikka samalla pitää huomioida esimerkiksi huoltovarmuusnäkökulmat. Tutkimuksessa otetaan huomioon suorat poliittiset vaikutukset investointeihin ja teknologioihin, mutta ei sosiaalisia vaikutuksia, kuten ihmisten työllisyys tai hyvinvointi.

Uusien teknologioiden osalta tutkimus rajautuu keskittymään vain Tampereen Energian pääskenaarioiden BECCS ja skenaario X mukaisiin teknologioihin. Skenaarioiden hukkalämmöistä esitellään tarkemmin vedyntuotannon hukkalämmöt, koska tämä vaikuttaa tällä hetkellä potentiaalisimmalta. Esimerkiksi biohiilen valmistuksen hukkalämpöjä ei käsitellä tässä tutkimuksessa lainkaan. Tampereen Energian skenaariot käsittelevät kaukolämmöntuotantoa vuonna 2040. Tässä tutkimuksessa lähdetään liikkeelle vuodesta 2024, eli tarkastellaan ensin nykyhetkeä ja verrataan sitä skenaarioiden mukaiseen tilanteeseen vuonna 2040.

Tutkimuksen keskeisimmät käsitteet ovat metsäenergia, bioenergia, kaukolämpö, kaukolämmöntuotannon teknologia, EU:n regulaatio ja BECCS. Tutkimuksessa käytetään metsäenergiaa ja bioenergiaa synonyymeinä. Tampereen Energialla poltettavista bioenergian jakeista metsäenergiaksi tässä tutkimuksessa ei luokitella kierrätyspuuta. Tutkimuksessa kerrotaan selvennyksen vuoksi pelletin liittyvän keskikuorman tuotantoon, joka tarkoittaa tuotantojärjestyksessä ensimmäistä huippukuorman tuotantoa peruskuorman jälkeen.

1.4 Tutkimuksen kulku

Ensimmäisessä luvussa kartoitetaan taustaa tutkimukselle eli millaisesta ilmiöstä on kyse ja miksi tutkimus tehdään. Siinä kerrotaan tutkimuksen tavoitteet ja millä tavoin näihin tavoitteisiin pyritään pääsemään. Toinen luku kertoo tutkimuksen teoreettisesta osuudesta, jossa esitellään tutkimuksen kannalta keskeistä teoriaa. Aluksi kerrotaan kaukolämmöntuotantoon vaikuttavista asioista yleisesti, tämän jälkeen paneudutaan eri teknologioihin, EU:n regulaatioon ja lopuksi metsäenergiaan. Näiden kautta rakentuu tutkimuksen viitekehys, joka esitellään toisen luvun lopussa.

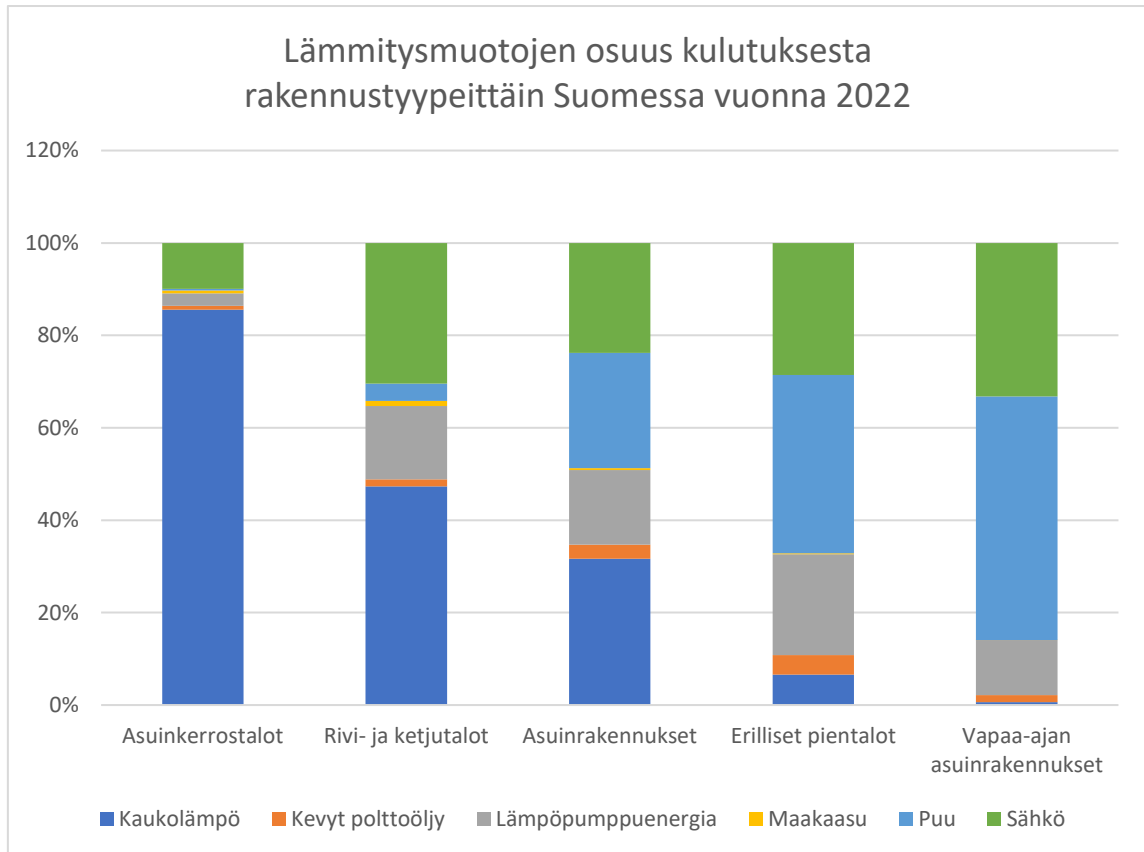
Kolmannessa luvussa käsitellään tutkimuksen metodologiaa. Siinä esitellään tutkimuksen kohde Tampereen Energia lyhyesti, kerrotaan mitä tutkimusmenetelmää käytetään, miten aineisto käytännössä kerätään, miten aineistoa käsitellään ja analysoidaan sekä arvioidaan tutkimuksen luotettavuutta ja yleistettävyyttä. Neljännessä luvussa käsitellään tutkimuksen haastattelun tuloksia. Ne käydään läpi aihealueittain ja niistä pyritään kuvaamaan oleellisia asioita, joita haastatteluissa on tullut esille. Lopulta viidennessä luvussa analysoidaan haastattelun tuloksia viitekehysten mukaisten teorioiden avulla ja johtopäätöksissä vastataan tutkimuksen tavoitteen mukaisiin kysymyksiin. Lisäksi tutkimuksen lopussa pyritään avaamaan mahdollisia jatkotutkimuskohteita analyysistä ja johtopäätöksistä nousseista asioista.

2 TUTKIMUKSEN TEOREETTINEN PERUSTA

2.1 Kaukolämmön tuotanto yleisesti

Kaukolämpö on menetelmä lämpöenergian jakamiseksi. Se on monin eri tavoin lämmitettyä vettä, jolla lämmitetään rakennusten sisätilat ja käyttövesi (Martin, Zinck Thelufsen, Chang, Talens-Peiró & Madrid-López, 2024.) Mazharin, Liun ja Shuklan (2018) mukaan lämmitys edellyttää kaukolämpöverkoston, jossa yleensä toinen putki kuljettaa rakennuksiin lämpimän veden lämmönvaihtimelle ja toinen putki vie käytetyn veden lämmönvaihtimelta takaisin kaukolämpöverkkoon. Lämmönvaihtimella erotetaan kaukolämpöverkon kierto ja rakennusten sisäinen kierto toisistaan. Kaukolämmöntuotanto voi olla keskitettyä tai hajautettua, koska kaukolämpöverkko mahdollistaa hajautetun tuotannon samaan verkkoon (Mazhar ym., 2018.) Mazharin ym. (2018) mukaan kaukolämpöä pidetään ainoana toteuttamiskelpoisena lämmitysmuotona, jolla voidaan vähentää hiilidioksidipäästöjä tiheästi rakennetuissa kaupunkikeskuksissa. Kuviosta 4 nähdään, että kaukolämpö on Suomen kaupungeissa päälämmitystapa ja vuonna 2022 85 % kerrostaloista ja 47 % rivi- ja ketjutaloista Suomessa oli kaukolämmön piirissä. (Tilastokeskus, 2008–2022).

Dang, Nguyen, L., Nam, Nguyen, T., Lee, Song ja Moon (2024) ovat määritelleet tehtyjen tutkimusten perusteella, että kaukolämmön tuotannon historiasta tunnistetaan viisi eri tehostumisen vaihetta. Tämän määritelmän mukaan neljäs eli nykyinen sukupolvi mahdollistaa samanaikaisesti eri tuotantomenetelmät sekä lämpimän että kylmän veden jakelun. Se mahdollistaa myös hukkalämmön talteenoton rakennuksilta ja teollisuudelta sekä geotermisen lämpöakun hyödyntämisen. (Dang ym., 2024.) 3. sukupolven lämmönjakelussa veden lämpötilan piti olla lähellä 100 astetta, kun 4. sukupolven lämmönjakelussa veden lämpötilan ei tarvitse olla kuin 60–70 astetta. Tämä yksinään mahdollistaa monien eri lämmönlähteiden integroimisen sekä vähentää lämpöhäviöitä (Lund, Østergaard, Nielsen, Werner, Thorsen, Gudmundsson, Arabkoohsar & Mathiesen, 2021.)

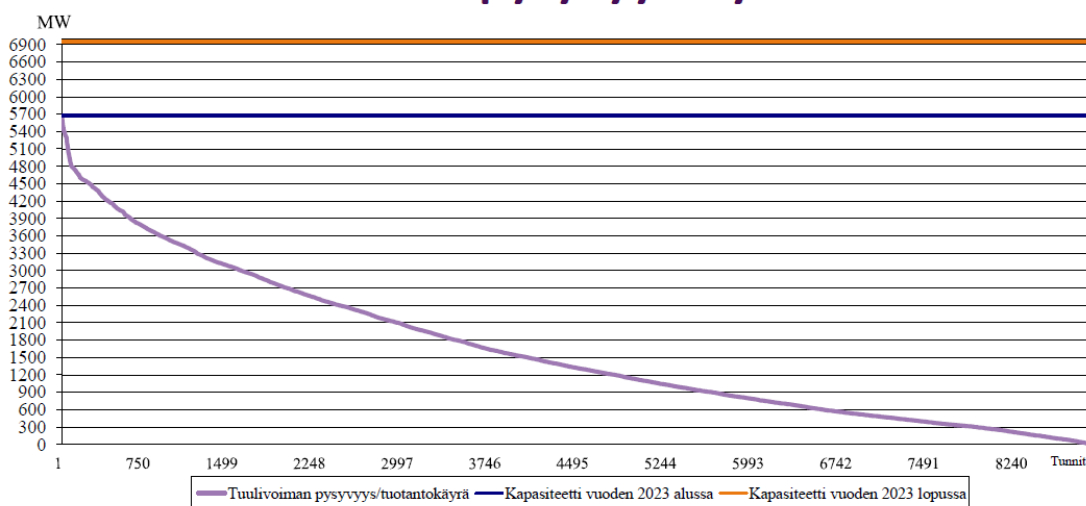


Kuvio 4. Lämmitysmuotojen osuus kulutuksesta rakennustyypeittäin Suomessa vuonna 2022. Mukailten tilastokeskuksen tietojen pohjalta. (Tilastokeskus. 2008–2022).

Mazhar ym. (2018) mukaan viidennen sukupolven kaukolämpöjärjestelmässä veden lämpötilalla ei ole väliä, vaan se mukautuu kulloisenkin tarpeen mukaan. Jokaisessa käyttöpaikassa pitää kuitenkin olla lämpöpumppu, jonka avulla veden lämpötila nostetaan riittävän korkeaksi käyttöä varten. Mazhar ym. (2018) tunnistavat kuitenkin matalista verkon lämpötiloista johtuvan Legionella-bakteerin lisääntymisen olevan suuri huolenaihe. Entistä pienempi jakeluverkon lämpötila mahdollistaa kevyemmät putkien materiaalit ja tätä kautta hajautetun lämmön ja kylmän tuotannon saavuttamisen entistä vapaammin (Mazhar ym., 2018). Lundin ym. (2021) mukaan joissain tapauksissa kylmää ja lämmintä vettä varten ei tarvita edes erillistä putkistoa. Lisäksi Knutssonin, Holménin, ja Lygnerudin (2021) mukaan lämpötilan laskeminen mahdollistaa myös rakennuskohtaisten lämpöpumppujen käytön, joka vähentää kokonaisenergian tarvetta ja häviöitä, mutta luo myös tarpeen varastoida lämpöä rakennuskohtaisesti lämminvesivaraajan tapaan.

Kaukolämmön hajautettu tuotanto tarkoittaa erilaisia tapoja tuottaa kaukolämpöä. Ennen suosittiin polttamista, koska kaukolämpöverkkoon tarvittiin kuumaa vettä ja kaukolämpöverkko oli suljettu muilta kuin teollisilta tuotantotavoilta. Veden lämpötilan lasku on mahdollistanut uusien teknologioiden käyttöönoton, kuten sähkökattilan ja hukkalämmön talteenoton. (Lund ym., 2021.) Sähköön perustuva tuotanto korvaa polttamista sekä EU:n regulaation että uusien teknologioiden kautta, mikä ei ole Suomessa täysin ongelmaton. Suomen sähköistyminen perustuu tuulivoimatuotannon voimakkaaseen kasvattamiseen (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022). Tämä tarkoittaa samalla merkittäviä vaihteluita sähköntuotannossa. Energiateollisuus ry:n (2024) mukaan vuoden 2023 alussa tuulivoiman kapasiteetti oli 5700 MW, mutta kuvion 5 tuulivoiman pysyvyyskäyrän mukaan tuotannossa päästään lähelle kapasiteettia vain muutaman tunnin aikana vuodessa ja n. puolet ajasta tuotanto on n. 30 % kapasiteetista. Sähköä pitää käyttää, kun sitä on tarjolla ja sähkökattilat vastaavat tähän tarpeeseen. Tilanteeseen, jossa sähköstä on pulaa, pitää jatkossa varautua yhä enemmän varastoimalla sitä eri tavoin. Kaukolämmön tapauksessa varastointitekniikoita on erilaiset lämpövarastot (Penttinen, Vimpari & Junnila, 2021). Runsaan tuulituotannon aikaan taas sähköä voidaan hyödyntää vedyntuotannossa, josta syntyy merkittävästi hukkalämpöä, joka voidaan ottaa kaukolämpöverkkoon talteen. (Böhm, Moser, Puschnigg & Zauner, 2021).

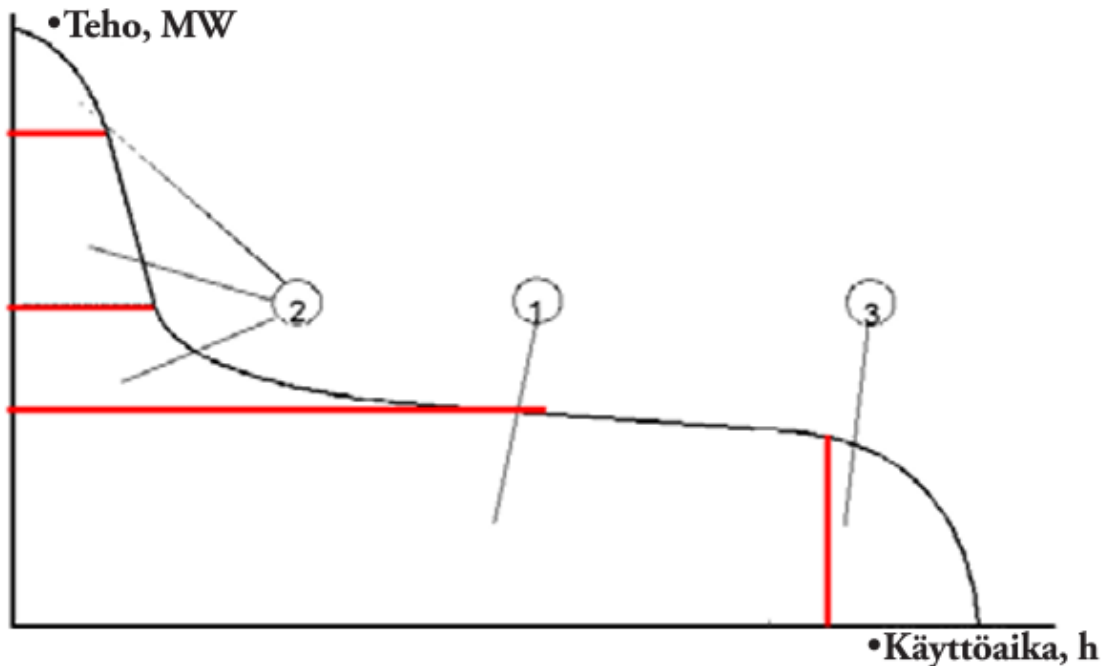
Tuulivoiman pysyvyyskäyrä



Kuvio 5. Tuulivoiman pysyvyyskäyrä sekä tuotannon kapasiteetti vuoden 2023 alussa ja lopussa. (Energiateollisuus ry., 2024b).

Kaukolämmöntuotanto jaetaan perinteisesti peruskuormaan ja huippukuormaan. Tuotannon mitoittamiseen käytetään kaukolämmön pysyvyyskäyrää ja eri tuotantomuotojen kustannussuoraa. Peruskuorma on perinteisesti tuotettu laitoksilla, joiden muuttuvat kustannukset ovat käytettävissä olevista vaihtoehdoista pienimmät, vaikka laitoksen perustamiskustannukset olisivat isot. Peruskuormaa tukemaan tarvitaan huippukuormalaitoksia, joiden käyttöönottojärjestys vaihtelee kustannusten ja käyttöönoton nopeuden mukaan. (Mäkelä & Tuunanen, 2015, 32–33.) Kuvio 6 havainnollistaa lämmityksen pysyvyyskäyrän mukaista tuotantorakennetta. Kesäaikaan lämmöntarpeen ollessa pienimmillään tehdään perinteisesti huoltoja. Silloin peruskuorma tuotetaan esimerkiksi vuorottelemalla lämpökeskusten käyttöä.

Lämmityksen pysyvyyskäyrä



- 1 Lämmitysvoimalaitos (peruskuormalaitos)
- 2 Lämpökeskukset (huippukuorma)
- 3 Lämpökeskukset (kesäaika)

Kuvio 6. Periaate lämmöntuotannon pysyvyyskäyrästä sekä tuotantolaitosten käytöstä. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 31).

2.2 Kaukolämmön teknologiat

Polttamalla tuotetussa kaukolämmössä yleisimmät tuotantotavat ovat HOB eli *heat only boiler* ja CHP eli *combined heat and power*. HOB eli vain lämpöä tuottava kattila on perinteinen kattilatyyppe, jossa polttamalla lämmitetty vesi siirretään suoraan kaukolämpöverkkoon. Holmbergin ja Ahtilan (2014) mukaan CHP tarkoittaa sähkön ja lämmön yhteistuotantoa, jossa kaukolämmöntuotannon hyötysuhde on jopa 90 % ja polttoainetta kuluu 25 % vähemmän kuin lämmön ja sähkön erillistuotannossa yhteensä. CHP:ssa polttokattilan ympärillä on erillinen Clausius-Rankine höyrypiiri, jossa höyry tulistetaan ja viedään höyryturbiinille. Höyry saa laajentuessaan turbiinin pyörimään ja generaattorin tuottamaan sähköä. Käytetyn höyryn lämmöllä lämmitetään kaukolämpövedettä. Höyryturbiini vaatii kuumemman höyryn lämpötilan kuin tavallinen lauhdevoimalaitos tai lämpövoimalaitos. CHP-laitos voi joustaa tarvittaessa sähkön tuotannosta ohittamalla turbiinin kokonaan. Tämä voi tulla kyseeseen tilanteessa, kun lämmön tarve on suurimmillaan. (Holmberg & Ahtila 2014.)

Sähkökattila kaukolämmöntuotannossa toimii lämminvesivaraajan tavoin. Se mahdollistaa tuulivoiman tuottaman vaihtelevan sähkön hyödyntämisen nopeasti ja tästä syystä se soveltuu hyvin muun kaukolämmöntuotannon kanssa yhteen. Sähkökattiloilla voidaan lämmittää suoraan kaukolämpöverkkoon kulkevaa vettä tai lämmittää lämpövarastoa lämminvesivaraajan tavoin. Varastointi parantaa tuulivoiman hyödyntämisen mahdollisuuksia tuulisina hetkinä ja samalla helpottaa muun tuotannon sovittamista yhteen. (Huang, Xu, Sun, Xue, Wang, Liu, Li & Ni 2018.)

Lämpöpumppujen tekniikka perustuu kylmäaineen faasin muutokseen, joka mahdollistaa sähkön muuttamisen lämpöenergiaksi tehokkaasti. COP-arvo eli *coefficient of performance* kuvaa tätä hyötysuhdetta. Tyypillisesti COP-arvo vaihtelee 3-4 välillä ja siihen vaikuttaa käytettävä kylmäaine ja lämpötila. Kaukolämmöntuotannossa lämpöpumppuja voidaan käyttää hukkalämmön veden lämpötilan kasvattamiseen tai suoraan veden lämmittämiseen sähkökattilan tavoin. Nykyiset pumput pystyvät kasvattamaan veden lämpötilaa kaukolämpöverkkoon sopivaksi ja tästä syystä ne ovat yleistyneet. (David, Mathiesen, Averfalk, Werner & Lund 2017.)

Lämpöä voidaan varastoida eri muodoissa, mutta näistä yleisin on lämpimän veden varastointi sen suuren ominaislämpökapasiteetin ja käytettävyyden vuoksi. Lämmintä vettä on tarvetta varastoida kuumavesisäiliöissä kysynnän ja tarjonnan kausivaihtelun takia. Tunteja kestäviin vaihteluihin riittää useat pienet kuumavesisäiliöt, kun päivien tai kuu-kausien varastointiin tarvitaan teollisen mittakaavan varastointia. Lämmön kausivarastoinnin maanpäälliset säiliöt on todettu teknistaloudellisesti vaikeiksi, sen sijaan maanalaiset ratkaisut kuten CTES eli *cavern thermal energy storage* ovat toteuttamiskelpoisia. Siinä varastointi tapahtuu vakaan kallion sisässä. (Penttinen ym., 2021.) Esimerkiksi Vantaan Energia on toteuttamassa CTES-tekniikkaan perustuvaa varastoa, joka on energiakapasiteetiltaan 90 GWh ja sisältää paineistettua 140 asteista vettä 1000 000 m³. Kausivaraston avulla Vantaan Energia saa otettua kesäaikaisen jätteenpolton lämpöenergian ylituotannon, aurinkovoiman ja hukkalämmöt talteen. (Vantaan Energia, 2021). Penttisen ym. (2021) mukaan Pohjoismaissa lämmöntarpeen ero on suuri kesän ja talven välillä, mikä lisää varastoinnin tarvetta. Hyöty korostuu etenkin kaupungeissa, joissa jätteenpolto on yhdistetty kaukolämpöverkkoon tai muuten kesäaikaan on halpaa energiaa saatavilla. Varastoa purettaessa voidaan tehdä myös sähköä, jos varasto yhdistetään CHP-laitokseen. (Penttinen ym., 2021.)

BECCS tulee sanoista *bioenergy carbon capture and storage*. Se tarkoittaa hiilidioksidin talteen ottamista bioenergian polttamisen yhteydessä savukaasuista. Gustafsson, Sadegh-Vaziri, Grönkvist, Levihn ja Sundberg (2021) ovat tutkineet hiilidioksidin talteenottoa CHP-laitoksissa HPC-prosessilla. HPC tulee sanoista *hot potassium carbonate* eli kuuma kaliumkarbonaatti. Prosessissa savukaasuista hiilidioksidi absorboidaan kuumaan kaliumkarbonaattiliuokseen paineen ja lämmön avulla. Eri vaiheissa kuluu energiaa, josta kaikkea ei saada palautettua kaukolämmöntuotantoon. Tutkimuksen perusteella energiahäviö prosessissa oli 2–4 %, kun hukkalämpö otettiin talteen. Hiilidioksidin talteenoton kustannus oli näin ollen 2-5 e/t hiilidioksidia. Oletuksena tutkimustuloksissa oli sähkön ja lämmön sama hinta. Koska höyryä tarvitaan prosessiin, se on pois sähköntuotannosta, mutta se saadaan pääosin kuitenkin talteen lämmön muodossa. Sähköntuotannon menetys prosessissa todettiin olevan 51-71 %. Mikäli sähkön hinta arvioidaan esim. 100 e/MWh korkeammaksi, hiilidioksidin talteenoton kustannus nousee 100 e/t. (Gustafsson ym., 2021.) Rosa, Sanchez, ja Mazzotti (2021) kertovat myös muista haasteista, joita liittyy hiilidioksidin talteenottoon. Hiilidioksidin geologiseen varastointiin ei ole tällä hetkellä

Euroopan mittakaavassa järkevää toimintamallia. Varastointipaikkoja on vähän, jolloin niihin on keskimäärin pitkä matka. Tilanne on kestämaton ja ratkaisuja pitäisi keksiä, että BECCS voisi olla todellinen ratkaisu hiilidioksidin talteenottoon. (Rosa ym. 2021.)

Vedyn tuotanto nähdään tulevaisuudessa merkittävänä toimenä ilmastonmuutoksen ehkäisyssä. Integrointi kaukolämpöverkon yhteyteen nähdään merkittävänä tekijänä hyötysuhteen kannalta. Vedyntuotantomenetelmistä elektrolyysi sopii parhaiten uusiutuvan energian kanssa, koska se tuotetaan sähkön ja lämmön avulla. Elektrolyysissä vesi erotetaan sähkön avulla vedyksi ja hapeksi. Tuotannossa 20-30 % sähköstä muuttuu hukkalämmöksi, joka voidaan hyödyntää kaukolämpönä. (Böhm ym., 2021.) Suomi tähtää EU:n vedyn tuotannosta 10 %:n osuuteen vuonna 2030. (Valtioneuvosto, 2023). EU:n tavoitteena on tuottaa vuonna 2030 vetyä 40 GW teholla (European Commission, 2020), joka tarkoittaa, että Suomen vedyntuotannon tavoite on 4 GW. 30 %:n sähkön hävikki huomioiden vetyyn kohdistuvan sähkön tuotannon pitää olla 5,7 GW, joka on sama kuin vuoden 2023 alun tuulivoimakapasiteetti (Energiateollisuus ry. 2024b). Pelkästään tätä tavoitetta varten tarvitaan siis tuulivoimakapasiteetin kolminkertaistaminen, koska kapasiteetista saadaan vain osa muutettua sähköksi. Tästä ilmiöstä kertoo tuulivoiman kapasiteettikerroin, joka vuonna 2019 oli Suomessa 33 % (Suomen Tuulivoimayhdistys ry., 2024).

Energiateollisuus ry:n mukaan jätteenpolttolaitoksi kutsutaan polttolaitoksia, joissa jäte lämpökäsitellään. Määritelmä ei vaadi lämmön talteen ottamista. (Energiateollisuus ry., 2024c.) Brunnerin ja Rechbergerin (2014) mukaan jätteenpoltto on ainut tapa estää vaarallisten orgaanisten jätteiden pääsy ympäristöön. Kaukolämpöverkkoon yhdistettynä se samalla edistää vähähiilistä energiahuoltoa ja vähentää kasvihuonekaasuja. Se on erittäin säänneltyä, minkä takia päästörajat ovat tiukat ja tätä kautta sille on saatu yhteiskunnallinen hyväksyntä. Nykyaikaisissa polttolaitoksissa savukaasuista saadaan otettua talteen kaikki haitalliset yhdisteet. Lisäksi se parantaa materiaalien kierrätyksen mahdollisuuksia. (Brunner & Rechberger, 2014.) Kaukolämmöntuotannossa jätteenpolttokattilassa lämmitetään vettä HOB-tekniikalla tai hyödynnetään CHP-tekniikkaa, jolloin lämmöntuotannon yhteydessä tehdään myös sähköä.

2.3 EU:n regulaatio

Tärkeimmät kaukolämmöntuotantoa ohjaavat direktiivit ovat Euroopassa EU:n päästökauppadirektiivi ETS (European Parliament, 2023d), uusiutuvan energian direktiivi RED III (European Parliament, 2023c) ja energiatehokkuusdirektiivi EED (European Parliament, 2023b). Kun kaukolämpö tuotetaan metsäenergialla, pitää ottaa huomioon myös LULUCF-asetus (European Parliament, 2018). Siinä missä direktiivit pannaan täytäntöön kansallisten lakien kautta, asetukset ovat voimassa kaikissa jäsenmaissa sellaisenaan.

Päästökauppadirektiivin mukaisen päästökaupan takia fossiilisten polttoaineiden käyttäminen kaukolämmöntuotannossa on kalliimpaa kuin uusiutuvien polttoaineiden käyttö, vaikka fossiilisten polttoaineiden ostaminen olisi teollisuudelle halvempaa. Päästökaupajärjestelmän piiriin kuuluvat kaikki yli 20 MW:n laitokset. Tällä tavoin päästökauppa ohjaa yrityksiä käyttämään uusiutuvia polttoaineita fossiilisten polttoaineiden sijasta. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2024.) Yritykset ostavat päästöoikeutensa jokaista päästämäänsä CO₂-tonnia kohden EU:n laajuisessa päästöoikeuksien huutokaupassa, jossa hinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan mukaan. Lisäksi päästöoikeuksien määrää vähennetään markkinoilla markkinavakausmekanismin avulla, joka varmistaa riittävän kysynnän päästötavoitteisiin pääsemiseksi. Ennen mekanismin käyttöönottoa päästöoikeuksien hinta saattoi tippua ulkoisten sokkien takia niin pieneksi, että se kannusti fossiilisten polttoaineiden käyttämiseen. (European Parliament, 2023e.) Maaliskuussa 2023 EU parlamentti päätti jatkaa mekanismia vuoteen 2030 asti (European Parliament, 2023a).

Uusiutuvan energian direktiivi RED III ohjaa kaukolämmöntuottajia kohti kestävämpiä tuotantotapoja sanktioimalla tietynlaista toimintaa ja tukemalla toisenlaista. Keskeisiä vaikutuksia ovat mm. bioenergian kestävyyskriteerit ja bioenergian tukeminen vain hiili-dioksidin talteenottoon liittyvissä tapauksissa. Lisäksi RED III tiukentaa päästökaupan piiriin kuulumisen 7,5 MW:iin kiinteitä biopolttoaineita käyttävien kaukolämpöä tuottavien laitosten osalta. (European Parliament, 2023c.) Kestävyyskriteereissä tarkastellaan mistä bioenergia on peräisin ja miten se on tuotettu. Vain kriteerit täyttävä bioenergia on tämänhetkisen tulkinnan mukaan laskennallisesti nollapäästöistä EU:n päästökaupassa. Kriteerien avulla pyritään lisäämään myös puubiomassan jalostus- ja kierrätysastetta ennen sen päättymistä polttoon. Tätä kutsutaan kaskadiperiaatteeksi, jonka vaikutusta

bioenergian käyttöön Suomessa ei vielä tunneta. (Maa- ja metsätalousministeriö, 2024a.) Työ- ja Elinkeinoministeriö onkin asettanut työryhmän käsittelemään RED III direktiivin vaatimuksia Suomen lainsäädäntöön. Työryhmän toimikausi ulottuu 31.5.2024 saakka. Työryhmä ottaa huomioon myös Petteri Orpon hallitusohjelman kirjaukset koskien bioenergiaa. Direktiivin muutokset on määrä ottaa kansallisesti käyttöön viimeistään 18 kk kuluessa direktiivin julkistamisesta. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2023.)

Kolmas merkittävä kaukolämmöntuotantoon vaikuttava EU:n politiikkatoimi on energiatehokkuusdirektiivi EED ja sähköistymisen tavoitteet. Direktiivi ohjaa kaukolämmöntuotantoa energiatehokkaampaan suuntaan. Sähköistyminen on osa energiatehokkuutta, joten direktiivissä suositetaan sähköön liittyviä teknologioita myös kaukolämmöntuotannossa. Kaukolämmön osalta direktiivi kohdistuu myös kohteena oleviin rakennuksiin, koska rakennusten hukkalämmöt olisi saatava jatkossa myös paremmin hyödynnettyä. Polttamiseen perustuvassa kaukolämmöntuotannossa lämmön- ja sähkön yhteistuotantoa suositetaan pelkän lämmöntuotannon sijasta. Fossiilisten polttoaineiden käytön jatko edellyttää yhteistuotantoa. Vuoden 2040 tavoitteessa koko EU:n tasolla fossiilisten polttoaineiden osuus saa olla korkeintaan 25 % ja vuonna 2050 0 %. (European Parliament, 2023b.)

Kun kaukolämpö tuotetaan metsäenergialla, pitää ottaa huomioon LULUCF-asetus, joka koskee maankäyttöä, maankäytön muutosta ja metsiä. Asetuksen tarkoituksena on lisätä jäsenmaiden hiilinieluja ja hiilivarastoja. Suomen osalta tämä tarkoittaa, että metsien konnaishakkuita ei voi merkittävästi lisätä, mutta oikeanlaisilla toimilla hakkuiden määrä voidaan kuitenkin pitää nykyisellään ja samalla kasvattaa hiilinieluja. (European Parliament, 2018.) Asetus kuitenkin asettaa rajoitteen metsäenergian käytön lisäämiselle, mikäli metsäteollisuuden käyttämä puumäärä ei pienene nykyisestä. Luonnonvarakeskus LUKE on arvioinut Suomen lähitulevaisuuden kestävä hukkuiden tason olevan 80,5 miljoonaa m³ vuosittain, vuosina 2016-2022 tästä tasosta hakattiin keskimäärin 91 % (Maa- ja metsätalousministeriö, 2024c).

2.4 Tampereen Energian tuotantoskenaariot

Tampereen Energia on tehnyt selvityksen polttoon perustumattomaan ja hiilinegatiiviseen kaukolämpöön siirtymisestä. Selvityksessä esitellään Tampereen kaukolämmön tuotantoon sähköistymiseen ja hukkalämpöihin perustuva polttovapaa tuotantomalli skenaario X sekä hiilinegatiivinen vaihtoehto skenaario BECCS vuodelle 2040. Lisäksi esitellään Tampereen Energian pitkän tähtäimen suunnitelma vuodelta 2022. (Joronen ym., 2023.)

Skenaariossa BECCS olemassa oleviin tuotantolaitoksiin lisätään hiilidioksidin talteenottojärjestelmät. Polttamisen lisäksi hyödynnetään sähkökattiloita, lämpöpumppuja sekä hukkalämmön talteenottoa datasaleista, teollisuudesta ja ennen kaikkea vedyn tuotannosta. Puun suora osuus tässä skenaariossa olisi 650 000 MWh vuodessa sekä lisäksi biohiilen kautta hukkalämmön talteenotossa. Skenaarion ilmastovaikutus on -343 960 tCO₂ ja investointien diskontattu kumulatiivinen kassavirta olisi -250 000 000 e. Skenaarion haasteita ovat hiilidioksidin talteenoton kustannukset ja varastoinnin haasteet. (Joronen ym., 2023.)

Skenaario X:ssä pyritään pääsemään polttamalla tuotetusta kaukolämmöstä kokonaan eroon. Tuotanto perustuisi sähköön monella eri tapaa, kuten sähkökattiloihin, lämpöpumppuihin ja hukkalämmön talteenottoon datasaleista, teollisuudesta ja ennen kaikkea vedyn tuotannosta. Pienydinvoima huomioidaan myös yhtenä vaihtoehtona, mutta ei omassa tuotannossa. Skenaariossa X Tampereella kaukolämmöntuotantoon poltettaisiin ainoastaan jätettä Tarastejärvellä. Skenaarion haasteena olisivat talven sähkönkulutuspiikit ja niihin vastaaminen. Todennäköisin keino tähän olisi lisätä kaasuturbiinilla tuotettavaa sähköä. Puun osuus tässä skenaariossa olisi vain biohiilen tuotannon hukkalämmön talteenotossa. Ilmastovaikutukset eivät kaukolämmöntuotannossa juuri muutu nykyisestä ja ne olisivat 65 606 tCO₂ vuodessa. Investointien diskontattu kumulatiivinen kassavirta olisi -650 000 000 e. Erityisenä haasteena olisi lisäksi sähkön siirtoverkoston merkittävä lisäämisen tarve. (Joronen ym., 2023.)

Tampereen Energian pitkän tähtäimen suunnitelma on todellinen tämän hetken strategian mukainen suunnitelma. Se huomioi jo osan investoinneista, kuten sähkökattilan ja hukkalämmön talteenoton Nokian datasalista. Nykyisen strategian mukainen puun osuus

tuotannosta on 1 050 000 MWh vuodessa. (Joronen ym., 2023.) Nykyisen strategian mukainen toiminta käydään tarkemmin läpi haastatteluiden perusteella luvussa 4.

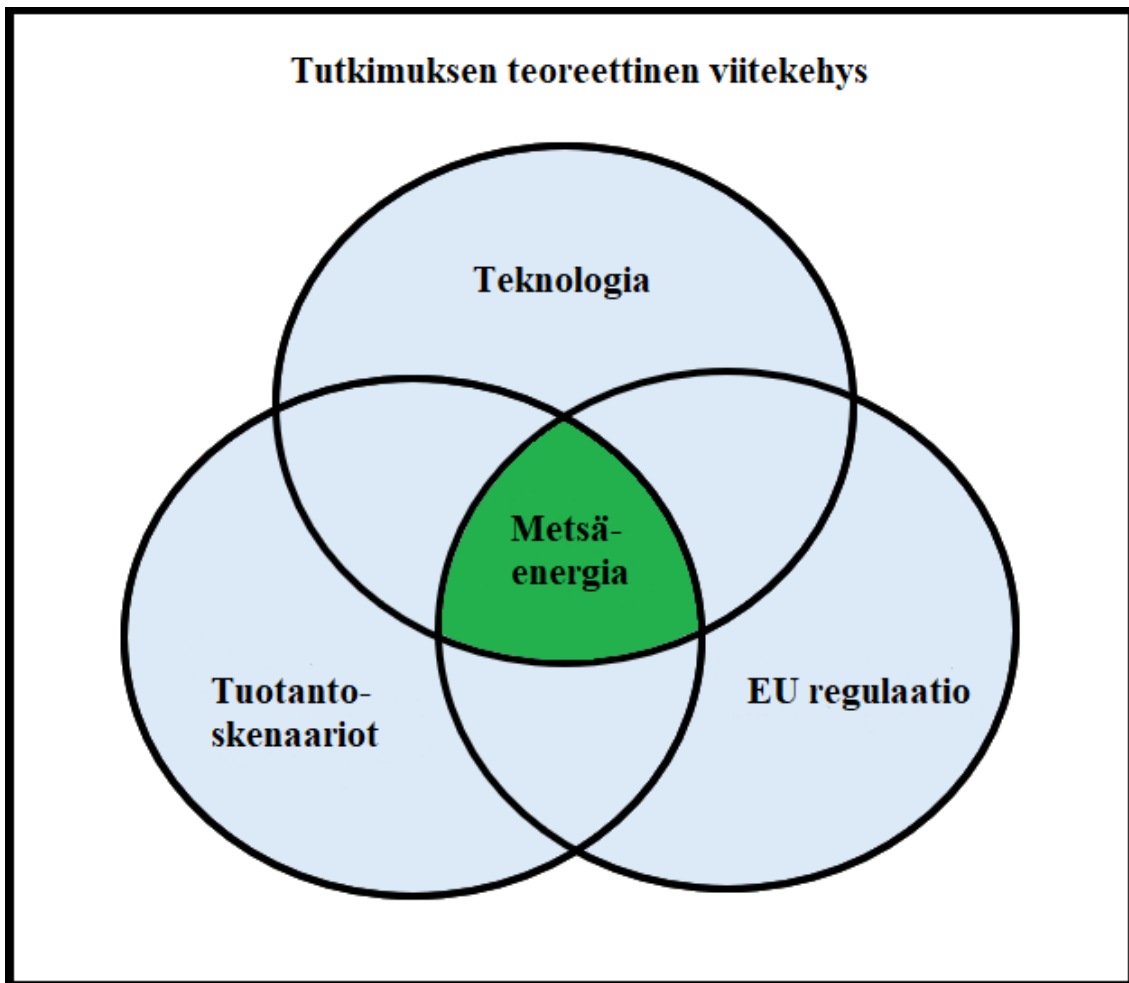
2.5 Metsäenergia

Metsäenergia voidaan jakaa sen alkuperän mukaan kahteen eri luokkaan. Metsähakkeeksi kutsutaan mitä tahansa puubiomassaa, joka viedään metsästä suoraan lämpö- tai voimalaitokselle poltettavaksi. Metsähaketta valmistetaan hakkuutähteistä, kannoista, karsitusta rangasta ja karsimattomasta rangasta. Metsäteollisuuden sivuvirroista viedään suoraan polttoon mm. sahanpurua, kuorta ja puutähdehaketta tai esim. sahanpurun jalostetta pellettiä. Näitä kutsutaan metsäteollisuuden sivutuotteiksi (Maa- ja metsätalousministeriö, 2024b.) Sen sijaan metsäenergiaksi ei ole katsottu purkujätteen sisältämää puubiomassaa. Tämä raja on tutkimuksen kannalta tärkeää, koska tutkimus tarkastelee EU:n ja Suomen poliittisten päätösten vaikutusta metsäenergian käyttöön. Metsähaketta ja metsäteollisuuden sivutuotteita käsitellään eri lailla esimerkiksi kestävyyskriteerejä tarkasteltaessa.

Kokopuu- ja rankahake kulkee tilastokeskuksen polttoaineiden luokittelussa yhdessä. Nämä jaetaan vielä erikseen pienpuuhun ja järeään puuhun. Pienpuun määritelmä menee näin: ”Pieniläpimittaisesta tai jalostukseen kelpaamattomasta runkopuusta tai pieniläpimittaisen puun koko maanpäällisestä biomassasta (runkopuu, oksat, neulaset) tehty hake”. Järeän puun osalta määritelmä menee näin: ”Järeän puun hakkuukohteen jalostuskelpoisesta runkopuusta tehty hake. Kuitu- tai tukkipuun mitat ja laatuvaatimukset täyttävät koivu-, mänty- tai kuusipuu.” Tilastokeskuksen luokittelua käytetään esimerkiksi biomassapolttoaineiden kestävyuden osoittamisessa. (Tilastokeskus, 2024.) Energiaviraston ohjeen mukaan edellä mainittu pienpuu ja järeä puu pitää luokitella laitoksilla erikseen, koska ainespuusta valmistetun kokopuu- tai rankahakkeen puuraaka-aineen kasvatuksesta ja korjuusta syntyneet päästöt tulee ottaa huomioon kasvihuonekaasupäästövähennystä koskevassa tarkastelussa laitoksilla, joilla sovelletaan kasvihuonepäästökriteeriä (Energiavirasto, 2022).

2.6 Teorettinen viitekehys

Teoreettisen viitekehysten keskiössä on metsäenergia, jonka tulevaisuuden roolia tässä tutkimuksessa tutkitaan. Metsäenergian käyttöön vaikuttavat EU:n poliittiset toimet, saatavilla oleva teknologia ja tässä tutkimuksessa Tampereen Energian tulevaisuuden tuotantoskenaariot. Tässä luvussa on avattu edellä mainittujen lisäksi kaukolämmöntuotantoa yleisesti ikään kuin kattokäsitteenä, joka kiinnittää nämä kaikki osa-alueet toisiinsa. Kuviossa 7 kuvataan teoreettista viitekehystä kuvan muodossa.



Kuvio 7: Tutkimuksen teoreettinen viitekehys. Metsäenergian rooli tulevaisuuden kaukolämmöntuotannossa – Case Tampereen Energia

EU sääntelee luvussa esitetyillä direktiiveillä ja asetuksilla energian tuotantoa monin eri tavoin. Se vaikuttaa suoraan Tampereen Energian tuotantoskenaarioihin ja niihin

valintoihin, joita Tampereen Energia tekee. Toisaalta EU luo kannustimia tiettyjen teknologioiden käyttöönottoon. Suorat vaikutukset metsäenergiaan EU luo rajoittamalla metsäenergian käyttöä esimerkiksi kestävyyskriteerien ja hiilinielutavoitteiden kautta.

Luvussa esitetyt teknologiat vaikuttavat metsäenergian käyttöön joko sitä lisäävästi tai vähentävästi. Toisaalta polttotekniikka mahdollistaa metsäenergian hyödyntämisen, mutta samaan aikaan kaukolämmöntuotannon sähköistyminen vähentää käyttöä. Tampereen Energian tuotantoskenaarioista BECCS-teknologia perustuu polttamiseen ja hiilidioksidin talteenottoon ja tätä kautta ympäristöystävälliseen toimintaan. Toisaalta skenaario X:n ympäristöystävällisyys perustuu täysin sähköistyvään ja tuulivoimaan perustuvaan lämmöntuotantoon. Metsäenergian käytölle tämä vaihtoehto tarkoittaisi täydellistä loppua.

Kaukolämpöä voidaan tuottaa monin eri tavoin, joista yksi energiajake on metsäenergia. Tässä luvussa on esitelty metsäenergiasta sen jakautuminen erilaisiin osajakeisiin niiden alkuperän mukaan. Haastatteluiden pyrkimyksenä on selvittää metsäenergian roolia kaukolämmöntuotannossa nyt ja päätellä teoreettisen viitekehyksen avulla sen rooli tulevaisuudessa.

3 METODOLOGIA

3.1 Tutkimuksen kohde

Tutkimuksen kohteeksi valikoitui Tampereen Energian kaukolämmöntuotanto, koska yhtenä tutkimuksen pääaineistona toimi Tampereen Energian selvitys hiilinegatiiviseen ja polttoon perustumattomaan kaukolämpöön siirtymisestä. Tätä kautta oli loogista selvittää metsäenergian käyttöä tarkemmin juuri tässä yrityksessä. Tampereen Energia Oy on Tampereen kaupungin omistama energiayhtiö, joka tuottaa kaukolämpöä, sähköä ja kaukojäähdytystä asiakkailleen Tampereen seudulla (Tampereen Energia, 2024).

3.2 Käytetyt tutkimusmenetelmät

Tutkimus toteutettiin kvalitatiivisena haastattelututkimuksena, koska tutkimuksen tavoitteena oli samaan aikaan saada selville ennalta tuntemia asioita ja ymmärtää tätä kautta niiden merkitystä ilmiöön. Hirsjärven, Remeksen ja Sajavaaran (2017, 157) mukaan kvalitatiivisessa tutkimuksessa pyritään tutkimaan kohdetta mahdollisimman kokonaisvaltaisesti.

Hirsjärven ym. (2017, 200) mukaan haastattelu toimii kvalitatiivisessa tutkimuksessa hyvin, jos kyseessä on ennalta tuntematon alue, josta ei tiedetä etukäteen mihin suuntaan vastaus kehittyy tai jos tiedetään etukäteen, että vastaukset ovat monitahoisia ja niihin haluttaisiin tehdä selventäviä ja syventäviä jatkokysymyksiä.

Haastattelut toteutettiin strukturoidusti ja haastatteluista varten laadittiin haastattelurunko helpottamaan haastattelun kulkua. Hirsjärven ym. (2007, 203) mukaan strukturoidussa haastattelussa ennalta laadittua lomaketta voidaan käyttää tarkasti järjestyksessä, jolloin haastattelu on helppo tehdä. Tässä tutkimuksessa haastattelua varten laadittiin tarkat kysymykset, mutta kysymysjärjestys saattoi vaihdella tai joitakin kysymyksiä jäi myös kysymättä, koska vastaukset voitiin päätellä muista kysymyksistä. Tämä tutkimus toteutettiin puolistrukturoituna.

3.3 Aineiston keruu

Tutkimusta varten haastateltiin Tampereen Energialta kahta henkilöä, jotka ovat olleet tekemässä tuotantoskenaarioita sekä yhtä henkilöä, joka toimii tuotannon ohjaamisen parissa. Haastattelut toteutettiin taulukko 1:n mukaisesti Teamsin välityksellä 26.3., 28.3. ja 4.4.2024. Haastatteluiden pituus vaihteli 1 h 4 min ja 2 h 18 min välillä haastateltavien käytettävissä olevan ajan mukaan. Haastattelukysymykset laadittiin jokaiselle haastateltavalle erikseen heidän osaamisalansa ja uusien ilmenneiden asioiden selvittämiseksi seuraavissa haastatteluissa. Haastattelukysymykset toimivat haastattelurunkona ja lisäkysymyksinä, jos haastateltava ei asioita muutoin käsitellyt. Jokaiselle haastateltavalle kerrottiin heidän oikeudestaan kieltäytyä haastattelun nauhoittamisesta sekä heidän anonymiteettinsä säilyttämisestä tutkimuksessa. Jokainen haastateltava suostui nauhoitukseen ja tutkimukseen osallistumiseen omalla nimellään.

Taulukko 1. Haastattelut

Haastateltava	Ajankohta	Kesto	Paikka	Titteli
Niko Raami	26.3.2024	2 h 18 min	Teams	Polttoaineinsinööri
Jukka Joronen	28.3.2024	1 h 4 min	Teams	Energiamarkkinoista vastaava johtaja
Pinja Salhoja	4.4.2024	1 h 23 min	Teams	Business Intelligence Expert

Haastattelut sovittiin tiedustelemalla mahdollisia haastateltavia yrityksestä sähköpostitse. Lopulta haastateltavat valikoituivat aikataulujen yhteensovittamisen ja eri työnkuvien kautta. Ennen haastattelujen sopimista selvitettiin haastateltavien osaamisalueet, ja tätä kautta myös yksilölliset haastattelurungot oli mahdollista laatia. Haastattelujen pyrkimyksenä oli löytää tutkimuksen viitekehysten mukaiset merkitykselliset asiat, jotka oikeasti vaikuttavat metsäenergian tulevaisuuteen ja auttavat kaukolämmöntuottajaa strategian valinnassa. Haastatteluja varten lähetettiin etukäteen ehdotelma mitä teemoja haastattelut voisivat pitää sisällään. Ennen ensimmäistä haastattelua kaikki teemat käytiin läpi ensimmäisen haastateltavan kanssa ja todettiin yhdessä mitä teemoja on järkevää käsitellä kunkin kanssa.

Ensimmäisen haastattelun tarkoitus oli selvittää Tampereen Energian nykyinen kaukolämmön tuotantorakenne, mitä polttoaineita käytetään ja miten huolto- ja

toimitusvarmuus otetaan tuotannossa huomioon. Metsäenergian osalta kysymyksiä tarkennettiin vielä niin, että metsäenergian nykyinen rooli kaukolämmöntuotannossa selviäisi. Tähän haastatteluun liittyi paljon yksityiskohtien selvittämistä, mikä selittää haastattelun pituuden venymistä yli 2 tunnin mittaiseksi. Toisessa haastattelussa selvitettiin kaukolämmön tuotannon logiikkaa pohjoismaisissa olosuhteissa, nykyistä Tampereen Energian strategiaa ja tuotantoskenaarioiden taustaa. Metsäenergiaa koskevat kysymykset liittyivät tulevaisuuden metsäenergian käyttöön eri skenaarioissa. Kolmas ja viimeinen haastattelu keskittyi EU regulaation läpikäymiseen ja näiden mahdollisiin vaikutuksiin metsäenergian käyttöön liittyen. Lisäksi kolmannessa haastattelussa käytiin läpi asioita, joita kahdessa aiemmassa haastattelussa oli jäänyt käsittelemättä.

Teknologiaan liittyvät haastattelukysymykset olivat sellaisia, joihin haastattelija pystyi vastaamaan täysin oman tietonsa pohjalta, mutta toisaalta osa kysymyksistä mahdollisti myös omien mielipiteiden esille tuomisen. Tulevaisuuteen liittyviin kysymyksiin liittyi paljon arviointia ja omien mielipiteiden esille tuomista. Jokaiselle vastaukselle pyrittiin antamaan riittävästi aikaa, jotta haastateltavalla olisi riittävästi aikaa pohdiskella vastauksensa. Haastattelun aikana pyrittiin arvioimaan, saatiinko vastaukset haastattelurungossa oleviin kysymyksiin. Näin toimimalla pyrittiin välttämään turhaa toistoa haastateltavalle. Jokaista haastattelurungon kysymystä ei näin tullut jokaiselta ääneen kysytyä.

3.4 Aineiston käsittely ja analysointi

Haastattelujen jälkeen aineisto litteroitiin. Hirsjärven ym. (2007, 217) mukaan kvalitatiivisessa tutkimuksessa se on tarkoituksenmukaista tehdä. Haastatteluaineiston käsittelyyn liittyy tässä tutkimuksessa kaksi eri vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa muodostetaan haastatteluista saadun aineiston perusteella käsitys nykyisestä tuotantorakenteesta käytännön tasolla. Lopulta nämä tekijät liittyvät osaltaan teoreettisen viitekehyksen teknologiaosioon ja metsäenergian rooliin nykypäivänä. Tämän vaiheen tarkoituksena on löytää yhteyksiä eri teknologioiden väliltä, että selviäisi mikä lopulta vaikuttaa metsäenergian käyttöön. Tämän vaiheen avulla tutkija ymmärtää vaikutuksen metsäenergian käyttöön, vaikka haastateltava ei suoraan olisikaan puhunut metsäenergian käytöstä. Tämän osan tulokset löytyvät osaltaan taulukkoina liitteistä.

Tutkimustuloksien analysointiin valitaan tapa, jolla päästään parhaiten tutkimuksen tavoitteeseen. Tapoja voi olla monia, kuten teemoittelu, tyypittely ja sisällönerittely (Hirsjärvi ym., 2017, 219.) Analysoinnin toisessa vaiheessa jaotellaan haastattelun käsitteet eri luokkiin. Aineiston analyysi tehdään teoriaohjaavasti hyödyntämällä SWOT analyysiä, jossa tunnistetaan sisäiset vahvuudet, sisäiset heikkoudet, ulkoiset mahdollisuudet ja ulkoiset uhat (Lindroos & Lohivesi, 2010, 218–219). SWOT-analyysin käsitteet muodostavat pääluokat, joista on mahdollista tehdä johtopäätöksiä.

Tutkimuksen analyysi toteutettiin hyödyntämällä SWOT-analyysin mukaista jakoa. Jokainen viitekehyksen osa-alue analysoitiin erikseen tarkkaan. Analyysin lopputulos oli jokaisen teknologian, poliittisen toimen ja skenaarion kohdalta, että onko se metsäenergian käytön osalta ulkoinen mahdollisuus vai ulkoinen uhka. Sanamuotoina analyysissä käytetään myös, että vähentää tai lisää metsäenergian käyttöä. Metsäenergian osalta SWOT analyysissä arviointi liittyi sisäisten heikkouksien ja vahvuuksien löytämiseen. Tutkimuksessa tämä liittyy eri metsäenergian jakeiden ominaisuuksiin ja tätä kautta tulevaisuuden hyödyntämismahdollisuuksiin.

3.5 Tutkimuksen luotettavuuden arviointi

Hirsjärven ym. (2007, 227) mukaan kvalitatiivisessa tutkimuksessa tutkimuksen luotettavuutta voidaan parantaa kertomalla tarkkaan, miten tutkimuksen eri vaiheet on toteutettu, miten aineistoa on luokiteltu, analysoitu ja tulkittu. Tutkimuksessa on pyritty noudattamaan viittaussääntöjä ja esittämään asiat niin, että lukija ymmärtäisi onko kyseessä kirjoittajan omaa päätelmää vai eri lähteistä saatua tietoa. Tutkimustulosten esittämisessä on otettu pääosin pitkiä katkelmia haastateltavien puheesta, jotta asiayhteys ei katkeaisi. Haastattelurungot löytyvät tutkimuksen liitteistä. Tutkimuksen analyysissä on pyritty käyttämään viitekehyksen mukaisia lähteitä mahdollisimman tarkasti. Johtopäätökset nojaavat koko tutkimuksen tuloksiin ja tutkijan omaan päättelyyn, joten yksittäisiä lähteitä tässä osiossa mainita.

Tutkimusta varten haastateltiin energia-alan ammattilaisia Tampereen Energialta ja tältä osin tietoja voidaan pitää luotettavina. Tutkimuksen tulokset ja johtopäätökset on kuitenkin tehty Tampereen Energian tuotantorakenteella, mikä rajoittaa tutkimuksen

yleistämistä jonkin verran. Pohjoismainen sää ja toimintaympäristö on myös erilainen kuin muualla Euroopassa, joten tämäkin heikentää yleistettävyyttä muualle Eurooppaan. Tutkimuksen tulokset voi kuitenkin yleistää Pohjoismaisiin kaupunkeihin ja samanlaisella tuotantorakenteella toimiviin kaukolämmöntuottajiin.

4 EMPIRIA

4.1 Kaukolämmön tuotannon logiikka Tampereen Energialla

Kun vertaillaan Pohjoismaista toimintaympäristöä Keski- ja Etelä-Eurooppaan, voidaan havaita muutamia merkittäviä tekijöitä, jotka vaikuttavat Tampereen Energian toimintalogiikkaan. Pohjoismaissa ilmasto on kylmempi ja sää vaihtelee enemmän kesän ja talven välillä kuin etelämpään siirryttäessä. Tämä yksistään korostaa lämmityksen tarvetta kesäaikaan, mutta erityisesti tarvetta varautua talven kovimpiin lämmityshuippuihin. Toinen merkittävä ero muualle Eurooppaan on kaukolämpöverkosto, jonka avulla lämmitetään 85 % Suomalaisista kerrostaloista. Haastatteluiden mukaan muualla Euroopassa lämmitys perustuu paljolti maakaasuverkostoihin ja kaasupohjaiseen lämmitykseen.

” Siellä [muualla Euroopassa] on nyt nää kaasuverkostot, joissa se energia liikkuu tällä hetkellä, kun taas Suomessa on lämpöverkostot, joissa energia liikkuu ”

Pinja Salhoja

Kolmas merkittävä haastatteluissa noussut tekijä erityisesti Suomessa on verrattain hyvä sähköverkosto, joka mahdollistaa tuulivoiman voimakkaan lisäämisen nopeasti.

” Suomessahan on parempi kantaverkko koko maata ajatellen, kun Ruotsissa taikka Norjassa eli sen takia Suomessa esimerkiksi on vaan yks sähkön hinta-alue, kun Ruotsi ja norja on jakautunut pohjois-, eteläsuunnassa useampaan hinta-alueeseen juuri näiden siirtoyhteyksien pullonkaulojen takia. ” Niko Raami

Neljäntenä merkittävänä tekijänä vaikuttaa Pohjoismaiset metsät ja niiden hyödyntäminen sekä metsäteollisuuden että energiateollisuuden käyttöön.

” Ihan jos ajatellaan parhaita tapoja käyttää sitä biomassaa tai metsätaloutta, että jos ruvetaan niin kun rankkaamaan sitten näitä käyttökohteita, että meillä on tietty määrä puuta ja sitten mihin se kannattaisi laittaa sillain, että yritetään optimoida biodiversiteetti ja ilmastonmuutosasiat, niin kyllä mä sanoisin, että

kaupunkien lämmittäminen on kuitenkin aika tärkeätä ja se on pakollista.” Jukka Joronen

Nämä kaikki edellä mainitut tekijät ovat muovanneet Tampereen Energian tuotantorakenteen nykyisenlaiseksi. Haastattelujen mukaan tuotantorakenteella pyritään vastaamaan energia-alan trilemman mukaiseen haasteeseen, jossa samaan aikaan on ratkaistava hinta, ympäristöystävällisyys ja huoltovarmuus. Tampereen Energia tunnistaa tällä hetkellä pahimmaksi kilpailijakseen maalämmön, koska joissakin kaupungeissa on kaukolämmön asiakkaita siirtynyt maalämmön asiakkaiksi.

” Tää on klassinen energia-alan trilemma, että nää kolme asiaa pitää ratkaista, hinta, ympäristöystävällisyys ja huoltovarmuus. Ja kaikissa näissä osa-alueissa tällä hetkellä ollaan suht vahvoja maalämpöön nähden, mutta meillä ei esimerkiksi ole siinä hinnassa hirveästi varaa.” Jukka Joronen

Haastattelujen mukaan kaukolämmön hintaan vaikuttaa kaikista eniten tällä hetkellä metsäenergian hinta, joka on noussut merkittävästi Ukrainan sodan alkamisen jälkeen. Tampereen energia pyrkii alentamaan tuotantokustannuksia vähentämällä kalliin metsäenergian käyttöä ja lisäämällä sähköllä tuotettua kaukolämpöä sähkön ollessa halpaa. Sähkön hinta seuraa Suomessa paljolti tuulivoimatuotannon määrää kysynnän ja tarjonnan lain mukaisesti. Tämä aiheuttaa huolen sähköjärjestelmän pahenevasta teho-ongelmasta, kun halvin sähköntuotantomuoto tuulivoima syö markkinoilta säätyvää sähköntuotantoa. Jatkossa sähkön tuotannon- ja hinnanvaihtelut voivat olla vielä nykyistäkin kovemmat. Biomassakattilat toisaalta helpottavat tätä ongelmaa lämpöjärjestelmän puolella.

” On sitten se biomassalla, joka on sitten onneksi just sitä säätyvää, eli sitä pystytään käyttämään myös silloin kun sähkön hinta on korkea ja sitten vähän vaihdellaan tätä sähkökattilan ja biomassakattilan välillä sen mukaan, että mikä sähköjärjestelmän puolella on se tilanne ja pystytään näin tukemaan sitä sähköjärjestelmää eikä pahentaa sitä sähköjärjestelmään tulevaa teho-ongelmaa.” Jukka Joronen

Trilemman mukainen huoltovarmuuden ratkaiseminen liittyy sekä huolto- että toimitusvarmuuden järjestämiseen kaukolämmöntuotannossa. Tuotantorakenteen mitoittamisessa otetaan huomioon, että kaupunki pidetään lämpimänä sekä normaalitilanteessa että poikkeusoloissa. Toimitusvarmuudessa Tampereen Energia ei ota sähkökattiloita huomioon tuotantorakenteen mitoittamisessa, koska näiden käyttö on tuulesta kiinni. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, etteikö käyttö voisi olla voimakasta vuoden mittaan. Se vain vaihtelee todella paljon. Kilpailijaan maalämpöön verrattuna Tampereen Energia kokee olevansa huoltovarmuudessa edellä, koska maalämpö toimii sähköllä ja huippukulutuksen aikaan käytännössä vielä lisäksi sähkövastuksilla, joka pahentaa teho-ongelmaa entisestään.

” Maalämpöhän on sähkölämmitystä, että sitä ei moni tiedä tai siis osaa sillain arvioida, että se on hyvällä hyötysuhteella olevaa sähkölämmitystä, mutta se on joka tapauksessa sähkölämmitystä. Ja oikein kovalla pakkasella se tehonhallinta on vielä hankalampaa, kun siellä sitten ruvetaan käyttämään vielä näitä sähkövastuksia sitten tukena. – Keskitetyssä lämmitysjärjestelmässä tehon hallinta on paljon tehokkaampaa kuin erillisissä. On talokohtaisia lämmitysjärjestelmiä, jotka sitten joutuu nojaamaan siihen sähköjärjestelmään ja sähköjärjestelmän puolella se tehon tuottaminen on ihan yhtä kallista tai paljon kalliimpaa vielä, kun tässä kaukolämpöjärjestelmässä. Millä se käytännössä pystytään siellä tuottamaan, niin on kaasumaiset maakaasu ja biokaasu, ehkä synteettinen kaasu tulevaisuudessa, miten niitä sähkön huippujakin tehdään, mutta se tehdään siellä puolella taas huomattavasti heikommalla hyötysuhteella. ” Jukka Joronen

Ympäristöystävällisyyden toteutumisesta Tampereen Energia nostaa tärkeäksi nettopäästövähenemän ja resurssien tehokkaan käytön. Teknologia mahdollistaa mitä vaan, jos olisi käytettävissä rajattomat resurssit, mutta tämä ei vastaa todellisuutta. Kaukolämmitysjärjestelmällä saavutetaan merkittäviä skaalaetuja samoilla resursseilla verrattuna yksittäisiin rakennuskohtaisiin ratkaisuihin. Tuotannon tehostaminen, uusien teknologioiden käyttöönotto ja esimerkiksi metsien käytön muutokset skaalautuvat nopeasti kaukolämmitysjärjestelmän kautta. Tampereen Energian näkökulmasta huolta herättää resurssien tuhlaaminen rinnakkaisten lämmitysjärjestelmien rakentamiseen ja vielä ARA-tukien käyttämistä tähän, kun näin toimimalla ei saavuteta nettopäästövähenemiä.

” – elikkä, kun on suuri avaruus kaikkia teknologioita, kaikkia vaihtoehtoja mitä voidaan tehdä ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi, mutta ne kannattaa laittaa kustannustehokkuusjärjestykseen. – (skaalautuvuuden) logiikka on se, että pystytään tekemään isoja keskitettyjä muutoksia, että kun aikaisemmin meillä oli fossiiliseen perustuva järjestelmä lämmityksessä, että meilläkin oli maakaasua ja turvetta. Niin sitten kun me yksikin laitos muutetaan vaikka biomassalle tai sähkölle, että otetaan sähkökattilaa sinne, niin se kerralla vähentää kymmenien tuhansien ihmisten päästöt nolnaan. – Jos halutaan tosissaan toimia mahdollisimman tehokkaasti, niin pitäisi niille meidän rajallisille resursseille löytää semmoisia projekteja, joissa oikeasti vähennetään vaikka just fossiilisen polttoaineen käyttöä ja asettaa ne sillain järjestykseen niinku regulaation mielessä, että sitähän me tässä mietitään myöskin että kannattaako poliitikon esimerkiksi tukea, niin kuin nyt ARA-tuilla on tuettu sitä, että siirtyy kaukolämmöstä pois maalämpöön.” Jukka Joronen

4.2 Tampereen Energian tuotantorakenne

Tampereen Energian nykyinen kaukolämmön tuotantorakenne perustuu jätteenpoltoon ja biomassan polttoon ympäri vuoden. Nämä muodostavat tuotannossa peruskuorman, jossa Tarastejärven jätteenpolttolaitos on tuotantojärjestyksessä ensimmäisenä ja Hervannan hakelämpökeskus kesäaikaan seuraavana. Naistenlahden voimalaitoksen ollessa syksystä kevääseen käynnissä, on se tuotantojärjestyksessä ennen Hervannan hakelämpökeskusta.

” Kesällä meidän kaukolämpöverkon lämpötehon taso tippuu niin matalaksi, että sitä ei ole järkevää Naistenlahden yksiköllä tuottaa, kun on niin suuri yksikkösiinä sitten, että mentäisiin niin lähellä minimitehoja plus sitten siellä on Tammervoiman laitos tuotantojärjestyksessä alempana eli enemmän pyritään käyttämään sitä, niin ne ei kaksin kesällä verkkoon mahdu, että kesällä meidän kaukolämpöteho vaihtelee sieltä noin 60:stä vähän reiluun 100 megawattiin.” Niko Raami

Ulkolämpötilan vaihdellessa nollan molemmin puolin, keskikuormaa tuottaa ensimmäisenä Sarankulman pellettikattila, joka pölypolttolaitoksena nousee nopeasti tuotantoon ja laskee samaan tapaan tarvittaessa joka päivä erikseen. Edellä mainitun tuotannon lisäksi peruskuormaan tulee Nokian datasalista hukkalämpöä ympäri vuoden pienellä 3,5 MW:n teholla. Yhteenlaskettuna tällä tuotannolla ilman reduktiota päästään talven minitasoihin eli 300 MW:n kaukolämpötehoon ja reduktion kanssa 350 MW:n kaukolämpötehoon. Mikäli Suomessa tuulee ja sähkö on halpaa, Lielahden sähkökattila lisää tehon n. 400 MW:iin. Sähkökattilan tuotantojärjestys riippuu sähkön hinnasta ja tämä vaihtelee päivittäin.

Ulkolämpötilan mennessä pakkaselle käynnistyvät vaiheittain huippukuormalaitokset eli Lielahden maakaasukombivoimalaitos sekä kaasua ja öljyä käyttävät lämpökeskukset. Nämä muodostavat yli puolet koko kaukolämpötehosta, vaikka niiden käyttö jääkin koko vuoden tarkastelussa tuntimääriltään vähäiseksi. Talven 2024 kaukolämpötehon huiput olivat yli 830 MW. Kovilla pakkasilla sekä kaukolämmön että sähkön kulutus on yhtä aikaa kovimmillaan, mikä on koko järjestelmän mitoituksen kannalta olennainen asia. Teho-ongelmat syntyvät kovalla pakkasella tuulettomina ajanjaksoina, jolloin voidaan turvautua jopa kiertäviin sähkökatkoihin. Tässä tilanteessa sähkökattilat eivät auta kaukolämmöntuotannossa, vaikka niitä olisi tuotantorakenteessa kuinka paljon hyvänsä.

” Talvisin sitten taas pyöritään nollakelissä. Se on suunnilleen 300 megawattia noin karkeasti ottaen se kaukolämpötehon kulutus ja sitten maksimipakkasilla mennään yli 800 megawatin. Tänä talvena esimerkiksi taisi olla joku 830-840 megawattia se hetkellinen maksimiteho, kun oli kovaa pakkasjaksoa. ” Niko Raami

Vuonna 2025 sähkökattilatehoa tulee Lielahteen 100 MW:a lisää sekä päivänsisäiseen kuormansäätelyyn 800 MWh kaukolämpöakku. Tämän tarkoituksena on hyödyntää esimerkiksi halpaa yösähköä. Tarastejärven jätteenpolttolaitokselle on suunnitelmien mukaan käynnistymässä Nordic Ren-Gasin vetyhanke, jossa jätteenpolton hiilidioksidia hyödynnetään metaanin valmistuksessa. Samalla tästä saataisiin 20 MW teholla hukkalämpöä kaukolämpöverkkoon. Nordic Ren-Gas on saanut hankkeelleen jo ympäristöluvan ja toteutuminen vaikuttaa tässä vaiheessa todennäköiseltä.

” Ren-Gasin metaanihanke Tampereella sai lainvoimaisen ympäristöluvan, oli tammikuussa julkistettu heidän tiedote eli ei ole tehty vielä rakentamispäätöstä, mutta on hyvin pitkällä kumminkin se hanke siinä mielessä, että tulee sinne, jos se investointipäätös tehdään. ” Niko Raami

Huolto- ja toimitusvarmuudesta puhuttaessa on hyvä erottaa nämä toisistaan. Huoltovarmuus perustuu Tampereen Energialla fossiilisiin polttoaineisiin näiden helpon varastoitavuuden ja huippukuormaan liittyvän roolin takia. Toimitusvarmuus taas voidaan yleistää kaiken toiminnan onnistumiseen.

” Toimitusvarmuus on se, miten normaalitilanteessa varmistetaan, että laitoksia voidaan käyttää suunnitellusti. Huoltovarmuus sitten taas on se, miten poikkeusoloissa saadaan meidän velvoitteet täytettyä. ” Niko Raami

Toimitusvarmuutta käsiteltäessä pitää ottaa huomioon tuotantorakenne, kaukolämpöverkko ja polttoainetoimitusten toteutuminen päivittäin. Tampereen Energian tuotantolaitokset on hajautettu tällä hetkellä ympäri Tamperetta. Hajautus itsessään tuo toimintavarmuutta esimerkiksi verkon vikatilanteiden varalta. Haastavia ovat kaukolämpöverkon pitkät hännät Pirkkalan ja Ylöjärven suuntaan putkiston kehämäisyyden puuttuessa ja toisaalta lämpimän veden riittävän saannin kannalta. Pitkien häntien päässä on tästä syystä öljykäyttöiset lämpökeskukset lämmön määrää varmistamassa. Kesäaikaan haasteen luo pistemäinen tuotanto Tarastejärveltä ja Hervannasta, joka ei ole verkon kannalta optimaalista. Syksystä kevääseen Naistenlahti helpottaa verkon kuorman tasaamisessa, mutta Länsi-Tampereella on vain fossiilienergiaa käyttävä Lielahden kombivoimalaitos. Sähkökattiloita käytetään Lielahdessa kuitenkin aina kun sähkön hinta tämän mahdollistaa. Toimitusvarmuus perustuu siis pistemäiseen, mutta hajautettuun tuotantoon.

” On tunnistettu semmoiseksi haastekohdaksi nää pitkät hännät ja sitä mietitään nyt, että miten sitä saataisiin semmoiseen kehämäisempään tuotantorakenteseen, että se toisi samalla myöskin sitä toimitusturvaa siinä mielessä, että jos joku tärkeä runkoputki vaikka vuotaa ja joudutaan ottaa hetkellisesti pois käytöstä niin ei sitten aiheuta liian suuria toimituskatkoksia asiakkaille eli se toimitusvarmuus

on se meidän valttikortti kaukolämmössä, että on hyvin korkealla tasolla vuositasolla se aika, jolloin saadaan se lämpö siirtymään sinne asiakkaille, niin siitä ei haluta myöskään jatkossa tinkiä, että ei tule niitä katkosaikoja. ” Niko Raami

Kaukolämpöverkon veden lämpötila vaihtelee kesän ja talven välillä, mutta ei voida puhua kuitenkaan matalalämpöverkosta. Se parantaisi tuotannon hajautuksen mahdollisuuksia, lämpöpumppujen käyttöönottoa ja hukkalämpöjen talteenottoa. Tämä ei ole nykyisellä kaukolämpöverkolla mahdollista, koska matalammalla veden lämpötilalla saman lämpömäärän siirtämiseen tarvittaisiin isommat putket ja nopeampi virtaus.

” Sitä lämpötilatasojen laskua on kyllä selvitelty, siinä haasteeksi tulee sitten se, että jos sitä lämpötilatasoa lasketaan alaspäin, niin sitten, jotta saadaan se sama lämpömäärä siirtymään, niin sitten sen virtauksen pitää kasvaa ja meillä sitten se verkko aiheuttaa siihen tiettyjä rajoitteita. ” Niko Raami

Tuotantorakenteessa jätteenpolttolaitoksen toimitusvarmuus perustuu jatkuvaan jätevirtaan Pirkanmaan jätehuollon rekkakuormien muodossa ja vanhan kaatopaikan penkkaan, jota käytetään tarvittaessa. Tuotanto on tasaista ja ennustettavaa. Bioenergialla toimitukset Naistenlahteen ja Hervantaan vaatii päivittäistä suunnittelua, koska toimittajia on paljon ja laitosten siilokapasiteetti on rajallista. Toisaalta useat toimittajat ovat osa toimitusturvaa, mutta tämä luo myös haasteen suunnitteluun.

” Toimitusturva täytyy perustua siihen, että meillä on ensinnäkin riittävän monta tahoja, jotka meille pystyy sitä polttoainetta toimittamaan, jotta sitten ei olla täysin yhden kortin varassa. – sillä [pitkillä sopimuksilla] saadaan sitä vuositason sitoutumista, mutta sitten totta kai myös tuo sitä läpinäkyvyyttä molemmin päin. Halutaan, että sitten myös se päivätason toimitusturva varmistetaan sillä ennakoitavuudella ja sillä, että pyritään olemaan yhteistyössä. ” Niko Raami

Naistenlahdessa käy vuorokaudessa 50 rekkaa eli käytännössä koko ajan auto on purkamassa kuormaa ja ilman uusia kuormia täysi siilo kestää alle vuorokauden. Tästä syystä bioenergiaa on tarvetta varastoida muualla kuin laitosalueella. Naistenlahden ja Hervannan energiajakeista rankahake soveltuu terminaalivarastointiin hyvin ja varsinkin

hakettamattomana karsittua rankaa voidaan varastoida toimitusvarmuutta varten joitakin vuosia. Tampereen Energia on sopinut tätä varten joidenkin toimittajien kanssa toimitus- turvasopimuksia, jotta toimitukset eivät pääse katkeamaan missään tilanteessa. Lisäksi Tampereen Energia suunnittelee ostavansa puuta myös omaan terminaaliin.

*” Paljon toimitusturvasta on myöskin toimittajien terminaalien ja tommoisten va-
rastojen varassa eli ei voida tän kokoista laitosta ajaa pelkästään kädestä suuhun
sen mukaan mitä maastossa haketaan ja sitten kun tulee sopivasti kivi hak-
kuriin ja on päivän pois pelistä, niin ei voida olla yhden kortin varassa siinä mie-
lessä, että se tietty varastointi tarve sille kiinteälle polttoaineelle on olemassa,
että sitä puskuria on ja perinteisesti se on ollut, että toimittajat varastoi sen polt-
toaineen, että me ostetaan se meidän laitokselle toimitettuna, mutta tässäkin on
ehkä tulossa muutosta sitten siihen suuntaan, että saatetaan käydä osa kaupasta
niin että me ostetaan puuta meidän terminaaliin. – Ei olla omaan puunhankintaan
lähdössä, että ei me nyt niin pitkälle olla sitä viemässä. Osa energiayhtiöstä on
valinnut senkin tien, että menee sitten tosi pitkälle sitä ketjua eteenpäin, mutta on
nähtävissä, että ei enää pystytä täysin laskemaan sen varaan, että se riittää, että
me hankitaan vaan laitokselle toimitettuna se kaikki polttoaine mitä meille tulee.
” Niko Raami*

*” – käytännössä tommoinen pienrankapuu on sillain helpoiten varastoitava, että
sieltä pystyy sitten vähän pelaamaan kuukausitasolla taikka jopa niin kun, no ei
nyt vuosikaupalla, mutta lämmityskauden ylitse sitten seuraavaankin niin tuo sitä
semmoista joustovaraa, että miten sitä ajoitetaan ja sitten esimerkiksi kelirikko-
aikana, mikä nyt taas keväällä on lähdössä liikkeelle, niin sitten kun se on vaikka
rankapuuna terminaalissa, johon on varmat asfaltoidut liikenneyhteydet niin se
tuo sitä toimitusvarmuutta, että ei olla sitten semmoisen maastohaketuksen va-
rassa, mikä sitten on x määrä viikkoa vuodesta pois pelistä, koska ne metsäauto-
tiet ei kestä niitten raskaitten ajoneuvojen massaa. ” Niko Raami*

Bioenergian käytön suunnittelua haastaa sähkökattilat, joiden seuraavan päivän käytön tietää vasta klo 14 edellisenä päivänä, kun seuraavan päivän sähkön pörssihinnat selviää. Sähkökattiloiden yhteyteen rakennettava kaukolämpöakku helpottaa suunnittelua hiukan,

mutta tämä luo edelleen tarvetta varastoida bioenergiaa väliaikaisesti terminaaleissa. Haaste on vielä maltillinen, mutta sähkökattiloiden lisäyksen jälkeen todennäköisesti paheneva.

” Päivätason vaihtelu on tosi hankalaa, kun sähköpörssissä tulee kello 14.00 se huomisen ennuste, niin totta kai meillä on se kaukolämpöakku siellä, mikä tarjoaa vähän sitä puskuria. – se tuleekin olemaan haaste, että tää yks sähkökattila ei ole vielä isommin häirinnyt sitä, että se mittaluokka on ollut semmoinen, että se on hallittavissa, vaikka meillä ei sitä kaukolämpöakku vielä olekaan. Kaksi kun tulee lisää niin se megawattimäärä on tosi iso suhteessa suureen osaan meidän vuoden tuotantotehosta, kun liikutaan talvellakin 300:sta ehkä 600 megawattiin alueella, niin se 150 on tosi iso osa sitä.” Niko Raami

Pelletin osalta toimitusvarmuus perustuu yhteen isoon toimittajaan, hyvään säilyvyyteen varastoissa ja kohtuullisen isoon siiloon laitoksella. Toimittajalla on tiedossa vähintään vuotta ennemmin tulevat käyttömäärät, joka parantaa toimitusvarmuutta. Toisaalta käytön luonne on nykivää ja todella vaihtelevaa, joka saattaa aiheuttaa haasteita toimitusten suunnittelulle lämmityskauden aikana.

” Mutta sitten pelletti on sillain, että meillä on ollut sieltä laitoksen alusta asti käytännössä yksi iso toimittaja, joka sitten sitä pellettiä on meille ajanut ja meillä on kohtuullisen hyvä siilokapasiteetti siinä laitoksella eli muutaman päivän kulu- tus pystytään kattamaan siinä laitoksella olemassa olevilla varastoilla. Ja sitten pelletti on kohtuullisen helposti säilöttävissä, eli kun pellettitehtaalta sitä tuotantoa tulee, niin siellä on sitten neuvoteltu vuosi taikka useamman vuoden sopimuk- sia, että on sovittu tietyistä toimitusmäärästä, että mikä meille varataan, niin se on siinä kohtaa jo kun se pelletti siellä tehtaalla valmistuu niin sitten toimittajalla tiedossa, että Tampereelle pitää varata tämän ja tämän verran tavaraa, niin se on sitten siellä varastoissa, joita sitten on niitäkin eri paikoissa, niin käytännössä hyvin pitkälti valmiina, että sitten sitä voidaan tarpeen mukaan meille toimittaa. – Toki pelletillä sitten se toimitusvarmuus on siinä mielessä haastava, että kun se käyttö on jaksottaista niin etenkin syksyllä ja keväällä ei pystytä tarkkaan

ennustamaan, että mikä se kulutus on, vaikka niin kun tällä hetkellä, että en osaa arvioida, että paljonko pellettiä kuluu viikon päästä tiistaina.” Niko Raami

Fossiilisista polttoaineista maakaasun käyttö on helppoa ja isonkin laitoksen osalta, kuten Lielahden kombivoimalaitoksen osalta nopeaa. Tällä varmistetaan lämmöt verkossa pakasilla. Maakaasua varten on tietyt velvoitevarastot, mutta sitä ei kuitenkaan pysty juuriin varastoimaan kuin niille tarkoitetuissa LNG-terminaaleissa. Virolla ja Suomella on yhteinen terminaali Virossa ja yhteys Suomeen Baltic Connectoria pitkin. Tämä ei juuri toimitusturvaa paranna, joten varsinkin huoltovarmuutta varten öljy on ainut varteenotettava vaihtoehto. Öljyn osalta toiminta on hyvin yksinkertaista, koska se on helposti varastoitavaa, pitkään säilyvää ja energiatiheää. Sitä pystytään käyttämään Naistenlahdessa varapolttoaineena ja koko kaukolämpöverkon alueella on useita öljykäyttöisiä lämpökeskuksia. Huippukuormaa varten polttaminen tulee säilymään vielä pitkään lämmöntuotannossa mukana.

” Kaasu tulee Virosta Baltic Connectorin ja kaasulaivan kautta ja viime talvi osoitti sen kaasuinfraktuurin haavoittuvuuden eli sen kaasun varaan ei välttämättä etenkään poikkeustilanteessa kannata liikaa laskea, eli siinä mielessä se öljy on ihan perusteltu polttoaine. – Mun oma henkilökohtainen näkemys on, että se polttaminen tulee pysymään vielä kaikkein pisimpään siinä lämmöntuotannossa mukana nimenomaan tommoisessa huippu-, varmuus- ja muussa mielessä. Eli vaikka nyt esimerkiksi se isojen peruskuormalaitosten toiminta muuttuisi jonkin toiseen suuntaan ja tulisi sitä ja tätä ja sähkökattiloita ja lämpöpumppuja ja muuta niin kumminkin sitten se viimeinen turva siellä tulee pysymään, että sitten meillä on mahdollista käyttää sitten vaikka sitä, onko se sitten vaikka bioöljyä polttava laitos sitten sen pahan päivän varalle, koska se on hyvä tapa saada nopeasti tuotettua isoja määriä lämpöä melkein ulkoisista tekijöistä riippumatta, että tuommoisen öljykattilan operointi onnistuu yhdeltä henkilöltä paikan päällä tarvittaessa sitten hyvin yksinkertaisilla toimenpiteillä. Sitten jos sormi menee suuhun, niin se on se viimeinen turva varmaan vielä pitkään tulevaisuuteen. ”

Niko Raami

voidaan ongelmatilanteissa polttaa myös kaasulla tai öljyllä tarvittaessa, joten rankahakkeen käyttö ei ole siellä polttoteknisesti pakollista missään tilanteessa. Keskipöytäedellytetään kosteinta on kuori ja sahanpuru, joiden osuuden kasvattaminen tuotannossa ei olisi mikään ongelma.

” Naistenlahdella on huomattavasti korkeampi se polttoaineen keskimääräinen kosteustaso, taikka toisin sanoen käännettynä heikomman lämpöarvon polttoainetta pystytään käyttämään paremmin kuin vaikka sitten siellä Hervannassa. Se on huomioitu laitoksen suunnittelussa. – ja se leijukattila mahdollistaa myöskin sen, että sitten se palaminen on sillä tavalla puhdasta, että se lähtökohtaisesti palaa hyvin loppuun asti. ” Niko Raami

Bioenergian jakeista kierrätyspuun polttaminen on suhdanneluonteista ja sen varaan ei voi tuotannon määriä laskea. Sitä käytetään Naistenlahdessa ja tätä kautta sen on hyvä kuitenkin olla laskelmissa mukana. Kierrätyspuuta ei tutkimuksessa tämän tarkemmin tutkitakaan.

” Nyt tietysti yleisen taloussuhdanteen vuoksi kierrätyspuuta ei kauheasti ole tarjolla, kun rakennusteollisuus ja muut mitkä on isoja tuottajia hiljenee, niin se on semmoinen aika suhdanneherkkä lajike, että se voi joskus sitten tulla tulevaisuudessa nouseen taikka sitten laskeen entisestään, hankalaa sanoa. ” Niko Raami

Naistenlahdessa ja Hervannassa poltettavat kantomurske, metsätähdehake ja kokopuu-hake ovat rankahakkeen ohella suoraan metsästä tuotavia energijakeita. Lisäksi poltetaan teollisuuden sivutuotteista sahanpurua ja kuorta. Näistä voidaan todeta kääntäen rankahakkeeseen verrattuna, että laatu on vaihtelevampaa kuin rankahakkeella, varastoitavuus on haastavampaa ja hallittavuus on heikompi. Poltossa nämä kuitenkin toimivat kohtuullisen hyvin sekä Hervannan leijupetikattilassa että Naistenlahden kiertoleijukattilassa. Sahanpuru ja kuori aiheuttaa hiukan enemmän haasteita poltossa niiden kosteuden takia, mutta Naistenlahdessa näidenkin polttaminen onnistuu hyvin vaikka niiden suhteellinen määrä polttojakeista kasvaisikin.

” Jos ei mennä mihinkään ihan äärimmäisiin kosteuksiin, vaikka sen kuoren osalta, että se pysyy nyt semmoisessa tyypillisessä alle kumminkin 65 %:n kosteudessa tai ainakin, että ei mennä sinne lähelle 70 %:a, mitä se voi kuorella kyllä joskus olla, mutta jos pysytään nyt silleen, että se on siellä sahanpurulla 50-55 % tasolla ja kuorella vähän yli, niin se on on vielä ihan ok, että periaatteessa pystyisi olemaan pelkästään (Naistenlahdessa) sitten niitä. ” Niko Raami

Toisin kuin muut bioenergian jakeet, pellettiä käytetään vain keskikuorman tuotannossa. Tämä johtuu sekä kustannustehokkuudesta että pölypolttolaitoksen ominaisuuksista. Siinä missä peruskuorma tuotetaan halvemmilla jakeilla ja huippukuorma tuotetaan kalliilla fossiilisilla jakeilla, niin pelletin rooli on tässä välissä. Lisäksi pölypolttolaitos mahdollistaa vaihtelevan tuotannon kelien vaihdellessa paremmin kuin peruskuormalaitokset.

” Pelletti on polttoaineena hieman kalliimpaa megawattituntia kohti kuin esimerkiksi hake, mutta siinä tulee tiettyjä etuja johtuen sen pelletin tasalaatuisuudesta ja hyvästä lämpöarvosta ja siitä, että, se on kohtuullisen nopeasti säädettävissä olevaa tuotantoa verrattuna sitten kiinteän polttoaineen laitoksiin. ” Niko Raami

4.4 Tuotantoskenaariot ja mahdolliset tulevaisuuden suuntaviivat

Tampereen Energian strategia nojasi aiemmin maakaasuun ja turpeeseen, lähitulevaisuudessa se perustuu tuulivoimaan, bioenergiaan ja hukkalämpöihin Nordic Ren-Gasin vedyntuotannosta. Tulevaisuuden tuotantoskenaariot kuvaavat mahdollista tuotantorakennetta vuonna 2040 ja tätä kautta viitoittaa samalla tulevaa strategiaa. Julkisten skenaarioiden on tarkoitus avata ihmisille kuinka Tampereen Energia tekee töitä ilmastonmuutoksen eteen. Ne eivät ole investointisuunnitelmia vaan niillä kuvataan mitä vaikutuksia esimerkiksi sillä on, jos halutaan päästä kokonaan polttamisesta eroon.

” Monet asiakkaat haluaa tehdä jotain energian- ja ilmastonmuutoksen eteen. Se on ollut tosi tärkeitä, että vaikka kaukolämpö sinänsä voi olla päästötöntä niin jotenkin on pakko päästä olemaan osallisena siinä ja sitten tää on ehkä semmoinen keino, että avataan tuota, miten me tehdään tota ilmastotyötä. ” Jukka Joronen

EU:n lisäksi kaupunkiomisteisella yhtiöllä vaikuttaa ratkaisuihin poliittisten päättäjien näkemykset ja selvitys on luotu myös syventämään näitä keskusteluita.

” Kaupunkiomisteisilla energiayhtiöllä tietenkin se omistaja vaikuttaa, että mitä ne omistajat siellä ohjaa, niin sehän vaikuttaa ja millaisia riskejä, millaisia investointeja ne on valmiita tekemään. ” Pinja Salhoja

Polttoon perustumattomassa skenaariossa X kustannukset nousevat korkeiksi, koska uutta infrastruktuuria joudutaan rakentamaan paljon vanhan tilalle. Sähköverkkoa pitää merkittävästi vahvistaa, koska sähkökattiloita, teollisen koon lämpöpumppuja ja rakennuskohtaisia kevythybridejä lisätään. Hukkalämmön talteenotto on tässä skenaariossa myös merkittävässä asemassa. Näillä tekniikoilla ei kuitenkaan pystytä ratkaisemaan huippukuorman lämmöntuotannon haastetta ja tässä päädytäänkin lopulta eurooppalaiseen ratkaisuun eli maakaasulla polttamalla tuotetaan sähköä huonolla hyötysuhteella. Lisäksi öljykattilat käyvät yhtä lailla kovilla pakkasilla, kun sähkö ei riitä kattamaan koko lämmöntuotantoa. Skenaarion tarkoitus on lisätä ymmärrystä huippukuorman tuotannon haasteesta, jota ei nykyteknologioilla pystytä voittamaan ilman polttamista. Peruskuorman muuttaminen täysin polttovapaaksi on mahdollista, mutta sekin käy kalliiksi, koska vanha käyttökelpoinen infrastruktuuri jää hyödyntämättä. Lopulta lämmöntuotanto ei voi perustua pelkkään sähköön riskienhallintasyistäkään.

” – ja sitten se (polttaminen) on aina vaihtoehto sille sähkön käytölle, jos sähköverkko rupeaa kaatumaan ja muutenkaan kaupunkien lämmittäminen ei voi olla sen sähköjärjestelmän varassa, että siellä pitää joku varajuttu olla, koska se sähkön black out on niin nopea liikkeistään verrattuna vaikka kaukolämpöön, joka veden välityksellä vähän hitaammin siirtyy siellä, niin sitten jos tulee tällöinen black out, niin se ei voi ihan olla sen varassa sitten. ” Jukka Joronen

Skenaarion X ilmastovaikutukset jäävät olemattomiksi uuden infran rakentamisen ja lopulta fossiilisten polttamisen myötä. Ilmastovaikutuksia saisi vähennettyä, jos uusiutuvaa sähköä olisi tarjolla joka hetki eli jotain muuta kuin tuulisähköä.

” Uusiutuvan sähköntuotannon lisääminen olisi se, mikä sitä (ilmastovaikutusta) merkittävästi kasvattaisi ja ei vaan siis tuulivoiman vaan semmoisen säätyvän uusiutuvan sähköntuotannon lisääminen, niin sittenhän se sähkönkäyttö lämmityksessä olisi puhtaampaa. Nykyisillä suunnitelmilla, jossa on todella paljon sitä tuulivoiman tuotantoa, mutta vähemmän sitä säätyvää uusiutuvaa, niin sitten se todellisuus ei olekaan niin puhdas. ” Pinja Salhoja

Skenaariossa X öljyn huoltovarmuusvarasto muutettaisiin muutaman päivän tarvetta vastaavaksi lämpövarastoksi Lielahden lämpövarastojen lisäksi. Nämä mahdollistavat omalta osaltaan kulutushuippujen tasaamisessa. Skenaarioissa todetaan, että Tampereelle ei kannata rakentaa Vantaan Energian kaltaista lämmön kausivarastoa liian suurten kustannusten takia. Vantaalla on tuotantorakenteessa jätteenpolttua niin paljon, että kesäaikaan lämmöt menisivät hukkaan ja siksi siellä kausivarasto on houkuttelevampi vaihtoehto kuin Tampereella. Myös investointituet ovat voineet vaikuttaa merkittävästi investointipäätökseen.

” No siis en tietenkään tiedä tarkkaan miten he [Vantaan Energia] ovat sen [lämmön kausivaraston] kannattavuuden laskeneet, mutta spekuloin, että yksi syy voisi olla se, että heillä on sitä jätteenpolttua niin paljon enemmän kuin meillä, mikä tarkoittaa, että heillä on siis paljon enemmän kuin meillä sellaista ympäri vuoden saatavilla olevaa halpaa energiaa. – eli sitä jätettä ajetaan ympäri vuoden, mutta kesällä sille on tosi vähän kysyntää, niin on siinä mielessä kannattavampaa, että sitä jätteenpolton lämpöä sitten voisi laittaa sinne varastoon ja sitten se varaston koko vaan on oltava tosi iso, koska se jätteenpolton määrä on tosi iso. Tää on varmasti yksi syy, kun meillä sitten taas sitä [lämmön kausivaraston] kannattavuutta lasketaan silleen, että me täytettäisiin sitä kesällä jollain muulla tuotantomuodolla kuin jätteellä niin se kannattavuus ei ole läheskään yhtä sama. – ja tiettyhän se sai aika paljon myös sitä investointitukea. ” Pinja Salhoja

Skenaarion X kustannukset ovat haastavat ja tämän tyyppinen investointi olisi vaikeasti perusteltavissa. EU regulaatio tai muu poliittinen ohjaus olisi ainoita asioita, jotka voisi viedä tulevaisuutta tähän suuntaan ja tarkalleen ottaen kevythybrideihin panostaminen.

” Jollain regulaatiolla se [skenaario X] sitten toteutuisi, että vaihtoehdot tulisi sähköön nähden vaan niin kalliiksi, että rakennetaan lisää ja lisää vaan sähkökattiloita, niin sitä kautta siellä lopulta ei ole sitten mitään, että otetaan noi muut voimalaitokset sitten vaan pois käytöstä. ” Jukka Joronen

” Mihin meidän asiakkaita ohjataan, niin tietenkin vaikuttaa myös sitä kautta, että jos sieltä EU ohjauksen, esimerkiksi siinä X skenaariossa meillä oli hyvin suuri osa niitä itse kevythybrideitä, jotka oli näitä niin kun talokohtaisia ratkaisuja, joita me ohjataan niin se on niin kun yks hyvin vahva mahdollinen kehityssuunta, että jos sellaiseen vielä enemmän olisi sitten ohjausta, mitä nyt jo vähän tuntuu olevan niin, että jos olisi vielä enemmän, niin sitten varmasti se kevythybridien kautta se X skenaario sitten olisi sinne suunta. ” Pinja Salhoja

Skenaario BECCS perustuu biomassan polttamiseen ja hiilidioksidin talteenottoon Nais-tenlahden voimalaitoksessa. Skenaarion X tapaan myös hukkalämmön talteenottoa, sähkökattilakapasiteettia ja kevythybridejä lisätään. Skenaario BECCS on riskienhallinnan kannalta turvallisempi vaihtoehto, koska polttamalla tuotettu peruskuorma ja sähköllä tuotettu peruskuorma jakaantuu puoliksi. Lisäksi kulutushuippuja varten on edelleen fossiiliset laitokset varalla ja niitä voidaan käyttää myös bioöljyllä tai biometaanilla suoraan kaukolämmöksi hyvällä hyötysuhteella.

Kustannusvaikutukset ovat myös skenaariossa BECCS haastavat, mutta niiden ratkaisuun on olemassa jo hahmotelma. Koska skenaario perustuu hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin, tämä prosessi pitäisi saada kannattavaksi. Tähän ratkaisuna olisi CDR-sertifikaatit.

” Nää CDR:t on just näitä sertifikaatteja, että on hiilen removal sertifikaatti ja se on todella arvokas tällä hetkellä ja niille yrityksillä on kysyntää. – esimerkiksi Microsoft on semmoinen toimija, jota on käytetty mallina monessa, että sen firman avulla on käynnistetty näitä BECCS-investointeja. Esimerkiksi Tanskassa ne on myynyt pitkällä sopparilla ne ja sitten niiden sertifikaattien kautta Microsoft sitten pystyy poistamaan kaikki päästöt mitä he on koko toimintansa aikana aiheuttanut.

– ja sillain se meidänkin BECCS-projekti lähtisi liikkeelle, että me löydetään joku tällainen kumppani, jonka kanssa me sitten muodostetaan vaikka 10 vuoden off take -sopimus niistä removaleista ja sitten sitä vastaan meidän riski on hallittu, että siitä tietyistä määristä tavarasta on jo myyty tietyllä hinnalla, jolloin me tiedetään, että me saadaan se investointi ja sen pääomakustannukset hallittua. Täytyy tavallaan saada semmoinen likviditeetti ja semmoinen selkeä ja läpinäkyvä arvopaperi ja selkeä läpinäkyvä arvonmuodostus sinne.” Jukka Joronen

Toinen mahdollinen tapa kuinka biogeenisen hiilidioksidin talteenotto voitaisiin saada kannattavaksi, olisi liittää se osaksi päästökauppajärjestelmää.

” Joo tällä hetkellä siis, jos otetaan fossiilista hiiltä talteen, niin se kyllä näkyy siellä nykyisessä päästökauppajärjestelmässä just sitä kautta, että sitten siitä tulee se hyöty, jos sen täyttää tietyn sertifiointiviitekehyyksen kautta, sitten se sertifioidaan hiilen poistoksi niin sitten se hyöty tulee siitä kautta, että siitä ei tarvitse maksaa enää päästöoikeuksia, mutta bioenergian osalta, mikä meitä kiinnostaa eli bioenergian hiilidioksidin talteenotto, niin bioenergia ei kuulu EU:n päästökauppajärjestelmään, niin silloinhan tällä hetkellä mitään hyötyä ei ole saatavilla sieltä päästöoikeuksien kautta, mutta tähän on siis komission ohjelmassa 2026 tää koko päästökauppajärjestelmän läpikäynti ja kehitysehdotukset, niin oon ainakin keskusteluista kuullut ja käsittääkseni se on kyllä siellä komissiossakin ihan suoraan sanottu, että ne tulee käsittelemään hiilenpoistojen viemistä osaksi tätä päästökauppajärjestelmää, mutta se jää nyt sitten vielä nähtäväksi. Se on nyt sitten parin vuoden päästä siellä ohjelmassa tulossa niin katsotaan miten menee.”

Pinja Salhoja

Toteutuessaan skenaarion ilmastovaikutukset olisivat potentiaaliset ja ennen kaikkea tämä kannustaisi hakemaan ratkaisuja kustannushaasteisiin.

” Ja se suurin mun mielestä sisältö siinä esimerkiksi BECCS-skenaariossa on se, että siitä käy ilmi, että mikäli tää energiatalous saadaan siinä kohtaa BECCS:lle parhaiten toimimaan ja parhaiten arvoa sen teknologian kautta, niin se

potentiaali on kuitenkin yli 300 000 tonnia kaapata vuosittain sitä hiilidioksidia ilmasta. ” Jukka Joronen

Skenaarion ilmastovaikutukset perustuvat hiilidioksidin lopulliseen varastointiin, mutta vetyteollisuus mahdollistaisi myös Naistenlahden hiilidioksidien hyödyntämisen esimerkiksi metaanin valmistuksessa Nordic Ren-Gasin tapaan. Tämä voisi olla myös mahdollinen kehityssuunta, mikäli varastointi osoittautuisi haastavaksi tai sen ratkaisemisessa kestäisi pidemmän aikaa.

” Joo no kyllähän se CCS- ja CCU-regulaatio on ihan alkutekijöissään, että kun se selkiytyy niin varmaan monet asiat selkiytyy. Mutta kyllä se suunta on meillä nyt tässä kohtaa strategisesti se ykkössuunta, että se on monipuolinen ja siinä on paljon vahvuuksia, se bioenergia, sitten se hiilidioksidin talteenotto, niin siellä on justiinsa tätä kaupunki integraatio potentiaalia tosi paljon ja sitten tämmöistä vetytalousjohdannaisuutta tosi paljon, että nähdään se justiinsa ihan strategisena suuntana, että biogeeninen hiilidioksidi on sen vedyn toinen puoli siinä sektori-integraatiossa, niin se on se meidän suunta tällä hetkellä ollut, että odotellaan tässä, että se kypsyy se keissi. Se mahdollistaa tekemään sitten niitä päätöksiä, mutta kyllä siinä varmaan vähän aikaa vielä menee. Mutta ei se kaukanakaan ole.

” Jukka Joronen

4.5 EU regulaation vaikutukset metsäenergian käyttöön

EU:n regulaatiossa suoraan metsäenergiaan kohdistuu RED III direktiivi, välillisesti käyttöön vaikuttaa päästökauppa ja energiatehokkuusdirektiivi. Lisäksi LULUCF vaikuttaa metsien käytön hiilinieluvaatimuksiin. EU pyrkii kaiken kaikkiaan vaikuttamaan metsien ja puun käyttöön kestävyysyistä.

” Siellä on tietyt näkemykset, että mikä on kestävää ja mikä ei ole. Sieltähän se sitten muodostuu, että mitä ohjauskeinoja otetaan käyttöön. ” Pinja Salhoja

Pohjoismaisen kaukolämmöntuotannon näkökulmasta direktiivit ovat haastavia, koska niissä keskitytään enimmäkseen EU:n sähköistymiseen ja vetytaluuteen eikä oteta

tarpeeksi huomioon, että polttamalla tuotetun sähkön hukkalämpöjen talteenotto parantaa merkittävästi hyötysuhdetta. Kun Euroopassa ei yleisesti ole kaukolämpöverkostoa, hukkalämmöt päästetään taivaalle, niin tästä syystä polttamista ei samalla tavalla arvosteta kuin Pohjoismaissa.

” Ei kauhean hyvin kyllä valitettavasti [kaukolämpöä arvosteta]. Se on kyllä niin, että kaukolämpöä ei paljoa muilla muualla tuoteta niin fokus valitettavasti on sähköntuotannossa ja juurikin sähkön tuotannossa, jossa ei vahingossakaan hukkalämpöjä sitten oteta talteen mihinkään, niin välillä on tullut kyllä sieltä semmoisia ajatuksia ilmoille, joissa on hyvin selkeätä, että ei ole kaukolämpöä kyllä tarkasteltu osana sitä kokonaisuutta. ” Pinja Salhoja

EU:n poliittinen päätöksenteko on sekavaa ja viestintä ristiriitaista. Tämä tekee investointiympäristöstä todella haastavaa. Investointeja tehdessä pitää laskelmiin ottaa riskit ja veroluontoiset maksut mukaan, vaikka näistä ei olisikaan vielä olemassa EU:n linjausta. Tästä syystä investointilaskelmissa metsäenergian polttamisen kannattavuus voi jäädä heikoksi ja investointi jää tätä kautta tekemättä.

” EU politiikassa on hyvin vaikea välillä seurata, että mitä mieltä siellä ollaan, mitä mieltä siellä ollaan kaukolämmöstä, mitä mieltä siellä ollaan bioenergiasta. Kaukolämpö on meidän ydinliiketoiminta ja bioenergia on meidän päätuotantomuoto tällä hetkellä, niin kyllähän se epävarmuus vaikuttaa, mutta meillä on niin kun siinä mielessä investoinnit jo tehty eli jos me nyt mietittäisiin vaikka, että pitäisikö investoida uuteen hakelämpölaitokseen, niin sitten tää tämmöinen nykyinen poliittinen ympäristö ja epävarmuus mitä tuolta EU:sta ja Suomen keskusteluista tulee, niin varmasti vaikuttaisi siihen, että miten me tarkasteltaisiin tomoisten laitosten kannattavuutta tulevaisuudessa. Eli varmasti, jos nyt mietittäisiin jotain investointeja, niin sinne otettaisiin huomioon kyllä, että entä jos tulee veroja. Entä jos se menee päästökauppaan. Entä jos näin ja näin ja silloin sen kannattavuus ei enää näyttäisikään niin hyvältä. ” Pinja Salhoja

Tampereen Energialla edistetään polttoon perustumattomia investointeja, koska ne ovat sähköjärjestelmän kautta kannattavia, eli ei bioenergiaan liittyvän regulaation takia.

Metsäenergiaan liittyen Naistenlahti 3 on uusi bioenergiaa käyttävä laitos, joten uusia bioenergiainvestointeja hiilidioksidin talteenoton lisäksi ei juuri nyt tarvitse miettiä.

*” – mutta meillä nyt on jo nää investoinnit tehty. Meillä on jo iso bioenergia Nais-
tenlahti, joka meille tuli nyt sitten ja josta investointipäätös tehtiin jo aikaa sitten
ja se nyt on tuotannossa niin investointipäätöksiin EU regulaatio ja sen epävar-
muudet ei tällä hetkellä kyllä niin vahvasti vaikuta, että kyllä meillä noita polttoon
perustumattomia tuotantomuotoja edistetään, mutta edistetään sen takia, koska
ne on sähköjärjestelmän kautta kannattavia eli ei niin kun sen takia, että regulaa-
tiosta olisi mahdollisesti tulossa jotain. – mutta sitten tää hiilidioksidin talteen-
otto, se on tietty sitten vielä semmoinen mikä on hyvin EU regulaatioherkkä, mutta
se on sitten pidemmän aikavälin, että me ei olla nyt just tällä hetkellä tekemässä
investointipäätöstä, johon sitten tää voisi vaikuttaa vaan me tällä hetkellä ollaan
enemmänkin sellaisessa vaiheessa, että me tutkitaan ja selvitetään ja mietitään
miten se voitaisiin tehdä mahdolliseksi. ” Pinja Salhoja*

RED III direktiivi vaikuttaa metsäenergian käyttöön kestävyyskriteeristöjen kautta, mutta käsittely on vielä kesken, millaisia vaikutuksia tällä on kaukolämmöntuotantoon Suomessa. Toisaalta direktiivi määrittelee, millaisista kohteista puu on peräisin ja kuinka järeää poltettava puu saisi olla, mutta toisaalta kaskadikäyttöperiaatteella pyritään vaikuttamaan siihen, että puuta jalostettaisiin ja kierrätettäisiin ennen polttamista.

*” Se [RED III] vaikuttaa bioenergian kestävyyskriteeristöjen kautta ja niitä kes-
tävyysjärjestelmiä, mitä meidän on pitänyt noille voimalaitoksille hakea, niin se-
hän on tullut sieltä direktiivin uusimisen tai päivittämisen myötä. – Siihen [kas-
kadikäyttöperiaatteeseen] on hyvin vaikea sanoa, että mitä sieltä on luvassa,
koska keskusteluthan parlamentin, neuvoston ja komission välillä on hyvin eriä-
viä, että lopulliset päätöksethän pitää trilogineuvottelujen läpi mennä, että ne tu-
lee sitten toimeenpantavaksi ja tuntuu, että se keskustelu on hyvin kahtiajakautu-
nutta EU:n eri toimielimissä eli tuntuu, että ne lausunnot, mitä vaikka parlamen-
tista saattaa tulla, ne on hyvin erilaisia mitä komission ohjelmassa sitten lopulta
on. Paha sanoo, koska sieltä välillä voi tulla vähän erikoisia lausuntoja, jotka
sitten ei kuitenkaan mene läpi. ” Pinja Salhoja*

Metsäenergia ei tällä hetkellä ole päästökaupan piirissä, mutta RED III direktiivin kautta saattaa yksilöityjä metsäenergian jakeita sinne joutua. Tässä tapauksessa niiden käyttöä pyrittäisiin korvaamaan toisilla tuotantomuodoilla.

” Se että tulisiko bioenergia kokonaisuudessaan päästökaupan piiriin nykyisten EU tavoitteiden ja keskustelujen pohjalta niin en näe sitä todennäköisenä. Mutta se että tietyt jakeet tulisi, on mahdollista. Siis sanon, että on todennäköistä, että joku ohjauskeino tulee. Mun on tosi vaikea sanoa, että olisiko se ohjauskeino päästökaupan piiriin kuuluminen vai päästön määrän verottaminen vai joku muu. – No se [päästökaupan piirin joutuminen] tulisi siis varmasti vaikuttamaan siihen, että meillä biopolttolaitoksia ajettaisiin vähemmän, että tietenkin kaikki riippuu vähän laajemman tason polttoaineiden markkinatilanteesta, että mitä polttoaineita meillä on saatavilla. – Jos tietyt jakeet, joita me tällä hetkellä käytetään jonkin verran menisi päästökaupan piiriin, niin sitten tulisi muita tuotantomuotoja enemmän ajoin, että esimerkiksi toi hakelämpölaitos ja Naistenlahden laitos, mitä meillä tällä hetkellä ajetaan aika lailla ympäri vuoden, niin me pystyttäisiin niitä ihan hyvin korvaan muillakin tuotantomuodoilla tällä hetkellä ja tulevaisuudessa vielä paremmin. ” Pinja Salhoja

Mikäli metsäenergia olisi päästökaupan piirissä, mutta polttamisesta otettaisiin hiilidioksidi talteen, näistä ei todennäköisesti tarvitsisi maksaa päästöoikeuksia.

” Eli ihan samalla lailla, kun fossiilisesta, että jos laitoksen tietyt polttoaineet kuuluu siihen päästökaupan piiriin ja sen hiilidioksidi otetaan talteen, niin eihän me sitten siitä päästöoikeuksia makseta. ” Pinja Salhoja

Jos metsäenergian käytölle tulisi jonkinasteinen vero, myös tuotantomuodolla voisi olla tässä kohtaa väliä. EU kannustaa CHP-tuotantoon pelkän lämmöntuotannon sijasta ja voisi helpottaa mahdollisen veronalaisen metsäenergian hyödyntämistä.

” Jos se menisi verotukseen, niin en näe mahdottomana, että siellä sitten olisi jotain kevennyksiä siihen, että mitä sillä sitten tuotetaan, että jotain semmoista

voi tulla, että on CHP:lle vaikka alhaisempi vero, kun lämmön tuotannolle, kuten on tuolla kaasun puolella tällä hetkellä. ” Pinja Salhoja

Energiatehokkuusdirektiivi vaikuttaa metsäenergian käyttöön välillisesti sähköistymistavoitteiden ja rakennusten energiatehokkuuden kautta. Jos erilaiset ohjauskeinot lisää tätä kautta polttoon perustumatonta lämmitystä, se on samalla pois metsäenergian käytöstä.

” – ehkä niin kun enemmän se [energiatehokkuusdirektiivi] vaikuttaa ylipäättään kaukolämmön rooliin ja siihen, että sekin kyllä kannustaa polttoon perustumattomiin sähköpohjaisiin ratkaisuihin eli sitä kautta, niin en sano, että suoranaisesti vaikuttaa metsäpolttoaineiden rooliin, mutta voi vaikuttaa sillä tavalla, että kaukolämmön tuotannossa sähköpohjaisten muotojen yleistyminen olisi näissä rakennuskohtaisissa ratkaisuissa eli ehkä sitä kautta. ” Pinja Salhoja

EU:n sähköistymistavoitteet suosivat suoria sähkölämmitysmuotoja kaukolämmöntuotannon sijasta, joka saattaa tehdä maalämmöstä houkuttelevamman vaihtoehdon asiakkaille.

” Se ylipäättään tuntuu olevan monessa EU keskustelussa näkyvissä ja Suomessa-kin tuntuu olevan semmoinen tietynlainen ajatus, että maalämpö olisi päästöttömämpää kuin kaukolämpö, jolloin sitten on mahdollista, että tulevaisuudessa kanssa siihen kannustavia ohjauskeinoja sitten tulisi enemmänkin, mutta tällä hetkellä ei nyt vielä onneksi kauhean vahvasti, mutta kuitenkin. ” Pinja Salhoja

Metsäenergian käyttö vaikuttaa nykyisellään positiivisesti LULUCF:n hiilinielutavoitteisiin. Mikäli kuitenkin käyttömäärät tästä kasvaisivat, vaikutukset voisivat olla negatiivisia. Toisaalta pelkän hiilinielun tarkasteleminen ei ole mielekäästä, koska metsäenergian käytöllä on korvattu fossiilisia polttoaineita, jolloin nettopäästövähennys on kaiken kaikkiaan parantunut.

” Siinä on varmasti monta näkökulmaa, että toisaalta talousmetsät kasvavat, metsät sitoo nopeammin hiiltä, jolloin sitten tällaiset metsien hoitotoimenpiteet on hiilensidonnan kannalta monesti ihan hyvä ratkaisu ja sitä kautta sitten meille

muodostuu sitä polttoainetta, tätä energiapuuta eli siinä mielessä niin kun hiilinielua tukeva toimi, mutta sitten tietenkin jos se kasvaisi jotenkin merkittävästi nyt tämä energian rooli siellä metsien käytössä, niin sittenhän se varmasti olisi negatiivinen vaikutus – mutta sitten toisaalta pitäisi katsoa nettopäästövähennyksiä eikä erillään vain metsiä ja erillään energiantuotantoa, että kyllähän niin kun sitten kokonaisuutena ollaan pystytty fossiilisista polttoaineista sitten suuressa mittakaavassa luopumaan, kun on pystytty lisäämään bioenergiaa. Eli kyllä sitä kokonaisuutena pitäisi mielestäni tarkastella. ” Pinja Salhoja

Haastatteluissa nousi lisäksi hiilidioksidin hyödyntämiseen liittyvä direktiivi RFNBO eli *Renewable fuels of non-biological origin*, joka rajoittaa liikennepolttoaineiden uusiutuvaa statusta, jos hiilidioksidi on peräisin raaka-aineesta, joka on päästökaupan piirissä. Lisäksi vedyntuotannossa käytettävä sähkö pitää olla peräisin tuulivoimasta. Tämä taas luo haasteen vedyntuotannolle sekä tekee siitä ja sen hukkalämmöistä myös hyvin vaihtelevaa.

” – eli sitä kautta on myös riskiä sille, että jos bioenergia kuuluu samalla lailla sitten joskus tulevaisuudessa päästökauppajärjestelmään ja tää RFNBO pitää sitten vielä sisällään tämän saman kirjauksen siitä, että jos kuuluu päästökauppajärjestelmään niin se ei olekaan uusiutuvaa synteettistä polttoainetta, niin kyllähän se voi siihen kannattavuuteen vaikuttaa myös biomassasta tuotetun hiilidioksidin ja ei-jätteistä tuotetun hiilidioksidin osalta ihan yhtä lailla. – RFNBO direktiivissä synteettisistä polttoaineista, niin siellähän on semmoinen aika tiukka vaatimus, että se pitää tuntitasolla mätsätä tuulivoiman tuotantoon, että sitä voi sanoa uusiutuvaksi, niin kyllä niillä on vahva ajatus, että ne [Nordic Ren-Gas] sitä tuntitasolla sitten säätää. ” Pinja Salhoja

Toisaalta isot synteettisten polttoaineiden myyntisopimukset voivat tehdä sen, että tuulivoimaan mätsäämisestä luovutaan ja tuotetaan vetyä kaiken aikaa.

” Mun on vaikea sanoa muiden projektien suhteen, koska mä myös näen sen tulevaisuuden vaihtoehtona, että se ei säädy, koska tehdään isot investoinnit ja isot myyntisopimukset siitä tuotteesta, mikä sitten saattaakin ohjata vahvemmin

siihen, että ajetaan täysiä koko ajan. Paitsi isoimmissa huipuissa pari kertaa vuodessa ajetaan laitos alas, koska sähkön hinta, mutta kyllä mä näen, että sekin on mahdollista, että jotkut laitokset on sitoutuneita tiettyyn tuotantomäärään ja sitten niiden täytyykin se koko tuotantomäärä tuottaa ja sitten ne ei säädykään, niin sekin on mahdollista, mutta Nordic Ren-Gas on meille sanonut, että se säätyy kyllä aika ketterästi. Toteuma sitten näyttää kun se käynnistyy, että mitä sieltä tulee pihalle.” Pinja Salhoja

EU:n suunnasta kertovat merkittävät EU:n tuet kohdistuvat tällä hetkellä teollisuuden sähköistymiseen ja energia-alalla hiilidioksidin talteenottoon ja vetyyn. Sähköistyvään kaukolämmöntuotantoon ei sen sijaan tukia jaeta. Vaikka EU:ssa on mielipiteitä polton lopettamisesta, niin esimerkiksi biogeenisen hiilen talteenottoon tukea jaetaan ja tämä saattaa jopa vaikuttaa metsäenergian polttoon suhtautumiseen.

” Kyllä ne isot innovation fund rahat sun muut tuolta EU:sta, niin ne on ollut sitten kyllä joko teollisuuden sähköistymiseen tai sitten energia-alalla tähän hiilidioksidin talteenottoon tai vetyyn niin ne tällä hetkellä näyttäisi tältä. – Siitä [hiilidioksidin talteenotosta] on vaihtelevia mielipiteitä, kuten tuntuu monessa energiaan liittyvässä keskustelussa olevan, että kyllähän on semmoistakin näkemystä, että ei sitä hiilidioksidin talteenottoa, kyllä se polttaminen sitten pitäisi loppua, mutta varmasti joidenkin mielipiteisiin se vaikuttaa, että se on ihan ok, mutta muu polttaminen pois ja näin. – kyllähän hyvin isot analyysitalot sitten sen perään toittotaa, että sitä [hiilidioksidin talteenottoa] tarvitaan niin kyllä mekin ollaan toittotettu, että sitä tarvitaan ilmastotavoitteisiin pääsemiseksi, niin on se mun mielestä vähän erikoista, että sitten tietty poliittinen mielipide voi olla myös, että polttaminen on pahasta, joka tapauksessa.” Pinja Salhoja

4.6 Metsäenergian käytön haasteet ja mahdollisuudet

Metsäenergiaan liittyen EU:lla on huoli biodiversiteetistä, mistä tulee kestävyyskriteerin mukaiset vaatimukset. Ympäristöjärjestöt ovat huolissaan tämän lisäksi metsien käytön vaikutuksesta ilmastonmuutokseen. Oikeilla toimilla nämä molemmat haasteet ovat metsäenergian osalta ratkaistavissa ja esimerkiksi puun polton kieltämisellä vain lisättäisiin

fossiilisten polttoaineiden käyttöä, kiihdytettäisiin ilmastonmuutosta ja aiheutettaisiin merkittävät kustannusvaikutukset.

” Jos ajattelee ihan ympäristöjärjestön näkökulmasta, niin jos minä haluaisin maksimoida ympäristön positiiviset vaikutukset niin mä lähtisin optimoimaan sitä näiden kahden muuttujan suhteen. Siellä on sekä se biodiversiteetti että se ilmastonmuutos ja silloin jos molempien suhteen lähdetään optimoimaan niin se metsän käyttöhan ei ole nolla vaan sitä kannattaa käyttää sen takia, että kaupunkien lämmittämistä kun ajatellaan ja just sitä BECCS:iä, niin se on se tehokkain tapa ensinnäkin kaapata sitä hiilidioksidia ilmakehästä. Ja sitten jos kaupunkien lämmitys tehdään vaikka sähköllä, joka on se ainoa vaihtoehto siinä ja sitten kun se on tuulivoimaa ja sitten tulee tää tehonhallintaongelma, niin se aiheuttaa tosi nopeasti fossiilisia päästöjä, koska me joudutaan käyttämään kaasuturbiineja sähkötehon tuottamiseen. Elikkä kaupungin lämmittäminen, jos ei siellä ole biomassaa tukena vakauttamassa sitä, niin se aiheuttaa tosi helposti fossiilisia päästöjä ja sähköjärjestelmän kaatumisen. – Se että uusiutuvan tuotantoa kierretään, rakentaa todella rajut isot tehonhallintarakenteet, uudet kaikki kaasuturbiinit, uudet siirtolinjat ja sähkövarastot, jotka on 40 kertaa kalliimpia tosissaan mitä ne lämpövarastot on. Niitä tarvittaisiin ihan älyttömästi, joka taloon sitten jotain sähköakkuja ja kysyntäjoustoa erikseen, niin se on ilmastonmuutostaistelun näkökulmasta resurssien hukkaamista ” Jukka Joronen

Jos sähkön siirtoyhteyksiä Keski-Eurooppaan parannetaan, Suomessa tuulivoimatuotantoa lisätään ja metsäenergialla tuotetaan kaukolämpöä ympäristöystävällisesti, niin tuuli-sähköä voidaan viedä Eurooppaan ja siellä vähennetään tällä tavoin fossiilista sähköntuotantoa. Sähköistämällä Suomen kaukolämmöntuotanto, hukataan tämä mahdollisuus ja nettopäästövähennelmä koko Eurooppaa ajatellen on heikompi.

” Jos me täällä käytetään biomassaa, niin tietysti se on erittäin kustannustehokasta ja näin, mutta sitten se vapauttaa myös tätä sähköä siihen, että voidaan sitten sillä puhtaalla pohjoismaisella sähköllä myös monissa tilanteissa vähentää sitten sitä fossiilisen polttoaineen käyttöä vaikka Saksassa. Ilmaston näkökulmasta EU on kuitenkin yhtä markkina-alueetta, täällä on yhteiset nää energian

sisämarkkinat ja mun mielestä pitää ajatella myöskin niin, että ne ilmastopäästöt ei maiden rajoja kunnioita, että se tehokkuus tulee sitä kautta, että saadaan vaikka tällä EU:n alueella niitä nettopäästövähennyksiä myös sitä kautta. ” Jukka Joronen

Metsäenergian käyttö kaukolämmöntuotannossa kannattaa todennäköisesti niin kauan, kun Euroopassa poltetaan jotain sähköntuotantoa varten. Tähän ei tarvita edes hiilidioksidin talteenottoa. Syitä polttamiselle on ainakin tehonhallinta, kaukolämmöntuotannon hyötysuhde verrattuna sähköntuotantoon ja uusiutuvan bioenergian käyttö fossiilisen sijasta.

” Kun ajatellaan kuinka paljon poltetaan vaikka Keski-Euroopassa sitä maakaasua ja hiiltä, se on ihan alkutekijöissään se fossiilisen polttamisen pienentäminen, päinvastoin sinne rakennetaan lisää sitä tehopohjaista kaasuturbiinia. Niin kauan kyllä lämmitysjärjestelmässä kannattaa ilman muuta polttaa, koska siellä on 90 prosenttia hyötysuhde ja sitten taas sähköjärjestelmän puolella se on sitten parhaimmillaan se 40 prosenttia. – Sitten kun sähköjärjestelmässä ei ole yhtäkään polttolaitosta, että siellä on tehonhallinta ratkaistu jollain muulla Euroopan laajuisesti, niin sitten mä luulisin, että sitten on joku teknologia, että ei kannata enää lämmitysjärjestelmässäkään polttaa. ” Jukka Joronen

Metsäenergian saatavuudessa on ollut haasteita, mutta tulevaisuudessa tämä riski pienenee käytön vähentyessä uusien tuotantomuotojen kautta.

” Pitkälle tulevaisuuteen kun katsotaan, niin sitten taas kun meidän toi tuotantorakenne on nyt tässä vähän muuttumassa näiden uusien investointien myötä, niin sittenhän nettona meidän puunpolto on vähenemässä, jolloin sitten se riski taas pienenee, silleen että kun on näitä saatavuusongelmia sun muita niin ei ole sitten enää niin isot riskit. ” Pinja Salhoja

Metsäenergian heikkouksia ovat biodiversiteettiin ja hiilinieluihin liittyvät huolet ja lisäksi kasvava kustannustaso. Hankintaa voisi ohjata siihen suuntaan, että heikkouksille voitaisiin tehdä jotain, mutta tämä todennäköisesti kasvattaisi hankinnan kustannuksia lisää.

” Heikkouksina nyt on kasvava huoli tietenkin metsien tilasta Suomessa. Eli jos on paljon hyötykäyttöä metsissä, niin kyllä meidän asiakkaitten suunnalta on esitetty huolia, että onko biodiversiteetti, onko hiilinielut huomioitu riittäväällä tavalla, niin se nyt huolena, että kun me toimitaan meidän asiakkaiden vaatimalla tarkkuudella, niin se on tietty sitten semmoinen mahdollinen, kasvava kustannustaso on sitten toinen. – Se on siitä polttoaineen hankintastrategiasta kyllä vahvasti kiinni, että miten [biodiversiteettiä ja hiilinieluja parannettaisiin]. Ja myös siitä, että kuinka paljon me ollaan valmiita maksamaan. Kyllähän just se, että mikä meidän toimintaa enemmän ohjaa. Että me saadaan polttoaineita kustannustehokkaasti vai että me saadaan niitä tietyiltä alueilta tai että me saadaan niitä just tietyllä tavalla kerättyinä, jolloin sitten se kustannus voisi vaikka olla korkeampi, mutta sitten vaikutus biodiversiteettiin pienempi, että se on semmoinen iso optimointikysymys kyllä tossa polttoaineen hankintastrategiassa ja sitä kautta tiettyjen prioriteettien muuttaminen sitä varmasti muuttaisi meilläkin. ” Pinja Salhoja

Toisaalta kasvavat kustannukset eivät kokonaan metsäenergian käyttöä ratkaise eli käyttämättä jäävä infra voisi tulla vielä kalliimmaksi.

” Nyt kun on uuteen isoon biopolttoainetta käyttävään laitokseen investoitu, niin kyllä omasta mielestä ajatusmaailma on se, että kyllä se tietyllä tapaa on sitten sitonut myöskin se, että tätä Naistenlahden laitosta tullaan sitten käyttämään, vaikka se puu siitä vielä kallistuisikin. ” Niko Raami

Ongelmallista EU:n poliittisessa ohjauksessa on, että se kohdistuu varastoitavuus- ja hallittavuusominaisuuksiltaan parhaaseen metsäenergiajakeeseen eli karsittuun rankaan.

” Riskinä on se, että se [karsittu ranka] on todennäköisesti ensimmäisiä niistä, joihin ne mahdolliset poliittisten päätösten vaikutukset alkaa koskemaan, että onko se pitkäaikainen sitten se rangan suuri käyttö, niin sitä on hankala ennakoita. ” Niko Raami

Metsäenergian vahvuuksia on säätyvä puhdas tehontuotto ja edelleen on mahdollista parantaa polttamisen hyötysuhdetta kaukolämmöntuotannossa.

” Biopolttoaineiden ja biovoimalaitosten hyöty on se, että ne on käytettävissä silloin kun sitä energiaa tarvitaan, eli se tehon tuotto ja tehon merkitys. Tässä järjestelmän kokonaisuuden ylläpidossa, niin se on se hyöty ja verrattuna toiseen tehon tuottajaan eli meillä maakaasuun, niin tää on kuitenkin puhtaampi ratkaisu. – tää on aika perinteikästä energiantuotantoa teknologian osalta, että tietty laitojen hyötysuhteiden parantaminen on semmoinen, mikä sitten sitä teknologian kehittämistä ja metsäenergian käyttöä, nää tämmöiset lisälämmöntalteenotto ja pesurit sun muut mitä meilläkin on tulossa, lisää vielä. ” Pinja Salhoja

Kesäaikainen puun käyttö vähenee ja lopulta poistuu halvempien tuotantomuotojen myötä, joka muuttaa toimittajien toimitusrytmiä kausiluonteisemmaksi.

” Esimerkiksi justiinse se sähkön hintaprofiili on monesti semmoinen, että kesällä saattaa olla paljon edullista sähköä tarjolla, kun se kulutus on vähäisempää, niin sitten se saattaa siihen suuntaan ohjata, että esimerkiksi niitä sähkökattiloita voitaisiin hyödyntää enemmän. – sen puun kesäkäytön suhteen ajurit kaikki melkein on samansuuntaisia, että se muu tuotanto tulee kesäisin olemaan keskimäärin halvempaa kuin se bioenergian käyttö, jolloinka se väkisinkin ajaa siihen, että jos ei sitä bioenergian käyttöä haluta esimerkiksi kaukolämmön toimitusten turvaamiseksi pitää siellä mukana, niin sitten se tulee sieltä jäämään jollakin aikavälillä pois. Ei nyt tänä kesänä eikä varmaan seuraavana kesänä, mutta nyt niin kun semmoisella keskipitkällä aikavälillä. – mikä asettaa omat haasteensa sitten siihen toimitusketjuun, että se maksimikapasiteetti kumminkin pysyy, että pitää edelleen olla sama määrä kuljetusvälineitä ja hakkureita ja henkilöitä siellä hommissa. ” Niko Raami

Metsäenergian hyvinä puolia kaukolämmöntuotannossa on se, että se tulee teollisuuden tai metsänhoidon sivutuotteina, joille ei olisi muuta käyttöä ja se tukee paikallista työtä.

” Se on kumminkin semmoinen kestävä energianlähde ja iso osa niistä jakeista mitä meillekin tulee, niin ne tulee jonkun muun toiminnan sivuvirtana, joko niin kun selkeimmin tietysti sahanpuru ja kuoret ja muut mitkä tulee sen teollisuuden sivutuotteena, mutta sitten myöskin metsätähdehakkeet tai osittain se pienrankapuukin, niin ne tulee sitten semmoisena metsänhoidon sivutuotteena, taikka kun se tukkipuu kaadetaan niin siinä kumminkin on ne oksat ja latvukset ja muut että se on mielestäni hyvä, kun ainakaan vielä sille tavaralle ei järkevämpää muuta käyttöä ole. – Tietysti se paikallisuus on myöskin iso plussa, että se tulee tästä meilläkin lähialueelta pääasiassa Pirkanmaalta taikka osittain naapurimaakunnasta, mutta niin kun luo sitä työtä ja tekemistä paikallisille toimijoille. ” Niko Raami

Heikkouksia metsäenergialle on hidas tuotantoketju metsästä laitokselle, mikä tekee tuotantoon vastaamisesta haastavaa ja toisaalta metsäenergian tuotantoketjussa on monta vaihetta, mikä tekee siitä kallista.

” Kun energiajärjestelmiltä vaaditaan semmoista joustavuutta ja kykyä reagoida ja optimoida sitä toimintaa niin sitten kun se puun tuotantoketju taas on aika pitkä ja siinä on tiettyjä hitautta tuovia elementtejä, kun se puu ei tule päivässä sieltä metsästä laitokselle vaan että siinä on pitkä viive siinä korjuuketjussa, niin se tuo sen oman haasteensa, mikä sitten vaatii niitä välivaiheita, mitkä sitten taas no luo ne työtä, mutta nostaa sitä kustannusta sitten ylöspäin. ” Niko Raami

Lisäksi puun käyttö on polttoteknisesti haastavaa. Sitä pystytään käyttämään hyvin, mutta monimutkainen polttotekniikka tekee investoinneista kalliita.

” Puhtaasti polttoteknisesti, niin puu on tietyllä tavalla haastava, ne haasteet pystytään kyllä valituilla tekniikoilla voittamaan, että se ei ole sinänsä ongelma, mutta se nostaa sitten taas sitä investointikustannusta ja operointi hankaloituu, vaikka nyt siihen öljyyn tai kaasuun verrattuna, että laitokset monimutkaistuu ja siellä on enemmän muuttuvia tekijöitä sitten sielläkin päässä, kun mennään niihin hankalampiin kiinteisiin jakeisiin. Niin ehkä se hitaus ja sitten se tietynlainen tekninen haastavuus, vaikkakin etenkin se tekninen haastavuus on voitettavissa, niin

se kumminkin tuo sen oman epävarmuutensa siihen toimintaan, että saattaa tulla niitä laiterikkoja ja sitä sun tätä muuta. ” Niko Raami

Pelletillä pystyttäisiin korvaamaan osin huippukuormaa, mutta uusia investointeja huippukuormalaitoksiin on vaikeaa perustella, koska käyttö on niin vähäistä ja raaka-ainekustannukset kalliita.

” Pellettikattiloihin investoimisen haaste on se, että ylipäättänsä noiden huippulämpökeskusten tai niihin investointi ei ole yleensä taloudellisesti kovin mielekästä, koska ne on niin vähän aikaa tuotannossa ja niillä yleensä on korkeat ne muuttuvat kustannukset eli se polttoainekustannus on iso niin sitten se ei niin kun taloudellisessa mielessä tule kannattavaksi. ” Niko Raami

Biogeenisen hiilidioksidin talteenotto kaukolämmöntuotannon yhteydessä on ilmaston kannalta hyvä ratkaisu ja se kannattaa hyödyntää, kun sitä on saatavilla. Liikennepolttoaineiden teko on kaukolämmöntuotannon yhteydessä kannattavampaa kuin ilman kaukolämpöverkostoa, joka kannustaa myös biogeenisen hiilidioksidin käyttöön tässä.

” Silloin kun puhutaan tämmöisestä vetytaloudesta, jonka tuulivoima on yhdistänyt, niin sektorikytkentä on ihan siinä keskiössä, mutta sitten tämmöisessä maissa niinku Suomi, kun on vähän ihmisiä, paljon metsiä ja metsäteollisuutta, niin meillä on mahdollista ratkaista osittain tätä nyt sen biomassan kautta. Ja sitten meillä tulee sitä kautta myös biogeenisiä hiilidioksidin lähteitä, niin se on sektorikytkennässä havaittu, että se vety on se toinen puoli, mutta Suomessa se on heti sitten se biologinen hiilidioksidi, joka on se toinen puoli, kun meillä on näitä lähteitä. ” Jukka Joronen

Metaanin valmistuksella on taas merkittävät hyödyt pelkkään vetyyn nähden, mikä kannustaa hiilidioksidin talteenottoon ja tässä metsäenergia toimisikin olemalla samalla pri-määrinen ja sekundäärinen energialähde.

” Tavallaan kaikki komponentit on kalliimpia koska se vety on niin pieni molekyyli, että täytyy rakentaa uusi kalliimpi infra tilalle, niin paljon parempi ja

tehokkaampi startti on just se, että siellä tehdään sitä synteettistä metaania ja se tiputetaan suoraan siihen olemassa olevaan kaasun infraan. – biomassaa tarvitsee käyttää jonkin verran, sieltä saadaan sitä hiilidioksidia. Sitä kun yhdistetään vetylaitoksella siihen vetyyn, sieltä vedyn tuotannosta tulee se hukkalämpö, niin tavallaan se biomassaprosessi ylläpitää kahta lämmönlähdettä tähän kaupungin lämmittämiseen, että siellä on sekä se primääri biomassan polttoprosessi ja sitten on sekundäärisesti se vetyprosessin hukkalämpö, jotka molemmat sitten kohdistetaan tähän kaupungin lämmittämiseen. Ne on äärettömän ympäristöystävällisiä tapoja lämmittämiseen. ” Jukka Joronen

Vastaavasti biogeenisen hiilidioksidin talteenotto ja varastointi olisi ilmastonmuutoksen ehkäisemisen kannalta IPCC:n kannalta välttämätöntä.

” Siitä on ihan näissä IPCC skenaarioissa niin, että kaikki skenaariot edellyttää sitä teknistä hiilidioksidin nielua ja tää bioenergia CCS on yksi tehokkaimpia ja laadukkaimpia hiilidioksidin teknisiä poistoja, mitä teknologioita on tällä hetkellä tiedossa niin tavallaan se on sitten ehkä vielä seuraava tällöinen lupaava potentiaalinen asia, mikä liittyy tähän meidän kokonaisuuteen. ” Jukka Joronen

5 TUTKIMUKSEN ANALYYSI JA JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1 Analyysi

Haastatteluiden perusteella kaukolämmöntuotanto on sähköistymässä kovaa vauhtia. Taustalla tähän ajaa tuulivoimatuotannon voimakas lisääminen Pohjoismaissa, mikä taas luo merkittävää sähkön hinnan ja saatavuuden vaihtelua. Teknologioista tähän muutokseen vastaavat sähkökattilat, jotka toimivat vain, kun sähkö on halpaa. Huang ym. (2018) mukaan sähkökattilat sopivat vaihtelevan tuulisähkön hyödyntämiseen ja tätä kautta soveltuvat hyvin yhteen muun tuotannon kanssa. Haastatteluiden mukaan koko vuoden tarkastelussa sähkön hintaprofiili on sellainen, että kesällä sähkö on halvempaa kuin talvella, johtuen kesän pienemmästä sähkön kysynnästä. Kustannustehokkuussyistä kesällä kannattaa käyttää sähkökattiloita kaukolämmön tuottamisessa, mikä on suoraan pois polttamalla tuotetusta kaukolämmöstä. Talvella taas kysyntä sekä sähkölle että kaukolämmölle tekee piikin samaan aikaan ja sähkökattiloiden käyttö on täysin tuulen varassa. Toimitusvarmuussyistä tuotantorakenteessa pitää olla mukana myös säätyvää tuotantoa, joka tuotetaan metsäenergialla.

Haastatteluiden mukaan Tampereella on tuotettu metsäenergialla peruskuormaa Naistenlahden CHP-kattilalla sekä Hervannan hakelämpölaitoksessa. Naistenlahti 3 on juuri valmistunut arvokas laitosinvestointi, jolla voidaan polttaa hyvin monen laatuista energiajacetta. Tämä parantaa metsäenergian käytön mahdollisuuksia Tampereella, koska uudella laitoksella on laskennallisesti pitkä käyttöaika. Naistenlahden kaltainen laitos toimii vain peruskuormana, koska sitä ei ajata alas ja nosteta ylös kesken tuotantokauden sään vaihteluiden takia. Toisaalta CHP ja reduktio mahdollistaa monipuolisen energiantuotannon, joka toimii hyvin yhteen juuri sähkökattiloiden kanssa. Holmbergin ja Ahtilan (2014) mukaan reduktio tekee CHP:n käytöstä joustavaa ja 90 % hyötysuhde sähkön ja lämmön yhteistuotannossa vähentää raaka-aineen tarvetta jopa 25 % erillistuotantoon verrattuna.

Mäkelän ja Tuunasen (2015, 32–33) mukaan peruskuormaa tukemaan tarvitaan huippukuormalaitoksia, joiden käyttöönottojärjestys vaihtelee kustannusten ja käyttöönoton nopeuden mukaan. Haastatteluiden mukaan Sarankulman pellettikattila on toiminut

keskikuorman tuotannossa. Pellettikattila on hyvin säätävä tuotantomuoto, jolla voisi osaltaan korvata jopa fossiilisilla tuotettua kaukolämpöä. Uutena investointina pellettikattila olisi kannattamaton, koska huippukuormalaitosten käyttöaika on vuoden aikana koko ajan vähenemään päin. Mäkelän ja Tuunasen väitteestä päätellen pellettiä korvaa jatkossa kustannustehokkaammat tuotantomuodot. Päätelmänä metsäenergiaa käyttävistä teknologioista voisi sanoa, että peruskuorman tuottaminen kannattaa parhaiten ja huippukuorman tuotantoon se ei oikein sovellu.

Tuotantoskenaarioissa esiteltiin uusia teknologioita, kuten hukkalämmön talteenotto, teollisen koon ilmavesilämpöpumput, kevythybridit, lämpöakut ja bioenergian hiilidioksidin talteenotto. Hukkalämmöntuotanto perustui kummassakin skenaariossa paljolti vedyntuotantoon, jossa Böhm ym. (2021) mukaan 20-30 % sähköstä muuttuu hukkalämmöksi, joka voidaan hyödyntää kaukolämpönä. Lisäksi skenaarioissa hukkalämpöä saataisiin Sulkavuoren jäteveden lämmön hyödyntämisestä ja muiden vielä tuntemattomien kohteiden hyödyntämisestä. Haastatteluiden mukaan näistä vedyntuotannon hukkalämmöt vaikuttavat jo erittäin todennäköisiltä. Tämä tulee vähentämään osaltaan metsäenergian käyttöä hukkalämpöjen peruskuorman tehonlisän takia.

Lundin ym. (2021) mukaan 3. sukupolven kaukolämpöjärjestelmässä veden lämpötila on lähemmäs 100 astetta ja 4. sukupolven järjestelmässä riittää 60-70 astetta. Veden lämpötilan lasku on mahdollistanut uusien teknologioiden käyttöönoton, kuten sähkökattilan ja hukkalämmön talteenoton ja matalampi lämpötila vähentää myös lämpöhäviöitä. (Lund ym., 2021.) Haastattelujen aikaan vuoden 2024 maaliskuuhun vaihteessa Tampereen Energian kaukolämpöverkon veden lämpötila oli 88 astetta ja tämä vaihtelee jonkin verran kesän ja talven välillä. Tampereen Energian kaukolämpöverkko ei täytä 4. sukupolven määritelmää ja tämä heikentää hukkalämpöjen talteenoton mahdollisuuksia, lämpöpumppujen hyötysuhdetta ja lisää lämpöhäviöitä. Sähkökattiloiden hyödyntämiseen lämpötila ei kuitenkaan ole liian korkea. Hukkalämpöjen talteenotto yhdistettynä lämpöpumppuihin olisi vielä kustannustehokkaampaa, mikäli kaukolämpöverkon lämpötilaa saataisiin laskettua lähemmäs matalalämpöverkon määritelmää. Haastatteluiden mukaan vanha kaukolämpöverkko kuitenkin luo tähän rajoitteen ja matalalämpöverkon suuntaan Tampereella ei oltaisi menossa kuin aivan uusien alueiden osalta. Potentiaali uusille alueille on

kuitenkin pieni ja tätä kautta analyysi on, että kustannustehokkuus ja hyöty teollisen koon lämpöpumpuista ei ole Tampereella korkea.

Tampereen Energian pelkkään sähköön perustuvassa skenaariossa X juuri teollisen koon ilmavesilämpöpumput olivat isossa roolissa (Joronen ym., 2023). Davidin ym. (2017) mukaan teollisen koon lämpöpumppuja voidaan käyttää nykyisen kaukolämpöverkon veden lämpötilan nostamiseen sähkökattilan tavoin COP 3-4 mukaisella hyötysuhteella. Lämpöpumput tarvitsevat kuitenkin sähköä toimiakseen ja haastatteluissa ilmeni, että talvipakkasilla tämä aiheuttaisi teho-ongelman. Toisin kuin sähkökattilat, lämpöpumput arvokkaana investointina vaatisivat jatkuvampaa käyttöä ollakseen kustannustehokas investointi. Päätelmänä tästä voisi sanoa, että tämä yhdistelmä ei todennäköisesti merkittävästi vähennä metsäenergian käyttöä varsinkaan talvipakkasilla tulevaisuudessa.

Molemmissa skenaarioissa kevythybridit vaikuttavat lupaavalta vaihtoehdolta, koska ne olisivat pieniä rakennuskohtaisia sähkön hinnan mukaan säädettäviä lämpöpumppuja. Tässä vaihtoehdossa yhdistyisi lämpöpumppujen korkea hyötysuhde ja samalla säädettävyyys sähkön hinnan suhteen. Jokaiseen taloyhtiöön pitäisi kuitenkin tehdä oma sopimus käytöstä, joka voi osoittautua haastavaksi. (Joronen ym., 2023.) Tämä teknologia vaikuttaa kuitenkin haastatteluiden perusteella potentiaaliselta, joka vähentäisi metsäenergian käytön tarvetta.

Haastatteluiden mukaan Tampereella lämpöakkujen käyttö vaikuttaisi jäävän korkeintaan muutaman päivän lämmöntuotannon tarpeen täyttäväksi. Tähän vaikuttaa Tampereen tuotantorakenne, jossa halpaa ylijäämäenergiaa ei ole samalla lailla saatavilla kuin esimerkiksi Vantaan Energialla, jossa kesäaikaisen jätteenpolton lämmöt jäisivät ilman kausivarastoa hyödyntämättä. Myös Penttisen ym., (2021) mukaan hyöty korostuu etenkin kaupungeissa, joissa jätteenpolto on yhdistetty kaukolämpöverkkoon tai muuten kesäaikaan on halpaa energiaa saatavilla. Haastattelujen perusteella Tampereella lämpöakkujen käyttö liittyy vahvasti sähkökattiloiden tuottaman halvan energian talteenottoon. Tästä voisi päätellä, että tällä on metsäenergian käyttöä vähentävä vaikutus, mutta samalla metsäenergian toimitusten suunnittelua helpottava vaikutus.

Hiilidioksidin geologiseen varastointiin ei ole tällä hetkellä Euroopan mittakaavassa järkevää toimintamallia. Varastointipaikkoja on vähän, jolloin niihin on keskimäärin pitkä matka. Tilanne on kestämaton ja ratkaisuja pitäisi keksiä, että BECCS voisi olla todellinen ratkaisu hiilidioksidin talteenottoon. (Rosa ym., 2021.) Tampereen Energian skenaariossa BECCS metsäenergiaan suoraan liittyvä uusi teknologia hiilidioksidin talteenotosta on monella tapaa käänteentekevää metsäenergian tulevaisuuden kannalta. Tästä voisi päätellä, että jos Tampereen Energia päättää investoida hiilidioksidin talteenottoon Naistenlahdessa, se tarkoittaa, että kannattavuushaasteet on ratkaistu sertifikaattien tai päästökaupan kautta ja hiilidioksidille on käyttöä tai sen varastointihaasteisiin on löydetty ratkaisu. Tämä olisi loisi merkittäviä mahdollisuuksia metsäenergian tulevalle käytölle.

Haastatteluissa nousi esille, että Naistenlahdessa tuotetaan sähköä CHP:lla sähkön hinnan ollessa korkea. Gustafsson ym. (2021) toteavat, että hiilioksidin talteenoton HPC-prosessissa hukkuu CHP-tuotannon sähköstä 51-71 %, joka saadaan pääosin talteen kaukolämpönä. Mikäli sähkön hinta arvioidaan esim. 100 €/MWh korkeammaksi kuin kaukolämpö, hiilidioksidin talteenoton kustannus nousee 100 €/t. (Gustafsson ym., 2021.) Tämän havainnon perusteella hiilidioksidin talteenotto ei kannattaisikaan juuri silloin kun Naistenlahdessa tuotettaisiin sähköä. Tämä ei todennäköisesti vaikuttaisi metsäenergian käyttöön, mutta ilmiön vaikutuksia pitäisi tutkia erikseen toisessa tutkimuksessa.

Haastatteluiden perusteella ilmastovaikutukset puhuvat hiilidioksidin talteenoton puolesta. Nettopäästövähennyksen ja resurssien tehokkaimman käytön kannalta olisi tehokkainta panostaa tähän teknologiaan. Mazhar ym. (2018) tukevat tätä väitettä, koska heidän mukaansa kaukolämmitystä pidetään ainoana toteuttamiskelpoisena ratkaisuna hiilidioksidipäästöjen kannalta tiheästi rakennetussa ympäristössä. Tästä voisi päätellä, että kaukolämmön pahin kilpailija maalämpö ei pystyisi vastaamaan tämän teknologian ilmasto-työtyihin eli tätä kautta metsäenergian käyttö ei vähenisi vaan BECCS toteutuessaan lisääisi Naistenlahden käyttöä suhteessa tilanteeseen ilman hiilidioksidin talteenottoa. Kustannustehokkuus muihin tuotantomuotoihin nähden lopulta kertoisi käytön tason. Polton ja metsien käytön hyväksyttävyyden paranisi koko EU:n tasolla teknologian käyttöönoton myötä.

Skenaarion BECCS mukaan Naistenlahdessa otettaisiin hiilidioksidia talteen ja se pitkäaikaisvarastoitaisiin. (Joronen ym., 2023). Haastattelujen perusteella talteenotettua hiilidioksidia voidaan käyttää myös liikennepolttoaineiden valmistuksessa, jolloin metsäenergia toimisi sekä priimäärisen että sekundäärisen energian lähteenä. Potentiaali sektori-integraation osana olisi näin myös korkea. Lisäksi kaukolämpöön yhdistettynä hiilidioksidin talteenotostakin saadaan hukkalämmöt talteen. Tämä parantaisi metsäenergian tulevaisuuden käytön mahdollisuuksia.

Haastatteluiden perusteella metsäenergian käyttö kaukolämmöntuotannossa on ilmaston kannalta järkevää ilman hiilidioksidin talteenottoa niin kauan kun Euroopassa sähköä tuotetaan polttamalla. Tämä perustuu siihen, että kaukolämmössä polttamisen hyötysuhteet ovat 90 prosentin tasolla ja sähköjärjestelmässä päästään 40 prosenttiin, koska lämmöt hukataan. Skenaariossa X tilanne olisi huippukuorman osalta juuri tämä, että sähkö tuotettaisiin fossiilisia polttamalla (Joronen ym., 2023). Haastatteluiden perusteella ei ole näköpiirissä, että vielä 2040-luvulla olisi Euroopassa luovuttu polttamalla tuotetusta sähköstä. Tästä syystä metsäenergiaa käytetään vielä pitkään kaukolämmön tuotannossa. Kaukolämmöntuotanto isoilla keskitetyillä ratkaisuilla kuten Naistenlahti 3 mahdollistaa teknologioiden nopean skaalaamisen korkealle tasolle. Naistenlahteen tuleva lisälämmöntalteenotto parantaa hyötysuhdetta entisestään eli raaka-aineesta saadaan enemmän energiaa hyödynnettyä, jolloin tuotannon kannattavuus paranee. Tämä lisää samalla metsäenergian hyödyntämisen kannattavuutta.

Haastattelujen mukaan EU:n poliittiset toimet aiheuttavat epävarmuutta metsäenergian käytölle. EU:n ja ympäristöjärjestöjen huolena on ilmaston lisäksi metsien biodiversiteetti. RED III direktiivin kestävyyskriteereillä pyritään ehkäisemään näitä ilmasto- ja biodiversiteettivaikutuksia (European Parliament, 2023c). Haastatteluiden perusteella odotusarvo on, että toimet kohdistuisivat metsäenergian jakeista eniten karsittuun rankaan. Tätä väitettä tukee myös Energiaviraston (2022) ohjeistus, jonka mukaan jalostuskelpoinen ja jalostukseen kelpaamaton kokopuu- ja rankahake on todennettava laitoksilla erikseen. Kriteeristö rajoittaisi näiden energiakäyttöä ja tämä itsessään vähentäisi metsäenergian käyttöä tulevaisuudessa. Kestävyyskriteerien ulkopuolelle jääviin metsäenergian jakeisiin voisi kohdistua vero tai ne voisivat joutua päästökaupan piiriin. Päästökaupan piiriin kuuluvien energiajakeiden käyttö taas vähenee, päästöoikeuden hinnan ollessa

korkea (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2024). Haastattelujen perusteella tässä tapauksessa hiilidioksidin talteenotto voisi neutralisoida näitä vaikutuksia. Esimerkiksi RED III taas kannustaa hiilidioksidin talteenottoon (European Parliament, 2023c). Vastaavasti veron tapauksessa haastatteluiden mukaan Naistenlahden CHP voisi jäädä veron ulkopuolelle, koska maakaasulla on vastaavanlainen järjestely nykyään olemassa. Tätä väitettä tukee myös EU:n energiatehokkuusdirektiivi, jossa pidetään selvästi CHP:tä tavoiteltavana teknologiana (European Parliament, 2023b). Tästä voisi päätellä, että EU aiheuttaa metsäenergian käytölle haasteita lisäämällä epävarmuutta investointeihin, koska rajoitukset vähentävät käytön mahdollisuuksia ja ajavat hankintaa osaltaan haastavampiin kohteisiin. Tällä saattaa olla myös kustannuksia lisäävää vaikutusta.

Energiatehokkuusdirektiivi vaikuttaa erityisesti kannustamalla sähköistyvään kaukolämmöntuotantoon rakennusten energiatehokkuuden kautta sekä hukkalämpöjen hyödyntämisen kautta (European Parliament, 2023b). Haastatteluiden mukaan tämä tukee Tampereen Energian tavoitteita hukkalämmön talteenotosta ja tarkoittaisi kevythybridien lisääntymistä, josta voisi päätellä, että se vähentäisi metsäenergian käyttöä. Lisäksi haastatteluiden mukaan on viitteitä, että energiatehokkuusdirektiivi kannustaisi maalämmön hyödyntämiseen kaukolämmön sijasta. EU:n isot innovation fund -tuet toisaalta energiaalalla kohdistuu hiilidioksidin talteenottoon ja vetytalouteen, joka kannustaisi myös BECCS:n toteuttamiseen. Tästä voisi päätellä, että maalämmön osalta EU politiikan vaikutus vaikuttaisi jäävän metsäenergiaan nähden neutraaliksi, mutta kevythybridien osalta metsäenergiaa vähentäväksi.

LULUCF direktiivin mukaan jäsenmaiden hiilinielutavoitteet kiristyy jatkuvasti ja metsien hiilinieluja ei saa heikentää (European Parliament, 2018). Haastatteluiden mukaan hiilinielut jäävät tarkastelussa enemmän positiiviselle puolelle varsinkin, jos metsäenergian käyttö on vähenemään päin. Metsäenergian osuus suorista metsiin kohdistuvista toimista on kuitenkin metsänhoidollista ja hiilinieluja kasvattavaa toimintaa. Hiilinieluihin vaikuttaa kuitenkin koko metsäteollisuuden puun käyttö ja tätä kautta pelkkä metsien energiakäytön vaikutus on vähäistä.

Tämän analyysin lisäksi haastatteluiden ja skenaarioaineiston perusteella tuotettiin taulukot tuotantorakenteen ja bioenergiajakeiden osuuksien hahmottamiseksi. Nämä ovat tutkimuksen liitteissä mukana.

5.2 Johtopäätökset

Tutkimuksen pyrkimyksenä oli selvittää Tampereen Energian kaukolämmön toimintalogiikka, tuotantorakenne, millainen rooli metsäenergialla siihen on nyt ja millainen rooli metsäenergialla olisi vuonna 2040. Tutkimuksessa pyrittiin vastaamaan tutkimuskysymykseen ”*Millainen rooli metsäenergialla on tulevaisuuden kaukolämmön tuotannossa?*” sekä tarkentaviin kysymyksiin ”*Miten EU:n poliittiset toimet vaikuttavat metsäenergian käyttöön?*” ja ”*Miten uudet teknologiat vaikuttavat metsäenergian käyttöön?*”

”*Miten EU:n poliittiset toimet vaikuttavat metsäenergian käyttöön?*” EU:n poliittiset toimet tekevät investointiympäristöstä haastavan metsäenergian kannalta, mikä saattaa estää uusien polttamiseen perustuvien laitosinvestointien teon kokonaan. Haastava ympäristö näyttäytyy sähköistymisen tukemisena ja metsäenergian käytön rajoittamisena. Tampereen Energian tapauksessa uusia polttamiseen perustuvia laitosinvestointeja ei ole kuitenkaan suunnitteilla. Toisaalta poliittiset toimet kannustavat hiilidioksidin talteenottoon olemassa olevien laitosten osalta, mikä taas muuttaa metsäenergian käytön poliittisen hyväksyttävyyden täysin.

”*Miten uudet teknologiat vaikuttavat metsäenergian käyttöön?*” Uusien sähköön perustuvien teknologioiden käyttöönotto vähentää tulevaisuudessa metsäenergian käyttöä Tampereella. Polttoon perustumattomat teknologiat eivät kuitenkaan ratkaise tehonhallinnan haastetta, joka johtuu tuulivoimatuotannon vaihtelusta. Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi kannustaa metsäenergian käyttöön ilmastovaikutusten potentiaalin takia. Myös hiilidioksidin käyttö uusiutuvien synteettisten polttoaineiden tuotannossa vaikuttaa positiivisesti metsäenergian käyttöön.

”*Millainen rooli metsäenergialla on tulevaisuuden kaukolämmön tuotannossa?*” Mikäli hiilidioksidin talteenotto polttamalla tuotetun kaukolämmön osalta toteutuu, metsäenergian rooli kaukolämmöntuotannossa tulee olemaan merkittävä. Sen avulla tuotetaan

kaukolämmön peruskuormaa hiilinegatiivisesti, joka vähentää sähköllä tuotetun kaukolämmön määrää. Tämä mahdollistaa puhtaan tuulisähkön viennin Keski-Eurooppaan, mikä vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä Euroopan sähköntuotannossa. Tätä kautta nettopäästövähennelmä koko energiajärjestelmässä on suuri.

Hiilidioksidin talteenotto kannattaa vain isoimmissa laitoksissa isojen investointikustannusten takia. Isojen laitosten tuotanto ei mahdu kesällä verkkoon, joten kesäaikaan metsäenergiaa ei käytettäisi ollenkaan. Pienemmät polttolaitokset jäävät hiilidioksidin talteenoton ulkopuolelle, jolloin niiden käyttöön kohdistuu poliittisia paineita. Muut kustannustehokkaammat sähköön perustuvat teknologiat syrjäyttävät pienet laitokset. Mikäli hiilidioksidin talteenotto ei toteudu, metsäenergian käyttöaika vuodessa supistuu sydäntalvella ja sen rooli korostuu vain tehonhallinnan ja toimitusvarmuuden kautta. Kokonaan metsäenergiasta luopuminen vaikuttaa epätodennäköiseltä juuri toimitusvarmuuden takia.

Metsien hiilinieluihin liittyvät huolet eivät koske suoraan metsästä tuotavaa energiajakeetta, koska näiden käytöllä on metsänhoidollinen ja hiilinieluja parantava vaikutus. Metsäenergiiaan kohdistuvat poliittiset rajoitukset osuvat todennäköisimmin karsittuun rankaan, jonka osuus Tampereen Energian bioenergiajakeista on suurin. Karsitun rangan osuus pienenee, mutta toimitusvarmuuden takia käyttö säilyy kuitenkin merkittävänä. Metsien hiilinieluihin liittyvät huolet kohdistuvat metsien kokonaiskäyttöön. Koska metsien kokonaiskäyttöön kohdistuu rajoitteita, metsäteollisuuden puun käyttö ei tule kasvamaan. Tätä kautta myöskään teollisuuden sivutuotteita ei olisi nykyistä enempää saatavilla. Sama koskee metsätähdehaketta, joka on peräisin tukkipuiden oksista ja latvuksista. Pelletin kustannustehokkuus suhteessa muihin tuotantomuotoihin muuttuu haastavaksi ja sen käyttö Tampereella loppuu kokonaan BECCS-skenaarion mukaisesti. Rankahakkeen suhteellinen osuus tippuu, mutta muiden bioenergian jakeiden käyttö säilyy suurin piirtein nykyisellä tasolla.

Biodiversiteettiin liittyvät huolet koskevat kaikkea metsänkäsittelyä. Tähän liittyviä toimia on tehtävä talousmetsissä ja osaltaan jätettävä alueita kokonaan metsänkäsittelyn ulkopuolelle. EU pyrkii minimoimaan energia-alan vaikututusta biodiversiteettiin ohjaimalla käyttöä metsänhoidollisiin toimiin eli pienempiläpimittäisiin puustoihin. Lisää

sääntelyä on tulevaisuudessa luvassa, joka todennäköisesti aiheuttaa kustannuksia, mutta ei estä metsien käsittelyä. Metsäenergian käytön hiilinegatiiviset ilmastovaikutukset varmasti edesauttavat tämänkin haasteen ratkaisua.

Saatavilla olevista puhtaista energiamuodoista mikään ei korvaa metsäenergian roolia tämän tutkimuksen viitekehyksessä. Metsäenergialla on tärkeä osa energia-alan trilemman mukaisen haasteen ratkaisemisessa.

Suomen sähköistyminen nojaa tuulivoimatuotannon lisäämiseen. Tutkimuksessa ei käsitelty esimerkiksi ydinvoimaa tai pienydinvoimaa ollenkaan. Ydinvoimalla tuotettu sähkö vähentäisi teho-ongelmaa, muuttaisi toimintaympäristön täysin erilaiseksi, ja tekisi sähköön perustuvasta skenaariosta todennäköisemmän. Tässä tilanteessa metsäenergian rooli pitäisi arvioida uudelleen. Pienydinvoima toteutuessaan voisi korvata perinteisen kaukolämmöntuotannon täysin ja muita tuotantomuotoja voisi olla tätä täydentämässä toimitusvarmuussyistä. Case Tampereen Energia on uniikki ja johtopäätökset tulevaisuudesta on tehty tätä kautta. Olemassa oleva infrastruktuuri ja tuotantorakenne vaikuttaa todella paljon tuleviin ratkaisuihin. Tutkimustulosten yleistäminen muihin kaupunkeihin edellyttää Tampereen Energian kanssa samankaltaista tuotantorakennetta.

5.3 Jatkotutkimusehdotukset

EU:n politiikkaan liittyy paljon epävarmuuksia ja esimerkiksi RED III direktiivin vaikutukset kansalliseen lainsäädäntöön on tällä hetkellä selvityksessä. Tätä selvitystyötä on tekemässä työryhmä, jonka toimikausi päättyy 31.5.2024. Lainsäädäntö pitää olla valmiina keväällä 2025. Kun tämä lainsäädäntö selviää, sen vaikutuksia metsäenergiaan voisi tarkemmin tutkia.

Sähkökattilat vaikuttavat metsäenergian toimittajien toimintaan, koska toimitusten ennustettavuus heikkenee lämmityskauden sisällä ja kausiluonteisuus lisääntyy. Ongelma on todellinen, koska klo 14 tiedetään seuraavan päivän sähkön pörssihinta ja tämä vaikuttaa suoraan myös seuraavan päivän sähkökattiloiden käyttöön, millä on suorat vaikutukset metsäenergian toimituksiin. Sähkökattilat yleistyvät vauhdilla Suomen kaukolämmöntuotannossa ja tämä ilmiö tapahtuu kaikilla saman aikaisesti. Eli kaikki laitokset sekä

tarvitsevat metsäenergiaa saman aikaisesti että torjuvat metsäenergian saman aikaisesti. Tämä aiheuttaa logistiikassa ”teho-ongelman”, joka voisi olla tutkittava aihe.

Hiilidioksidin talteenotosta Naistenlahden CHP-kattilalla nousi esille dilemma. Naistenlahdessa tuotetaan sähköä sen markkinahinnan ollessa korkea. Koska hiilidioksidin talteenotossa kuluu sähköä, niin se tekee talteenotosta kallista. Mitä vaikutuksia tällä olisi hiilidioksidin talteenottoon?

Vedyn tuotantoon vaikuttaa RFNBO-direktiivi, jossa kerrotaan, että vedyntuotannon pitäisi seurata tuulivoimatuotannon kanssa yksiin, että synteettinen polttoaine saisi uusiutuvan energian statuksen. Millainen merkitys statuksella lopulta on? Säätyykö tuotanto oikeasti tuulivoiman kanssa yhteen? Jos näin on niin vedyn hukkalämmöt ovat myös todella vaihtelevia. Millaisia vaikutuksia tällä olisi kaukolämmöntuotantoon?

6 LÄHTEET

- AFRY. (2020). Finnish Energy – Low carbon roadmap. Luettavissa: [https://energia.fi/julkaisut/energia-
alan-vahahiilisysteikartta/](https://energia.fi/julkaisut/energia-
alan-vahahiilisysteikartta/). Luettu 10.2.2024
- Böhm, H., Moser, S., Puschnigg, S., & Zauner, A. (2021). Power-to-hydrogen & district heating: Technology-based and infrastructure-oriented analysis of (future) sector coupling potentials. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(63), 31938–31951. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.06.233>.
- Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2015). Waste to energy – key element for sustainable waste management. *Waste Management (Elmsford)*, 37, 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.02.003>.
- Dang, L. M., Nguyen, L. Q., Nam, J., Nguyen, T. N., Lee, S., Song, H.-K., & Moon, H. (2024). Fifth generation district heating and cooling: A comprehensive survey. *Energy Reports*, 11, 1723–1741. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.01.037>.
- David, A., Mathiesen, B. V., Averfalk, H., Werner, S., & Lund, H. (2017). Heat Roadmap Europe: Large-scale electric heat pumps in district heating systems. *Energies (Basel)*, 10(4), 578–. <https://doi.org/10.3390/en10040578>.
- Energiateollisuus ry. (2024a). Energiavuosi 2023. Kaukolämpö. 25.01.2024. Luettavissa: <https://energia.fi/tiedotteet/kaukolammon-vuositilastot-paastot-romahtivat-kaukolampo-tasoittaa-sahkon-hintavaihteluita-uusissa-kerrostaloissa-kaukolammon-suosio-kaantynyt-kasvuun/>. Luettu 11.2.2024.
- Energiateollisuus ry. (2024b). Energiavuosi 2023. Sähkö. 11.1.2024 (päivitetty 30.1.2024). Luettavissa: <https://energia.fi/tiedotteet/sahkovuosi-2023-puhdas-sahkontuotanto-kasvoi-paastot-ja-hinnat-romahtivat/>. Luettu 11.2.2024.
- Energiateollisuus ry. (2024c). Jätteen hyödyntäminen energiaksi. Luettavissa: <https://energia.fi/energiatieto/energiantuotanto/yhteistuotanto/jatteen-hyodyntaminen-energiaksi/>. Luettu 10.3.2024.
- Energiavirasto. (2022). toiminnanharjoittajan kestävyyskriteeriohje 2022, Luettavissa: <https://energiavirasto.fi/biomassojen-ja-biopolttoaineiden-kestavyys>. Luettu: 26.4.2024
- European Commission. (2020). Powering a climate-neutral economy: Commission sets out plans for the energy system of the future and clean hydrogen. 2020. Luettavissa: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1259. Luettu 10.3.2024
- European Parliament. (2018). Regulation (EU) 2018/841 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry in the 2030 climate and energy framework, and amending Regulation (EU) No 525/2013 and Decision No 529/2013/EU (Text with EEA relevance). Luettavissa: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2018/841/oj>. Luettu 1.3.2024.
- European Parliament. (2023a). Climate change: Parliament extends the Market Stability Reserve to 2030. Luettavissa: <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/press-room/20230310IPR77241/climate-change-parliament-extends-the-market-stability-reserve-to-2030>. Luettu 23.3.2024.

- European Parliament. (2023b). Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955 (recast) (Text with EEA relevance). Luettavissa: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/1791>. Luettu 10.2.2024.
- European Parliament. (2023c). Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652. Luettavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023L2413&qid=1699364355105>. Luettu: 27.1.2024.
- European Parliament. (2023d). Directive (EU) 2023/959 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 amending Directive 2003/87/EC establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the Union and Decision (EU) 2015/1814 concerning the establishment and operation of a market stability reserve for the Union greenhouse gas emission trading system (Text with EEA relevance). Luettavissa: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/959/oj>. Luettu 1.3.2024.
- European Parliament. (2023e). EU:n päästökauppajärjestelmä ja sen uudistaminen. Luettavissa: <https://www.europarl.europa.eu/topics/fi/article/20170213STO62208/eu-n-paastokauppajarjestelma>. Luettu 23.3.2024.
- Gustafsson, K., Sadegh-Vaziri, R., Grönkvist, S., Levihn, F., & Sundberg, C. (2021). BECCS with combined heat and power: Assessing the energy penalty. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 108, 103248-. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2020.103248>.
- Helsingin Uutiset. (2024). Vantaan Energia ei usko, että puun poltolla on tulevaisuutta – lopetti kaksi projektia kaikessa hiljaisuudessa. Helsingin Uutiset. 17.2.2024. Luettavissa: <https://www.helsingin uutiset.fi/paikalliset/6564189>. Luettu 24.2.2024.
- Hirsjärvi, S., Remes, P., & Sajavaara, P. (2007). Tutki ja kirjoita (13. osin uud. laitos.). Tammi.
- Holmberg, H., & Ahtila, P. (2014). The thermal analysis of a combined heat and power plant undergoing Clausius–Rankine cycle based on the theory of effective heat-absorbing and heat-emitting temperatures. *Applied Thermal Engineering*, 70(1), 977–987. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.05.100>
- Huang, X., Xu, Z., Sun, Y., Xue, Y., Wang, Z., Liu, Z., Li, Z., & Ni, W. (2018). Heat and power load dispatching considering energy storage of district heating system and electric boilers. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 6(5), 992–1003. <https://doi.org/10.1007/s40565-017-0352-6>
- Joronen, J., Salhoja, P., Seppälä, V. & Vähätiitto, J. (2023). Selvitys polttoon perustumattomaan ja hiilinegatiiviseen kaukolämpöön siirtymisestä. Tampereen Energia. Versio 2.0. Luettavissa: <https://www.tampereenergia.fi/julkaisut/uusi-selvitys-polttoon-perustumattomaan-ja-hiilinegatiiviseen-kaukolampoon-siirtymisesta-2023/>. Luettu: 21.1.2024.
- Knutsson, H., Holmén, M., Lygnerud, K. (2021). Is innovation redesigning district heat-ing? A systematic literature review. *Designs*, 5(1), 1–21. <https://doi.org/10.3390/designs5010007>

- Lindroos, J.-Erik., & Lohivesi, Kari. (2010). *Onnistu strategiassa* (3. uud. p.). WSOYpro.
- Lund, H., Østergaard, P.A., Nielsen, T.B., Werner, S., Thorsen, J.E., Gudmundsson, O., Arabkoohsar, A., Mathiesen, B.V., 2021. Perspectives on fourth and fifth generation district heating. *Energy* 227, 120520.
- Maa- ja metsätalousministeriö. (2024a). Biomassan kestävyyskriteerit. Luettavissa: <https://mmm.fi/metsat/puun-kaytto/biomassojen-kestavyys>. Luettu 11.2.2024.
- Maa- ja metsätalousministeriö. (2024b). Puupolttoaineet energian tuotannossa. Luettavissa: <https://mmm.fi/metsat/puun-kaytto/puun-energiakaytto>. Luettu 11.2.2024.
- Maa- ja metsätalousministeriö. (2024c). Suomen metsien kasvua ja kestävyyttä koskevat laskelmat. Luettavissa: <https://mmm.fi/metsat/metsatalous/metsatalouden-kestavyys/kestavyutta-koskevat-laskelmat>. Luettu 10.3.2024
- Mäkelä, V.-M., & Tuunanen, J. (2015). *Suomalainen kaukolämmitys*. Mikkelin ammattikorkeakoulu.
- Martin, N., Zinck Thellufsen, J., Chang, M., Talens-Peiró, L., & Madrid-López, C. (2024). The many faces of heating transitions. Deeper understandings of future systems in Sweden and beyond. *Energy (Oxford)*, 290, 130264-. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.130264>
- Mazhar, A.R., Liu, S., Shukla, A. (2018). A state of art review on the district heating
- Penttinen, P., Vimpari, J., Junnila, S., 2021. Optimal seasonal heat storage in a district heating system with waste incineration. *Energies* 14 (12), 3522.
- Rosa, L., Sanchez, D. L., & Mazzotti, M. (2021). Assessment of carbon dioxide removal potential: Via BECCS in a carbon-neutral Europe. *Energy & Environmental Science*, 14(5), 3086–3097. <https://doi.org/10.1039/d1ee00642h>.
- Suomen Tuulivoimayhdistys ry. (2024). Tuulivoiman rakenne. Luettavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka/tuulivoimaloiden-rakenne>. Luettu 6.4.2024.
- Suomen ympäristökeskus. (2022). Suomen ilmastopoliitikalla pyritään saavuttamaan ilmastotavoitteet. *Ilmasto-opas.fi*. Artikkelit. Päivitetty: 19.9.2022. Luettavissa: <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/suomen-ilmastopoliitikalla-pyritaank-saavuttamaan-ilmastotavoitteet>. Luettu 10.3.2024
- systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 96, 420–439.
- Tampereen Energia. (2024). Vastuullisuusraportti 2023. Luettavissa: <https://www.tampereenergia.fi/julkaisut/vastuullisuusraportti-2023/>. Luettu 6.4.2024.
- Tilastokeskus. (2008-2022). Asuinrakennusten lämmitys rakennustyypeittäin. Luettavissa: https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__asen/statfin_asen_pxt_11zr.px/. Luettu 9.3.2024.
- Tilastokeskus. (2024). Polttoaineluokitus 2024 luettavissa: https://stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html. Luettu 26.4.2024
- Työ- ja elinkeinoministeriö. (2022). *Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia*. Luettavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/164321>. Luettu 10.2.2024
- Työ- ja elinkeinoministeriö. (2023). Uusiutuvan energian RED III -direktiivi voimaan marraskuussa – Työryhmä selvittämään bioenergian kestävyteen liittyvän lainsäädännön muutostarpeita. Luettavissa:

<https://tem.fi/-/uusiutuvan-energian-red-iii-direktiivi-voimaan-marraskuussa-tyoryhma-selvittamaan-bioenergian-kestavyyteen-liittyvan-lainsaadannon-muutostarpeita>. Luettu 28.1.2024.

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2024). Päästökauppa. Luettavissa: <https://tem.fi/paastokauppa>. Luettu 11.2.2024.

Valtioneuvosto. (2023). Vahva ja välittävä Suomi: Pääministeri Petteri Orpon hallituksen ohjelma 20.6.2023. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-763-8>. Luettu 10.2.2024

Vantaan Energia. (2021). Lämmön kausivarasto. Yleisötilaisuus 31.8.2021. Luettavissa: <https://www.vantaanenergia.fi/energiantuotanto/hiilinegatiivinen/lammonkausivarasto/lammon-kausivarasto-hankkeen-yleisotilaisuudet/>. Luettu 11.2.2024.

7 LIITTEET

Liite 1: Haastattelurunko Niko Raami

1. Taustatiedot

- 1.1. Kerro lyhyesti roolistasi Tampereen Energialla.
- 1.2. Kerro lyhyesti millä eri tavoin Tampereen Energia tuottaa kaukolämpöä asiakkailleen tällä hetkellä

2. Teknologiat

- 2.1. Tampereen Energialla on monia eri tuotantolaitoksia. Kerro tuotantolaitoksittain, mitä niissä tuotetaan, millä polttoaineilla ja millä teholla, kysymyksen tarkoitus on hahmottaa nykytilannetta
- 2.2. Miksi kaukolämmöntuotanto on rakentunut näiden teknologioiden varaan? Voiko joku teknologia korvata toisen teknologian lisäämällä tuotantoa?
- 2.3. Kerro miten Tampereen Energialla tuotetaan peruskuorma, keskikuorma ja huippukuorma.
- 2.4. Miten kesäaika ja talviaika eroaa tässä suhteessa toisistaan
- 2.5. Huippukuormalaitosten pitää olla tarvittaessa nopeasti käytettävissä. Miten fossiiliset polttoaineet voitaisiin korvata nykyteknologioilla?
- 2.6. Mitkä asiat vaikuttavat eri tuotantomuotojen ajojärjestykseen
- 2.7. Tutkimusten mukaan kaukolämmön jakelussa ollaan siirtymässä koko ajan pienempiin verkon veden lämpötiloihin, joka sekä mahdollistaa, että pakottaa lämpöpumppujen käyttöön. Onko tästä ollut Tampereen Energialla puhetta?
- 2.8. Onko Tampereen Energialla tällä hetkellä suunnitteilla teollisen mittakaavan lämpöpumppuja?
- 2.9. Vaikuttaako verkon veden lämpötila siihen mitä tekniikkaa kaukolämmöntuotantoon on mahdollista käyttää?

3. Huolto/toimitusvarmuus

- 3.1. Miten Tampereen Energian kaukolämmöntuotannossa varaudutaan huolto- ja toimitusvarmuuteen
- 3.2. Miten kaukolämmön sähköistyminen vaikuttaa huoltovarmuuteen ja toimitusvarmuuteen?
- 3.3. Suomen sähköntuotanto muuttuu koko ajan vaihtelevammaksi ja kausiluonteisemmaksi tuulivoiman lisääntymisen vuoksi. Miten tämä vaikuttaa huolto- ja toimitusvarmuuteen

4. Metsäenergia

- 4.1. Kuinka paljon Tampereen Energia käyttää vuodessa metsäenergiaa energijakeittain?
- 4.2. Miten metsäenergian eri jakeet eroavat ominaisuuksiltaan poltossa?
- 4.3. Onko metsäenergian eri jakeet korvattavissa poltossa toisillaan, esim. karsittu ranka kuorella?
- 4.4. Onko teollisuuden sivutuotteiden osuutta mahdollisuus kasvattaa poltossa?
- 4.5. Käytetäänkö metsäenergiaa peruskuorman, keskikuorman tai huippukuorman tuottamisessa?
- 4.6. Onko metsäenergian saatavuudessa ollut haasteita? Miten niistä on selvitty?
- 4.7. Jos metsäenergian saatavuudessa olisi lyhytaikaisia häiriöitä, miten niistä selvittäisiin?
- 4.8. Jos metsäenergian pitkäaikainen saatavuus heikkenisi poliittisista syistä, miten siitä selvittäisiin?
- 4.9. Millaisia vahvuuksia olet havainnut metsäenergian hyödyntämisessä kaukolämmöntuotannossa?
- 4.10. Millaisia heikkouksia olet havainnut metsäenergian hyödyntämisessä kaukolämmöntuotannossa?

Liite 2: Haastattelurunko Jukka Joronen

1. Taustatiedot

- 1.1. Kerro lyhyesti roolistasi Tampereen Energialla
- 1.2. Millä tavoin liityt Tampereen Energian selvitykseen polttoon perustumattomaan ja hiilinegatiiviseen kaukolämpöön siirtymisestä?
- 1.3. Kerro miten kaukolämpöliiketoiminnan logiikka yksinkertaisuudessaan toimii?
- 1.4. Voitko kiteyttää pohjoismaisen kaukolämmöntuotannon ominaispiirteet ja haasteet muutamaan lauseeseen?

2. Tampereen Energian pitkän tähtäimen suunnitelma vuodelta 2022

- 2.1. Miten pitkän tähtäimen suunnitelmassa tuotanto muuttuu nykyisestä pääpiirteis-
sään?

3. Skenaario BECCS

- 3.1. BECCS:iin liittyy hiilidioksidin varastoinnin haasteita. Mitä mieltä olette, pitääkö hiilidioksidin varastoinnin haasteet ratkaista ennen teknologian käyttöönottoa vai voiko se tapahtua tämän jälkeen?
- 3.2. Onko skenaarioiden teon yhteydessä tutkittu vaihtoehtoa, että BECCS olisikin BECCU?
- 3.3. Jos hiilidioksidin varastoinnin järjestämisessä kestää, niin eikö kuitenkin olisi ilmastoteko ottaa hiilidioksidi talteen synteettisten polttoaineiden tekoon alkuvaiheessa?
- 3.4. Hiilidioksidin talteenotto on skenaarion mukaan niin kallista, että se sanelee Nais-
tenlahden käytön pohjakuormana. Miten skenaario muuttuisi, jos hiilidioksidin talteenotosta tulisikin kustannustehokasta?
- 3.5. Onko BECCS kustannusvaikutuksiin otettu huomioon hiilidioksidin talteenotosta saatavaa mahdollista kompensatiota. Onko realistista olettaa, että kompensatio voisi tulevaisuudessa kattaa kaikki investointi, säilytys ja kuljetuskustannukset?

4. Skenaario X

- 4.1. Onko skenaariossa X huomioitu vanhojen laitosten alasajo ja tätä kautta niistä menetetty hyöty? Miltä skenaarion kustannusvaikutukset näyttäisivät ilman tätä?
- 4.2. Mitkä tekijät pitää toteutua, että X olisi kannattavin vaihtoehto?
- 4.3. Miten kaukolämpö tuotetaan huippukuorman aikaan skenaarion X mukaan?
- 4.4. Bioenergia mainitaan varatehona. Miten tämä käytännössä toteutettaisiin?
- 4.5. Skenaariossa X kustannukset nousevat korkeiksi ja tähän liittyy myös huoli asiakkaiden siirtymisestä suoralle sähkölämmitykselle. Miten tämä vältettäisiin?

5. Metsäenergia

- 5.1. Kuvitellaan tilanne, jossa metsäenergialle on löydetty jalostuskohteita niin, että puun polttoa hiilidioksidin talteenottoa varten kritisoidaan, koska polttoon joutuisi jalostuskelpoista puuta. Miten toimisitte tässä tilanteessa?
- 5.2. Millainen mielikuva teillä on tällä hetkellä erityisesti metsäenergian polttamiseen liittyen? Pakollinen paha vai ilmastonmuutoksen pelastava toimi?
- 5.3. Miten mielikuvaa voisi parantaa?
- 5.4. Onko polttamalla tuotetulle peruskuormalle enää tulevaisuudessa muuta vaihtoehtoa kuin BECCS?
- 5.5. Ylittääkö BECCS metsäenergian jalostuksen ja kiertotalouden ilmastohyödyt?
- 5.6. Kumpi on mielestänne tärkeämpää: BECCS vai metsäenergian jalostuksen kehittyminen Suomessa?

6. Molemmat skenaariot

- 6.1. Eri investointien kustannusvaikutusten ero on merkittävä. Mitä pitäisi tapahtua tai mitkä tekijät saisivat kuitenkin valitsemaan kalliimman vaihtoehdon?
- 6.2. Mitä tietoja tai päätöksiä kansallisesti tai EU:n tasolla vielä tarvitaan strategisen päätöksenteon tueksi?
- 6.3. Pystyykö strategista päätöstä tekemään näiden tietojen pohjalta? Mitä lisätietoja vielä tarvitaan?

- 6.4. Molempien skenaarioiden kustannukset ovat reilusti pakkasella. Voisiko esim. investointituki muuttaa tilannetta?
- 6.5. Selvityksen johtopäätöksissä kerrottiin, että ”resurssit on kohdistettava aina vaikuttavimpiin toimiin nettopäästövähennysten näkökulmasta”. Mitä tämä tarkoittaa?

Liite 3: Haastattelurunko Pinja Salhoja

1. Taustatiedot

- 1.1. Kerro lyhyesti roolistasi Tampereen Energialla

2. EU regulaatio ja sen vaikutukset valintoihin

- 2.1. Miten EU:n regulaatio vaikuttaa käytännössä kaukolämmöntuotantoon?
- 2.2. Miten uusiutuvan energian direktiivi RED III ohjaa kaukolämmöntuotantoa käytännössä?
- 2.3. Miten uusiutuvan energian direktiivi RED III vaikuttaa puun kestävyysarviointiin. Millainen puun käyttö katsotaan pääpiirteittäin kestäväksi teidän näkemyksenne mukaan?
- 2.4. Miten uusi kaskadikäyttöperiaate ohjaa puun käyttöä?
- 2.5. Miten päästökauppa ohjaa kaukolämmöntuotantoa käytännössä?
- 2.6. Miten päästökaupan piirissä olevan lainausmerkeissä kestävyyskriteerien ulkopuolelle jäävien puiden polttamiseen suhtauduttaisiin?
- 2.7. Miten Energiatehokkuusdirektiivi ohjaa kaukolämmöntuotantoa käytännössä?
- 2.8. Miten Energiatehokkuusdirektiivi vaikuttaa metsäenergian käyttöön?
- 2.9. Miten LULUCF-asetus vaikuttaa kaukolämmöntuotannossa? Miten koette puun energiakäytön vaikuttavan metsien hiilinieluihin?
- 2.10. Onko EU:n poliittisilla toimilla selkeä ja johdonmukainen suunta, joka helpottaa investointien tekemistä?
- 2.11. Ottaako EU:n energia- ja ilmastopolitiikka huomioon pohjoismaisen kaukolämmöntuotannon erityispiirteitä?

- 2.12. Onko EU:n politiikan mukaisen toiminnan lainausmerkeissä sokea seuraaminen kustannustehokasta toimintaa pitkällä tähtäimellä eli ajaako poliittiset toimet lopulta siihen, että vain niiden mukainen toiminta kannattaa taloudellisesti?
- 2.13. Tämä oli Helsingin Uutisten lehtijuttu: Vantaan Energian liiketoimintajohtaja Patomerén mukaan kierrätyspuun polton hiilidioksidin talteenottoon ei kannata investoida, koska EU määrittelee nyt aiempaa tiukemmin, mitä hiilidioksidista voi tehdä, jotta päästöt entisestään vähenisivät. Vantaan Energian tarkoituksena oli tehdä biometaanua ja käyttää sitä kaukolämmöntuotannossa kulutushuippujen aikana. Määritteleekö EU mihin biogeenistä hiilidioksidia voi käyttää?
- 2.14. Vantaalle tehdään 90 GWh kausivarasto, jonka tarkoitus on korvata maakaasun käyttöä talvella. Onko tietoa, miten he perustelevat investoinnin, jos Tampereella todetaan suoraan, että on aivan liian kallista toteutettavaksi? Onko esim. investointituet vaikuttaneet tähän päätökseen vai vaikuttaako taustalla eri kuntien eri poliittiset näkemykset?

3. Metsäenergia

- 3.1. Miksi EU rajoittaa puun energiakäyttöä?
- 3.2. Puun osalta toimitusvarmuus rakentunee tulevaisuudessa karsitun rangan varaan, Oletteko huolissanne suoraan metsästä tulevan puun saatavuudesta tulevaisuudessa?
- 3.3. Millaisia vahvuuksia olet havainnut metsäenergian hyödyntämisessä kaukolämmöntuotannossa? Miten näitä vahvuuksia voisi hyödyntää?
- 3.4. Millaisia heikkouksia olet havainnut metsäenergian hyödyntämisessä kaukolämmöntuotannossa? Miten näistä heikkouksista pääsisi eroon tai näitä voisi parantaa?
- 3.5. Millaisia ulkoisia mahdollisuuksia olet havainnut metsäenergian hyödyntämisessä kaukolämmöntuotannossa?
- 3.6. Millaisia ulkoisia uhkia olet havainnut metsäenergian hyödyntämisessä kaukolämmöntuotannossa?

4. Tarkentavat kysymykset skenaarioista ja lisäkysymykset

- 4.1. Miten EU:n politiikka vaikuttaa pääskenaarioiden mukaisiin investointipäätöksiin?

- 4.2. Kannustaako EU enemmän kaukolämmön sähköistymiseen vai BECCS:iin? Mihin EU:n tuki suuntautuu?
- 4.3. Muuttaako BECCS poliittisen suhtautumisen polttamiseen?
- 4.4. Muuttaako tai venyttääkö BECCS kestävyyskriteerien mukaista ajattelua sallivampaan suuntaan?
- 4.5. Miten skenaarion X mukaisella toiminnalla saataisiin ilmastovaikutusta kasvatettua?
- 4.6. Miten investointipäätökseen liittyvät tekijät ilmastovaikutukset, kustannusvaikutukset ja huoltovarmuus laitetaan tärkeysjärjestykseen?
- 4.7. Nikon kanssa oli puhetta, että matalalämpöverkkoon siirtyminen vaatisi verkon virtausnopeuden kasvattamista, joka vaatisi isompia putkia? Onko matalalämpöverkko joltain osin realistinen vaihtoehto? Mahdollistaisiko kevyempi ja halvempi putkisto uusien alueiden saavuttamisen kaukolämpöverkon piiriin? Ja lisäkysymys, liittykö kevythybridit juuri matalalämpöverkkoon?
- 4.8. Useammassa yhteydessä on nyt mainittu sähkökattilainvestointien yhteyteen tulevasta kaukolämpökustannuksista päivän sisäistä tuotantoa tasoittamaan ja skenarioissakin mainittu 3 GWh. Onko tämän koosta jo julkista tietoa saatavilla?
- 4.9. Nikon kanssa oli puhetta kaukolämpöverkon pitkien häntien haasteisiin. Miten nämä ratkaistaan tulevaisuudessa?
- 4.10. Altistuuko Nordic Ren-Gas myös tuulivoiman vaihtelulle, jolloin vetytuotannon vaihtelu näkyy myös hukkalämmön vaihtelussa?
- 4.11. Tuotantoskenaarioihin vaikuttaa vanha kaukolämmöntuotannon infrastruktuuri. Kuvitellaan tilanne, että olemassa olisi vain kaukolämpöverkko, jonka päälle rakentaisit energia-alan trilemmän kustannustehokkuus, ympäristöystävällisyys, huoltovarmuus mukaisen ratkaisun. Mitä elementtejä siihen tulisi?

Liite 4: Tampereen Energian kaukolämmön tuotantorakenne

Tampereen Energian kaukolämmön tuotantorakenne nyt, lähitulevaisuudessa ja eri skenaarioissa (MW)

Tuotantolaitos/Tuotantotapa	Kaukolämpöteho vuonna 2024	Kaukolämpöteho vuonna 2025 - 2026	Kaukolämpöteho skenaario BECCS	Kaukolämpöteho skenaario X
Naistenlahden voimalaitos, kiertoolejukkattila (CHP)	200 *	220 *	240	0
Hervannan hakelämpökeskus, leijupetikattila (HOB)	50	50	0 *	0 *
Tarastejärven jätteenpolttolaitos, Tammervoima	50	50	60	60
Sarankulman pölypolttolaitos, pellettikattila	40	40	0 *	0 *
Lielahden kaasukombivoimalaitos + muut kaasu- ja öljykattilat *	510	510	290	300
Sähkötillat (Lielähti)	45	145	200	350
Hukkalämmöt	3,5	23,5	68	108
Ilmavesilämpöpumput	0	0	0	100
Kevythybridit	0	0	40	80
Kaukolämpöakut MWh	0,1	0,9	3	13

Kaukolämpöteho vuosina 2024 ja 2025-2026 perustuu haastattelusta saatuihin arvioihin.

Skenaarioiden BECCS ja X arvot perustuvat Tampereen Energian selvitykseen polttoon perustumattomasta ja hiilinegatiivisesta kaukolämmöstä

* Reduktio lisätty vuosien 2024 ja 2025-2026 Naistenlahden ja Tammervoiman kaukolämpötehoon

* Huippukuormalaitokset yhdistetty samalle riville

* Hervanta hakelämpökeskus ja Sarankulman pellettikattila puuttuvat skenaarioista. Tulisivat uusittaviksi 2050-luvun puolivälissä

Liite 5: Tampereen Energian biomassan jakeiden osuudet tuotannosta

Biomassan jakeiden osuudet tuotannosta pitkän tähtäimen suunnitelman ja skenaarion BECCS mukaan

Energiajake	Osuus (%) vuonna 2023	Määrät pitkän tähtäimen suunnitelmassa (GWh)	Osuus (%) skenaariossa BECCS	Määrät skenaariossa BECCS (GWh)	Alkuperä
Kantomurske	1 %	11	2 %	11	Metsä
Kokopuuhake	14 %	147	23 %	147	Metsä
Rankahake	39 %	410	26 %	167	Metsä
Metsätähdehake	14 %	147	23 %	147	Metsä
Kierrätyspuu	4 %	42	6 %	42	Rakennusteollisuus
Sahanpuru	10 %	105	16 %	105	Teollisuuden sivutuote
Kuori	3 %	32	5 %	32	Teollisuuden sivutuote
Pelletti	15 %	158	-	-	Sahanpurun jaloste
Yhteensä	100 %	1050	100 %	650	

Osuudet (%) vuonna 2023 perustuu Niko Raamin haastattelussa antamiin arvioihin, joita säädetty jakeittain 1-2 prosenttiyksikköä, että saatu jakeiden osuudeksi yhteensä 100 %.

Pitkän tähtäimen suunnitelman määrät (GWh) on saatu on saatu laskemalla nykyiset energiajakeiden osuudet suunniteltuihin määriin.

Skenaarion BECCS osuudet jakeittain (%) saatu päätellen skenaarion ja haastatteluiden pohjalta.

Skenaarion BECCS määrät GWh on saatu laskemalla skenaarion kokonaismäärä jakeittain.

Tutkimuksen johtopäätöksenä pelletin käyttö loppuu ja karsitun rangan määrä tulee vähentymään, joten se on jäljelle jääneistä bioenergian jakeista ainut jonka määrä vähenee pitkän tähtäimen suunnitelmaan verrattaessa.