

Vastaanottaja
Prizztech Oy

Asiakirjatyyppi
Raportti

Päivämäärä
9.12.2025

PRIZZTECH OY

HUKKALÄMPÖÄ

KASVIHUONEILLE



Rambollin Yhteyshenkilö:

Eetu Karjalainen
+358 44 4910586
eetu.karjalainen@ramboll.fi

Tarkastaja: Jouni Kivirinne
Hyväksyjä: Mira Helve

Ramboll Finland Oy
PL 25
Itsehallintokuja 3
02601 ESPOO

P +358 20 755 611
F +358 20 755 6201
<https://fi.ramboll.com>

Y-tunnus 0101197-5
Kotipaikka Espoo

SISÄLTÖ

1.	Tausta	2
2.	Kasvihuoneiden lämmöntarve ja hukkalämpöprofiilit	3
2.1	Lähtötiedot ja oletukset	3
2.1.1	Referenssikasvihuone	3
2.1.2	Hukkalämpö 1	4
2.1.3	Hukkalämpö 2	5
2.2	Kasvihuoneviljelyn lämmönjakoteknologiat	5
2.3	Kasvihuoneen lämmöntarve ja hukkalämmön saatavuus	6
2.4	Lisälämmöntarve	9
3.	Lämmön toimittaminen	10
3.1	Lämmönsiirron ja -talteenoton periaatteet	10
3.1.1	Erillinen operaattori kerää ja toimittaa lämmön	11
3.1.2	Hukkalämpöjen tuottajat toimittavat lämmön itse	12
3.1.3	Kasvihuonetoinija kerää hukkalämmöt itse	13
3.1.4	Hukkalämpö ja varalämpö kytketty välillisesti kaukolämpöverkkoon	14
3.2	Lämmön siirron lämpöhäviöt	15
3.3	Kustannusarviointi	15
4.	Hukkalämmön hyödyntämisen liiketoiminnan periaatteet	17
4.1	Operatiiviset tehtävät	17
4.2	Investointi- ja operointimallit	18
4.3	Kustannusrakennemalli	19
4.3.1	Laskennan lähtöarvot ja oletukset	20
4.3.2	Lämmön siirtohinnot vaihtoehtoisin	21
5.	Jatkoselvitystarpeet	24
6.	Yhteenveto	25

1. TAUSTA

Hukkalämpöä kasvihuoneille -selvitys liittyy Prizztech Oy:n BIOVAHVA-hankkeen toimenpiteeseen 13. Toimenpiteessä tavoitteena on edistää kiertotaloutta kasvihuonetuotannossa ja löytää symbioosimahdollisuuksia muun teollisuuden ja kasvihuoneviljelyn välillä. Symbioosimahdollisuuksina tarkastellaan hukkalämmön toimittamista teollisuudesta kasvihuoneille. Selvityksen tavoitteena on lisätä ymmärrystä mahdollisuuksista teollisuuden hukkalämpöjen hyödyntämiseen ja toimittamiseen teollisen mittakaavan kasvihuoneen ympärivuotiseen lämmittämiseen.

Selvityksessä tarkasteltavat kohteet sijaitsevat Harjavallassa. Harjavallassa toimii useampia teollisia yrityksiä, joiden toiminnasta syntyy sivuvirtana hukkalämpöä. Tällä hetkellä kaupunki hyödyntää teollisuudesta peräisin olevaa hukkalämpöä kaukolämmöntuotannossa siten, että lähes 90 % kaukolämmöstä on peräisin teollisuuden hukkalämmöistä. Tähän selvitykseen on osallistunut Prizztech Oy:n lisäksi Harjavallan kaupunki, Suomessa sijaitseva kasvihuonetoimija ja Suomessa toimiva lämpöoperaattori. Lisäksi selvitykseen on osallistunut kaksi Harjavallassa sijaitsevaa teollisuuden toimijaa, joiden toiminnasta syntyy hukkalämpöjä. Hukkalämmön tuottajien nimiä ei tuoda työssä esille. Selvityksessä käytettävät lähtötiedot on koottu työhön osallistuneilta toimijoilta.

Työssä tarkastellaan noin 15 hehtaarin kokoista Harjavaltaan, Sievarin alueelle, sijoittuvaa maa-aluetta teollisen kokoluokan kasvihuoneviljelyyn. Työn tavoitteena on selvittää, riittääkö kahdesta eri teollisesta lähteestä yhdistetty hukkalämpö kattamaan noin 10 hehtaarin kokoisen kasvihuoneen lämmitystarpeen ympärivuotisesti. Kasvihuonetontin ja hukkalämpökohteiden välillä on etäisyyttä muutamia kilometrejä. Kasvihuoneen lämmitystarve liittyy pääasiassa talviaikaan ja kesällä kasvihuoneen lämmönkulutus on vähäistä. Teollisuuden hukkalämpöjä syntyy tasaisesti ympäri vuoden, mutta tuotannossa esiintyy satunnaisia katkoksia.

Selvityksessä määritetään 10 hehtaarin kasvihuoneen ympärivuotinen lämmöntarve perustuen Suomessa sijaitsevan referenssikasvihuoneen lämmöntarpeeseen. Lähtötietoina selvitetään referenssikasvihuoneen lämmönjakoteknologiat ja lämmitysjärjestelmän lämpötilamitoitukset, minkä perusteella arvioidaan hukkalämpöjen lämpötilatason riittävyttä sekä soveltuvuutta kasvihuoneelle. Selvityksessä tarkastellaan lämmön talteenoton ja toimittamisen vaatimaa infrastruktuuria sekä linjausvaihtoehtoja hukkalämmön toimittamiselle esiselvitystasolla.

Lämmön toimittamiseen tarkastellaan erilaisia operointimalleja. Operointimallit kuvataan yksinkertaisessa kaaviomuodossa esittäen operoinnin eri vaiheiden vastuut ja tehtävät. Operointimallien kuvauksessa tuodaan ymmärrystä operoinnin kustannusvaikutuksista ja siitä, miten operoinnin kustannukset ja vastuut muuttuvat eri vaihtoehtoisissa. Eri vaihtoehtoina on, että esimerkiksi hukkalämmön tuottajat, kasvihuonetoimija tai erillinen operaattori vastaisi lämmöntalteenotosta ja -siirrosta investointineen. Operointimallien vertailemiseksi laaditaan alustavat investointiarviot sekä kustannusrakennemallit, joiden perusteella on arvioitavissa eri vaihtoehtojen välisiä eroavaisuuksia.

Selvitys on toteutettu "Satakunnan biotalouden vahvistaminen ja varmistaminen BIOVAHVA" -hankkeessa, jota ovat rahoittaneet Satakuntaliitto EU:n JTF-rahoituksella sekä Porin seudun kunnat.

2. KASVIHUONEIDEN LÄMMÖNTARVE JA HUKKALÄMPÖPROFIILIT

Työssä tarkasteltavia kohteita ovat Suomessa sijaitseva referenssikasvihuone ja hukkalämpökoh- teina kaksi teollisuuden hukkalämmön tuottajaa Harjavallassa. Selvityksessä tarkasteltavan kasvi- huoneen pinta-ala on noin 10 hehtaaria.

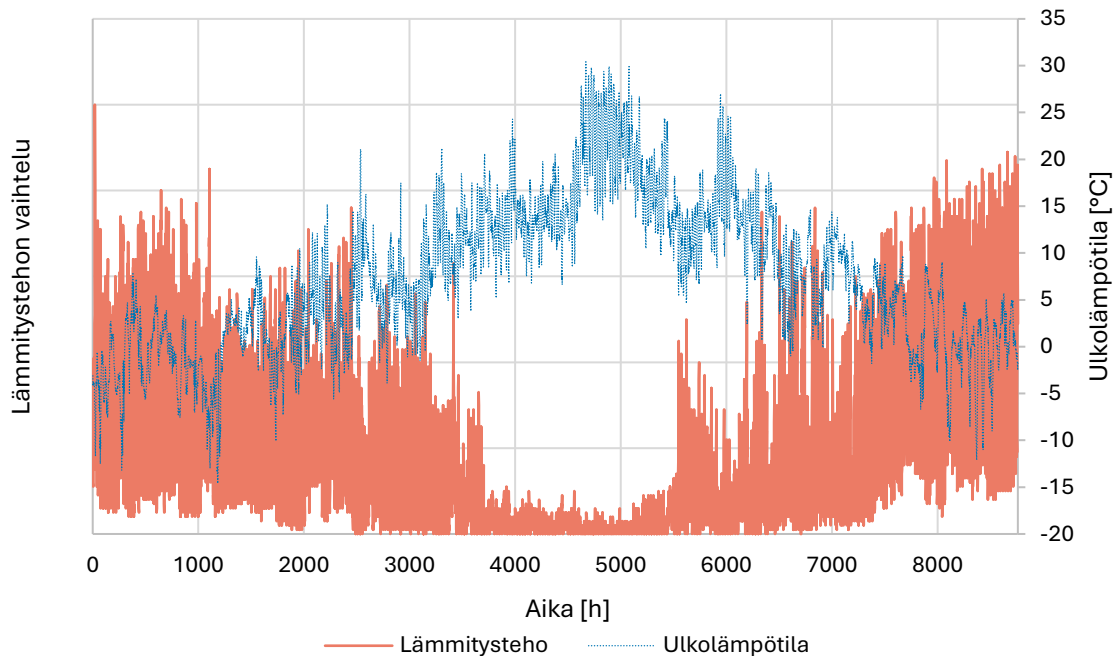
Hukkalämmön tuottajiin viitataan selvityksessä nimillä hukkalämpö 1 ja hukkalämpö 2. Hukka- lämmön tuottajat 1 ja 2 ovat toimittaneet selvitykseen lähtöaineistoa, joka esitetään raportissa sovituilta osin ja rajoitetusti.

2.1 Lähtötiedot ja oletukset

Seuraavassa esitetään työn lähtötiedot referenssikasvihuoneesta ja sen lämmönjakoteknologi- oista. Lisäksi esitetään tuntisarjat hukkalämmön 1 ja 2 hukkalämpöprofiileista sekä laskentatulok- set hukkalämmön kattavuudesta ja lisälämmöntarpeesta kasvihuoneen lämmitykseen.

2.1.1 Referenssikasvihuone

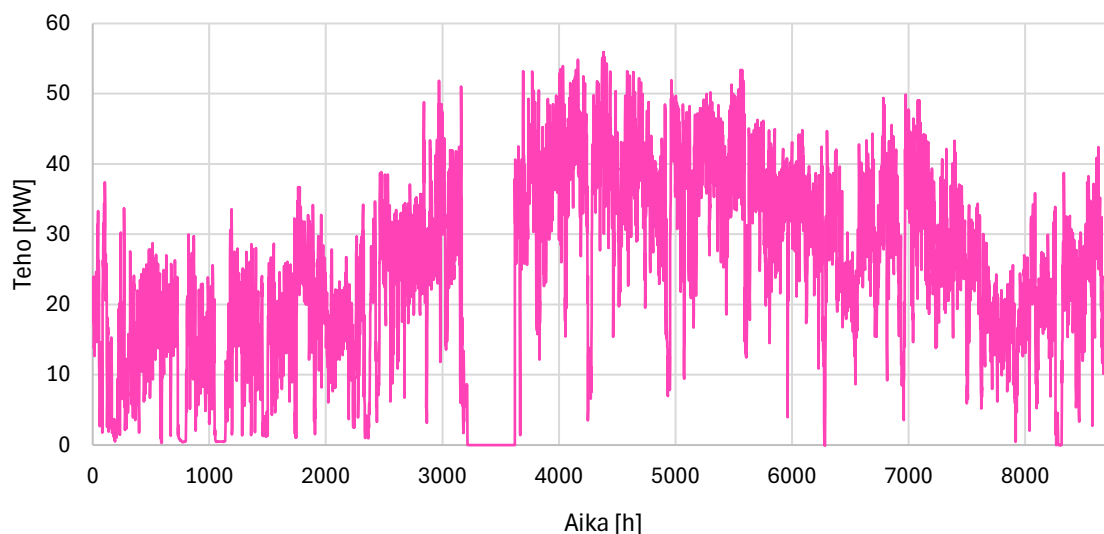
Lähtötietona on ollut saatavilla vuoden mittainen tuntisarja kasvihuoneen lämmitystehosta sekä ulkolämpötilasta aikavälillä 1.9.2024–31.8.2025. Tuntisarja on järjestetty uudelleen alkamaan tammikuun 1. päivä. Kyseinen data lämmitystehon vaihtelusta on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 1). Aikasarjassa ei esitetä tarkempia lämmitystehoja, vaan trendinä lämmitystehon vaihtelu.



Kuva 1. Referenssikasvihuoneen lämmitysteho ja ulkolämpötila yhden vuoden ajalta

2.1.2 Hukkalämpö 1

Lähtötietoina on saatavilla hukkalämmön 1 tuntisarjat lämpötilasta sekä tehosta vuosilta 2022–2024. Työssä on käytetty vuoden 2024 tuntisarjaa. Hukkalämmön 1 tuntinen teho on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 2). Tuntisarjaa on käsitelty muuttamalla negatiiviset mittausarvot nolliksi, korvaamalla yksittäiset puutteelliset arvot edellisellä kelvollisella mittausarvolla ja lisäksi poistettu karkauspäivä datasta. Puutteita on ollut vähän, joten yksinkertaistuksilla ei ole suurta vaikutusta tuntisarjaan. Hukkalämmön 1 keskimääräinen lämpötila on noin 70 °C, ja se jäähdytetään laitoksella noin 20–30 °C lämpötilaan. Hukkalämpövirralla on tuotantokatkoja noin kaksi päivää kuukaudessa. Nämä tuotantokatkot ovat mukana tuntisarjassa. Pidempiä seisakkeja laitoksella on joka vuosi noin 16 päivää. Tämä seisakki on tuntisarjassa aikavälillä 15.5.–31.5.



Kuva 2. Hukkalämmön 1 tuntinen teho vuonna 2024

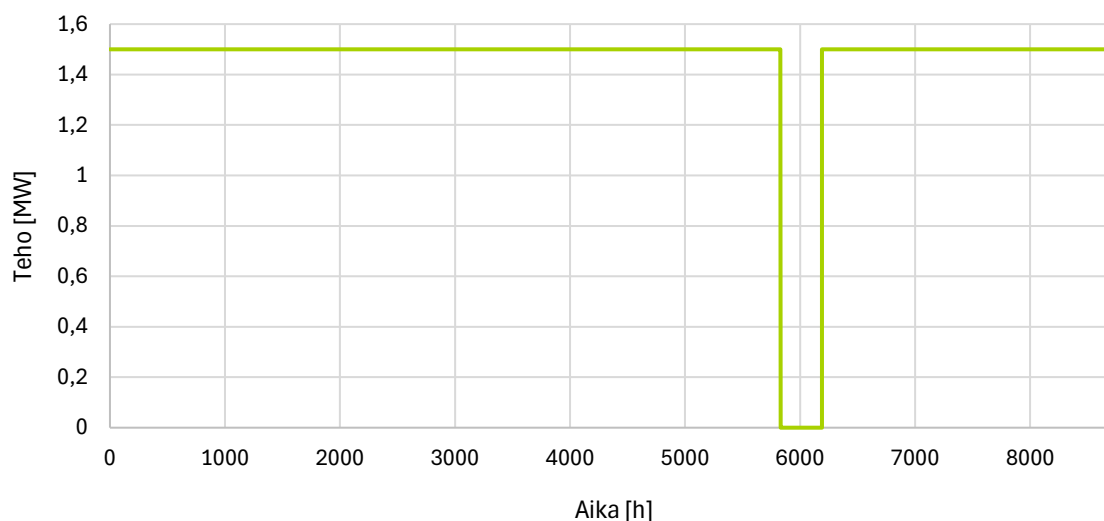
Taulukko 1 esittää tärkeimpiä tietoja hukkalämpö 1:n lähtötiedoista. Hukkalämpöä 1 syntyy vuositason yli 206 000 MWh ja keskimääräinen teho on noin 23 MW.

Taulukko 1. Hukkalämpö 1 lähtötietoja

	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Huom.
Lämmitysteho [MW]	0	56	23	Tuntisarjasta
Menolämpötila [°C]	9	85	70	Tuntisarjasta, minimi seisakkiaikana
Lämmitysenergia [MWh/a]	-	206 648	-	Tuntisarjasta
Paluulämpötila [°C]	20	30	-	Tuottajalta saatu arvio normaalitilanteessa

2.1.3 Hukkalämpö 2

Hukkalämmön 2 tehosta ei ole ollut saatavissa tuntisarjaa, ja lähtötiedot perustuvat toimijalta saatuihin karkeisiin yksinkertaistettuihin arvioihin. Työssä on oletettu, että saatavilla oleva hukkalämpöteho on 1,5 MW läpi vuoden. Todellisuudessa hukkalämpöteho muuttuu keskimääräisen arvon molemmin puolin. Hukkalämmön menolämpötila on noin 45 °C ja se jäädytetään laitoksella noin 35 °C lämpötilaan. Laitoksen vuosittainen seisakki on oletettu tuottajan arvion perusteella 1.9.–15.9. ajankohdalle. Hukkalämmön 2 teho vuoden aikana on esitetty kuvassa alla (Kuva 3) ja tärkeimmät lähtötiedot taulukoituna (Taulukko 2).



Kuva 3. Hukkalämpö 2 tuntinen teho vuoden aikana

Taulukko 2. Hukkalämpö 2 lähtötietoja

	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Huom.
Lämmitysteho [MW]	0	1,5	1,4	Tuottajan arviot ja käytetyt oletukset
Menolämpötila [°C]	45	45	45	Tuottajan arviot
Lämmitysenergia [MWh/a]	-	12 600	-	Tuottajan arviot ja käytetyt oletukset
Paluulämpötila [°C]	35	35	35	Tuottajan arviot

Hukkalämpöä 2 syntyy vuositasolla vakioidulla 1,5 MW hukkalämpöteholla noin 12 600 MWh vuodessa. Hukkalämmön 2 lämpötilataso 45 °C on selvästi matalampi kuin hukkalämmön 1 keskimääräinen 70 °C lämpötila.

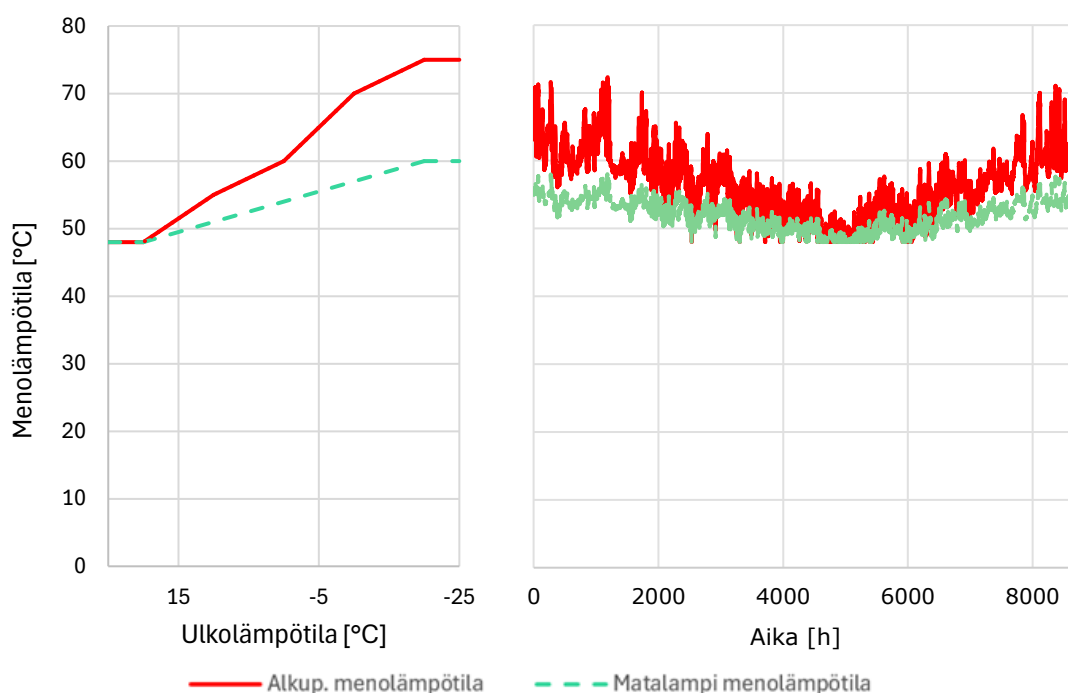
2.2 Kasvihuoneviljelyn lämmönjakoteknologiat

Hukkalämpövirtojen hyödyntämisen mahdollisuuksiin liittyy oleellisesti niiden lämpötila, sekä käyttökohteen vaatimukset tarvittavalle lämpötilalle. Referenssikasvihuoneen osalta on koottu lähtötiedoksi kasvihuoneen lämmönjakoteknologioiden toimintalämpötilat, jossa lämmityspiirin säätöikäyrän suurin menolämpötila on ollut 75 °C. Kuitenkin suurin osa lämmityslaitteista

referenssikasvihuoneessa toimii tätä pienemmillä lämpötiloilla, sillä lähes kaikilla lämmityshaaroilla on oma sekoituspiiri lämpötilan madaltamiseksi.

Yleisesti ottaen lämmityspiiriin halutaan mahdollisimman matalat lämpötilat lämpöhäviöiden minimoimiseksi. Poikkeuksena voivat olla puhtaasti lämpöhäviöön perustuvat ratkaisut, kuten kasvihuoneissa raideputkistot. Toisaalta nykyisten teollisuuden standardien mukaan yli 60 °C pintalämpötilan putkistot tulisi suojaeristää palovammariskin vuoksi¹, joten putkistoihin perustuvaa lämmitystä ei voitaisi käyttää tätä suuremmilla menolämpötiloilla. Pienempi menolämpötila kuitenkin johtaa suurempiin lämmönsiirtopinta-aloihin laitteiden mitoituksessa.

Nykyisin lämmitysjärjestelmien mitoituksessa yleisesti käytetty menolämpötila on 60 °C ja paluulämpötila 30 °C. Menolämpötilana 60 °C sopisi suurimmalle osalle kasvihuoneen lämmönjakoratkaisuista, poikkeuksena puhallinkonvektorit ja kasteluveden lämmitys. Myös nämä laitteet ovat kuitenkin mitoitettavissa myös pienemmälle menolämpötilalle. Tämä tarkoittaa joko suurempia tai useampia puhallinkonvektoreita ja kasteluveden lämmönsiirtimen osalta vain eri mitoituksia. Referenssikasvihuonetta matalampi mitoituslämpötila, eli 60 °C, mahdollistaa ainakin teoriassa hukkalämmön 1 hyödyntämisen kasvihuoneen lämmitykseen ilman lämpötilan korottamista. Näillä perusteiden työssä oletetaan jatkossa, että 60 °C menolämpötila on riittävä kasvihuoneen lämmityslaitteille. Kuva 4 esittää säätökäyrän mukaisen referenssikasvihuoneen laskennallisen menolämpötilan vuoden aikana ja vastaavan käyrän matalammalle mitoituslämpötilalle.



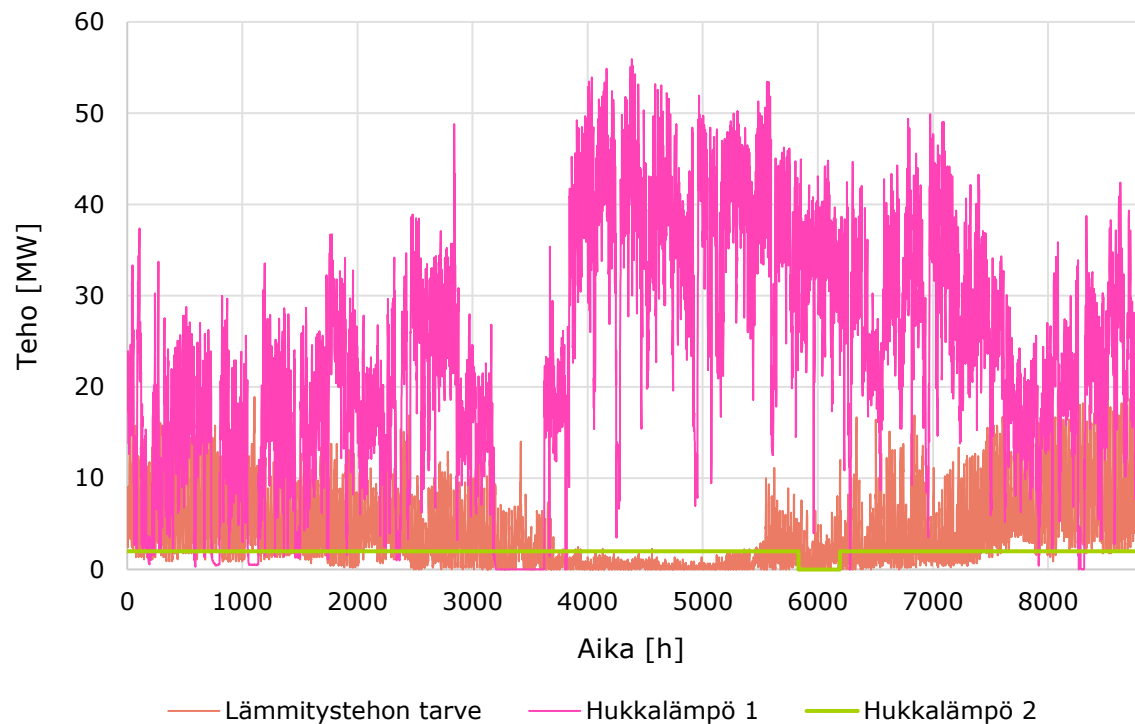
Kuva 4. Menolämpötilan säätökäyrä (vasen) ja menolämpötila vuoden aikana (oikea)

2.3 Kasvihuoneen lämmöntarve ja hukkalämmön saatavuus

Työssä tarkasteltavan kasvihuoneen lämmitystarve on 34 551 MWh vuodessa ja suurin hetkittäinen lämmitysteho 22,2 MW (Kuva 5). Lämmitystarve perustuu referenssikasvihuoneen tietoihin.

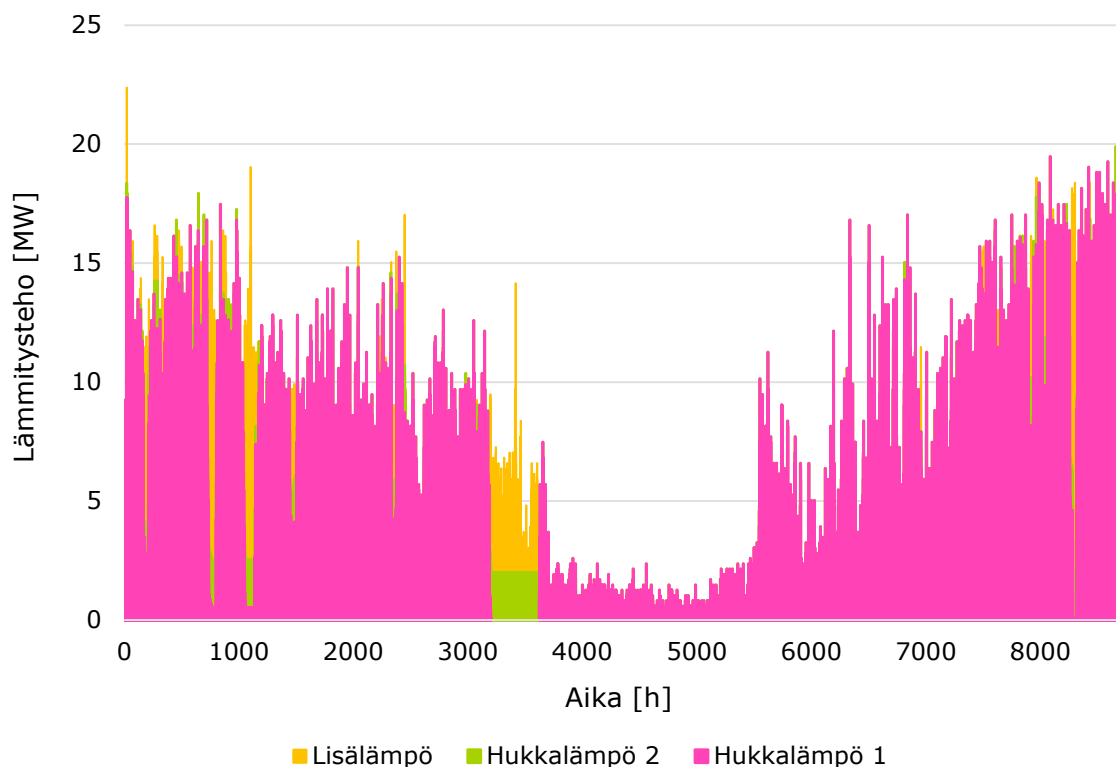
Hukkalämmön 2 tehossa on huomioitu lämpöpumpun lauhtutusteho lämpökertoimella 4, sillä hukkalämpövirran lämpötila on liian matala hyödynnettäväksi sellaisenaan. Jos hukkalämpöteho

on 1,5 MW, kompressorin ottoteho on 0,5 MW, joten hukkalämmöstä 2 saatava lämpöteho on kokonaisuudessaan 2 MW. Laskennassa on jatkossa myös huomioitu lämmönsiirrossa tapahtuva lämpöhäviö, joka on arvioitu olevan lämmönsiirtolinjoilla yhteensä noin 1300 MWh vuodessa. Lämpöhäviölaskelmat on esitetty raportin johdonmukaisuuden vuoksi luvussa 3.2, jota ennen on käsitelty lämmönsiirtoreitit, siirtoreittien pituudet sekä lämpöhäviötehot.



Kuva 5. 10 ha kasvihuoneen lämmitystehon tarve ja saatavilla olevat hukkalämpötehot

Hukkalämpö 1 kattaa pääosan kasvihuoneen lämmitystarpeesta, mutta paikoittaisia poikkeuksia on johtuen kahden päivän jakelukatkoista. Lisäksi pidempi seisakki johtaa väistämättä lisälämmön tarpeeseen. Hukkalämpö 2 kattaa kokonaisuudessaan hyvin vähäisen osan kasvihuoneen lämmitystarpeesta. Kuva 6 esittää kasvihuoneen lämmöntuotannon tuntiprofiilin, joka havainnollistaa hukkalämpöjen osuuksia tuotannosta ja lisälämmön tarvetta. Laskenta on tehty siten, että ensisijainen lämmöntuotanto tulee hukkalämmöstä 1, toisena hukkalämpö 2 ja loput täytyy kattaa lisälämmöllä. Hukkalämpöä 1 priorisoidaan laskennassa, koska se on lämpötilaltaan soveltuvampi suoraan lämmityskäyttöön ilman hukkalämmön priimausta, sekä siitä saatavan lämmön määrä on suurempi.



Kuva 6. Lämmöntuotannon tuntiprofiili 10 ha kasvihuoneelle

Taulukko 3 esittää yhteenvedon kasvihuoneen lämmöntuotannon tarpeesta. Hukkalämpö 1 kattaa vuotuisesta lämmitystarpeesta noin 89 % ja hukkalämpö 2 noin 4 %. Tarkastelun perusteella saatavilla olevasta hukkalämmöstä voidaan hyödyntää vain 15 % hukkalämmön 1 osalta ja vastaavasti 9 % hukkalämmöstä 2. Hukkalämmön 1 paluulämpötilaan on oletettu kahden lämmönsiirtilmen aiheuttavan 6 °C asteisuuden lämmönsiirrossa kasvihuoneelta laitokselle ja hukkalämmön 2 menolämpötila on oletettu korotettavan 67 °C lämpötilaan lämpöpumpulla. Toteutusta on käsitelty tarkemmin luvussa 3.1.1.

Taulukko 3. 10 ha kasvihuoneen lämmöntuotannon yhteenvedo

Selite	Hukkalämpö 1	Hukkalämpö 2	Lisälämpö
Hyödynnetty energia vuodessa [MWh/a]	31 866	1 627	2 355
Lämpöpumpun lisäosuus lämmöntuotannosta [MWh/a]	-	407	-
Lämmönsiirron häviöt [MWh/a]	920	377	-
Hyödynnetyn energian osuus kokonaislämmöntarpeesta [-]	88,9 %	4,5 %	6,6 %
Suurin hetkittäinen siirtoteho [MW]	19,7	2,0	16,5
Lämpöpumpun ottoteho [MW]	-	0,5	-
Virtauksen menolämpötila [°C]	67	67	-
Virtauksen paluulämpötila [°C]	33	33	-
Suurin hetkittäinen massavirta [kg/s]	138	14	-
Laitoksen huoltoseisakin ajankohta [-]	15.5.–31.5.	1.9.–15.9.	-
Saatavilla oleva energia vuodessa [MWh/a]	206 648	16 800	-
Hyödyntämättä jäänyt energia [MWh/a]	174 782	15 173	-
Hyödynnetyn energian osuus saatavilla olevasta hukkalämmöstä [-]	15 %	10 %	-

2.4 Lisälämmöntarve

Työssä tehdyn tarkastelun perusteella, noin 7 % kasvihuoneen lämmitystarpeesta täytyy tuottaa hukkalämmöistä riippumattomalla menetelmällä. Energiämääränä osuus on 2 355 MWh vuodessa ja suurin hetkittäinen teho on noin 17 MW. Kuitenkin, jos hukkalämpövirrat kattavat 93 % lämmöntarpeesta, on kasvihuoneella oltava riittävän suuri varalämmönlähde esimerkiksi odottamattomia hukkalämmön tuotantokatkoja varten. Täten lisälämpö ja varalämpö on kannattavaa tuottaa samalla yksiköllä. Työssä käytetty lämmitystehon tarve perustuu tuntisarjaan, jossa alhaisin vuoden ulkolämpötila on $-14,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja tällöin huipputehontarpeeksi 10 ha kasvihuoneelle muodostuu 22 MW. Datan perusteella kyseessä on ollut ainakin paikallisesti verraten lämmin talvi, joten työssä on arvioitu lisälämmönlähteen tarvittavaksi kapasiteetiksi 25 MW. Varatehoksi hankittavan sähkökattilan teho on käytännössä kannattavaa mitoittaa esimerkiksi 5–10 MW yli 25 MW:n arvioidun mitoittavan kapasiteetin. Investointikustannuksena sähkökattilan ominaisinvestointi (€/MW) madaltuu, kun sähkökattilan kokoa kasvatetaan ja siten lisätehoon investointi ei tuo merkittävästi lisää kokonaiskustannuksia. Selvityksen laskelmissa käytetään sähkökattilan kapasiteettina 25 MW.

Parhaaksi lisä- ja varalämmönlähteeksi on työssä arvioitu sähkökattila. Perusteluja sähkökattilan käyttöön ovat esimerkiksi seuraavat tekijät:

- Sähkökattila on edullista varatehoa investoinnin näkökulmasta (sisältäen vain sähkökattilan ja putkistot n. 100–150 k€/MW) ja mahdollistaa kasvihuoneen varatuotannon hallinnan vain kasvihuoneen tarpeisiin.
- 10 ha kasvihuone edellyttäneen joka tapauksessa sähkön suurjänniteliittymän valaistusta varten, jonka myös yli 10 MW sähkökattila tarvitsee.
- Sähkökattilan vaatima tilantarve on vähäinen ja esimerkiksi noin 30 MW sähkökattila vaatii tilaa suojarakennuksineen vain noin 100–150 m².
- Polttavaan tekniikkaan verrattuna sähkökattila ei tarvitse polttoaineen varastointia eikä sille varattavaa tilaa tontilta.
- Mikäli kasvihuoneen varatuotantona olisi kaukolämpö, vaatisi se kaukolämpöyhtiöltä varautumista jopa yli 25 MW:n tehopiikkeihin, mikä voi olla haastavaa äkillisissä tilanteissa saatavilla olevan vapaan lämmöntuotannon kapasiteetin mukaan. Suuri varateho sitoisi myös kaukolämpöyhtiöltä kattilakapasiteettia kasvihuoneelle tai voisi edellyttää kokonaan uusia investointeja lämmöntuotantoon.
- Sähkökattilan varateho on aina saatavilla vain kasvihuoneen käyttöön varmistuen varalämmön saatavuus hukkalämpöjen ennakoiduttomista katkoista huolimatta.
- Sähkökattilaa voidaan säätää nopeasti ylös ja alas jopa muutamien minuuttien aikana jopa 0–100 % tehoalueella. Sähkökattila kykenee reagoimaan merkittävästi nopeammin esimerkiksi kiinteän polttoaineen laitoksiin verrattuna äkillisiin tilanteisiin, joissa lämmityksen tehovajausta syntyisi.

Sähkökattilan hankinnassa varalämmöksi kasvihuoneelle liittyy myös epävarmuuksia, kuten sähköliittymän saatavuus, joka tulee järjestää myös kasvihuoneen valaistusta varten. Sähkökattilan käyttökustannukset muodostuvat sähkön ostoista ja siirtomaksuista alueelliselle sähköyhtiölle. Sähkökattilan varalämmön hinta muodostuu sähkökattilan investoinnista ja lämmityksen todellisista käyttökustannuksista. Sähkökattilan käyttökustannuksia ei ole tarkemmin arvioitu tässä työssä. Arviot varalämmön muodostamista kustannuksista tulee määrittää tarkemmin jatkoselvityksissä.

3. LÄMMÖN TOIMITTAMINEN

Hukkalämpökohteiden ja kasvihuonetonttien välille on rakennettava lämmön toimittamiseen lämmönsiirtoyhteydet. Seuraavana tarkastellaan lämmön toimittamista hukkalämmön tuottajilta kasvihuonetontille vaihtoehtoisilla lämmön jakelun ja operoinnin vaihtoehdoilla. Kasvihuoneen vaatima lämpö on toimitettavissa hukkalämpökohteista kasvihuoneelle joko erillisessä hukkalämpöverkostossa tai liittämällä uusi rakennettava lämpöverkko Harjavallan kaukolämpöverkostoon. Lämmön toimittamista käsitellään periaatetasolla tuomalla esiin eri operointivaihtoehtoja, määrittämällä alustava reitti hukkalämpökohteista kasvihuonetontille sekä arvioimalla investointikustannukset ja taulukoimalla toimijoiden vastuut eri operointivaihtoehdoissa. Lämmönsiirron reittisuunnitelmia ei esitetä julkisessa raportissa.

3.1 Lämmönsiirron ja -talteenoton periaatteet

Lämmön siirron operointivaihtoehtoina esitetään yhteensä neljä operointivaihtoehtoa kaaviomuodossa kuvaten lämmönsiirron- ja talteenoton periaatteet vaihtoehdoissa. Taulukko 4 esittää työssä tarkasteltavat operointivaihtoehdot.

Taulukko 4. Lämmönsiirron ja -talteenoton tarkasteltavat operointivaihtoehdot

Operointivaihtoehto	Lyhyt kuvaus	Yhteys kaukolämpöverkkoon
VE1	Erillinen operaattori kerää ja toimittaa lämmön	Ei
VE2	Hukkalämpöjen tuottajat toimittavat lämmön itse	Ei
VE3	Kasvihuonetoimija kerää lämmöt itse	Ei
VE4	Hukkalämpö ja varalämpö kytketty välillisesti kaukolämpöverkkoon	Kyllä

Ensimmäiset kolme vaihtoehtoa VE1-VE3 esitetään luvuissa 3.1.1-3.1.3. Vaihtoehdoissa yhdistävänä tekijänä on, että hukkalämpö otetaan talteen hukkalämmön tuottajien tonteilla ja hukkalämpö 2 priimataan ennen lämmön siirtoa. Hukkalämmön 1 lämpötilataso on riittävä kasvihuoneen lämmitykseen ympäri vuoden. Hukkalämmön 2 lämpötilaa on korotettava 45 °C:sta vaaditulle noin 70 °C lämpötilatasolle, jota varten edellytetään lämpöpumppulaitos hukkalämmön 2 tontille. Hukkalämmöt siirretään uusien siirtojohtojen välityksellä kasvihuoneelle matalalämpötilaisessa lämpöverkostossa. Uusi hukkalämpöverkko ei ole liitoksissa Harjavallan kaukolämpöverkostoon. VE1-VE3 poikkeavat toisistaan erilaisilla investointi- ja operointivastuilla.

Neljäntenä operointivaihtoehtona tarkastellaan kaukolämpöverkostoon liitoksissa olevaa operointivaihtoehtoa VE4 luvussa 3.1.4. Vaihtoehdossa VE4 erillisen hukkalämpöverkoston sijaan hukkalämpökohteet ja kasvihuone ovat liitoksissa Harjavallan kaukolämpöverkostoon. Hukkalämpökohteet ja kaukolämpöverkosto voivat olla liitoksissa toisiinsa joko suoralla tai välillisellä kytkennällä. Suora kytkentä viittaa suoraan liittymiseen kaukolämpöverkostoon uudella verkostolla ilman että verkostojen välissä on lämmönsiirrintä. Suora kytkentä edellyttäisi talviaikana hukkalämpötilojen korottamista jopa yli 100 °C:een, mikä toisi lisäinvestointeja ja priimauksen (lämpötilatason korottaminen) aiheuttamia kustannuksia. Työssä käsitellään vain välillistä kytkentää, jonka katsotaan olevan kustannustehokkaampi sekä soveltuvampi ja joka mahdollistaa lämmön siirron lämpöverkkojen välillä. Suoraa kytkentää ei käsitellä tässä raportissa, koska vaihtoehto on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.

Välillisessä kytkennässä hukkalämmöt ja kaukolämpöverkosto kytkeytyvät toisiinsa varalämpöaseman välityksellä. Verkostot on erotettu hydraulisesti toisistaan, mutta verkostojen välillä voidaan siirtää hukkalämpöä ja tarvittaessa varalämpöä kumpaankin suuntaan. Kasvihuoneen

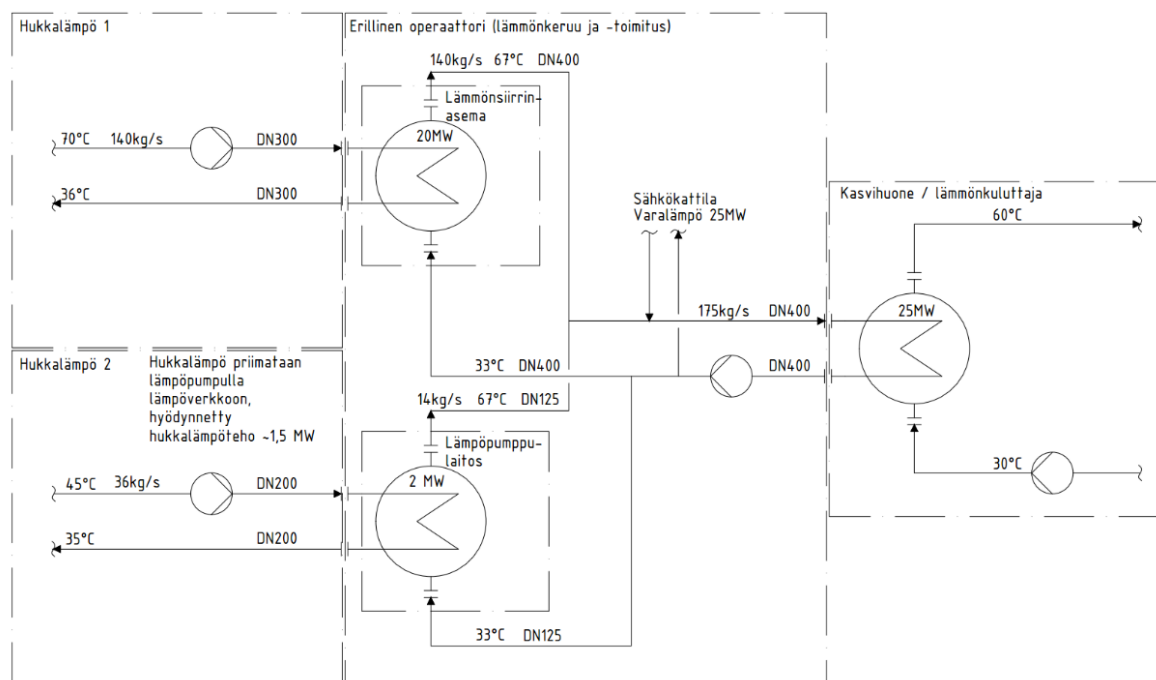
varalämmönlähteenä toimii joko varalämpöaseman yhteydessä sijaitseva sähkökattila tai kaukolämpöverkon puolelta huippukattilat. Teknis-taloudellisesti tarkasteltuna kytkentä luo synergiana hyötyä, sillä se voisi mahdollistaa varalämmön toimittamisen kaukolämpöverkosta kasvihuoneelle ja sähkökattilan käytön verkostojen välillä molempiin suuntiin. On kuitenkin otettava huomioon, että ensisijaisesti sähkökattila palvelee kasvihuoneen varalämmitystä. Väliäinen kytkentä mahdollistaa järjestelmien lämpötilatasojen pitämisen eri tasoilla, mutta mahdollistaen hyödyt verkostojen välillä varalämmön näkökulmasta. Selvityksessä ei ole tarkemmin tarkasteltu Harjavallan kaukolämpöverkon liitoskohtia tai putkimitoituksien soveltuvuutta kaukolämpöverkon puolella. Jatkoselvityksissä on varmistettava kaukolämpöverkon soveltuva liitoskohta.

Seuraavana esitetään eri vaihtoehdot lämmönsiirrolle ja -talteenotolle. Vaihtoehdot kuvataan yksinkertaistettuina kaavioina esittäen katkoviivoituksena eri toimijoiden vastuualueet.

3.1.1 Erillinen operaattori kerää ja toimittaa lämmön

Operointivaihtoehdossa VE1 erillinen operaattori vastaa lämmön keräämisestä ja toimittamisesta. Alla olevassa kuvassa esitetään operointivaihtoehto kaaviomuodossa (Kuva 7).

VE 1 Erillinen operaattori kerää ja toimittaa lämmön



Kuva 7. Operointivaihtoehdon VE1 periaatekaavio

Hukkalämpökohteeseen 1 täytyy rakentaa lämmönsiirrinasema. Lämpö siirretään lämmönvaihtimilla hukkalämpöverkkoon, mistä se edelleen toimitetaan lämmönkuluttajalle. Lämmönsiirrinase-
man sijoitus ja lämmöntalteenotto-prosessin (LTO-prosessin) toteuttaminen vaatii yhteistyötä ja
sopimussuhteen hukkalämpökohteen kanssa. Hukkalämpökohteessa 2 lämpö priimataan lämpö-
pumpulla, koska hukkalämpö on matalassa lämpötilassa. Lämpöpumppulaitokselta lämpö edelleen
toimitetaan lämmönkuluttajalle. Lämpöpumppulaitoksen sijoitus ja LTO-prosessin toteuttaminen

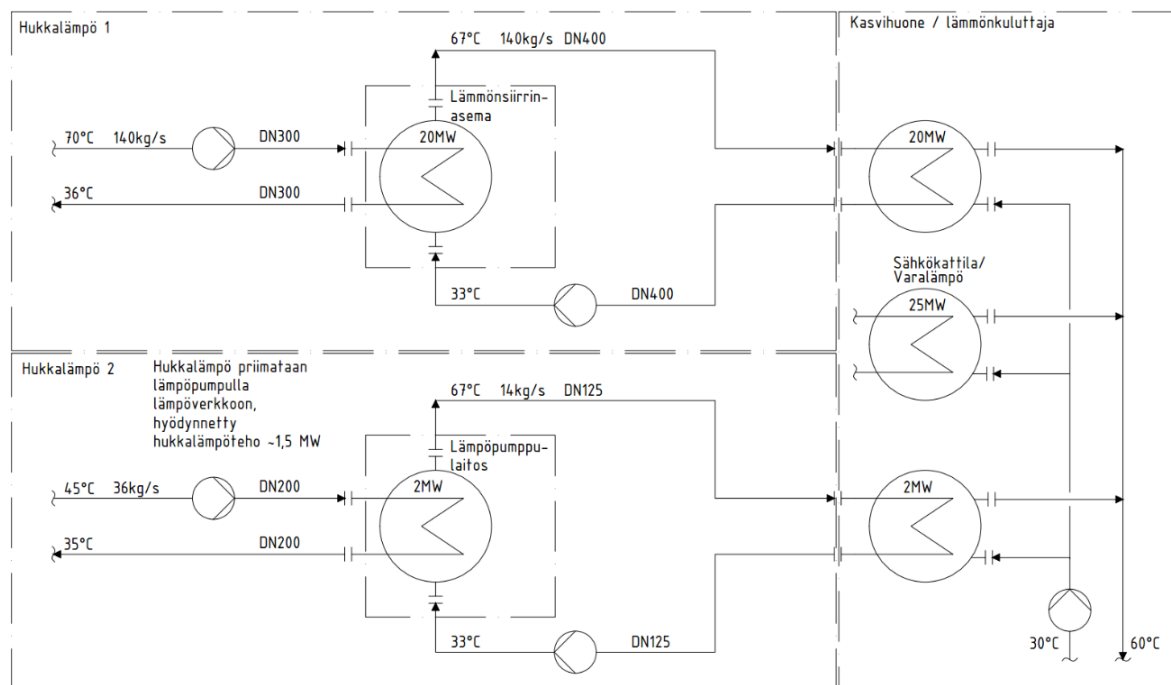
vaatii yhteistyötä ja sopimussuhteen hukkalämpökohteen kanssa. Lisäksi lämpöpumppulaitoksen sähköliittymä vaatii erillisen selvityksen.

Hukkalämpöverkkoon täytyy rakentaa varalämmönlähde tilanteita varten, jolloin hukkalämpöjä ei ole saatavilla riittävästi tai ollenkaan. Kasvihuoneella on oma lämmönvaihdin, jonka välityksellä lämpö toimitetaan käyttökohteisiin.

3.1.2 Hukkalämpöjen tuottajat toimittavat lämmön itse

Operointivaihtoehdossa VE2 hukkalämmön tuottajat vastaavat lämmön keräämisestä ja toimittamisesta. Kuvassa alla esitetään operointivaihtoehto kaaviomuodossa (Kuva 8).

VE 2 Hukkalämpöjen tuottajat toimittavat lämmön itse



Kuva 8. Operointivaihtoehdon VE2 periaatekaavio

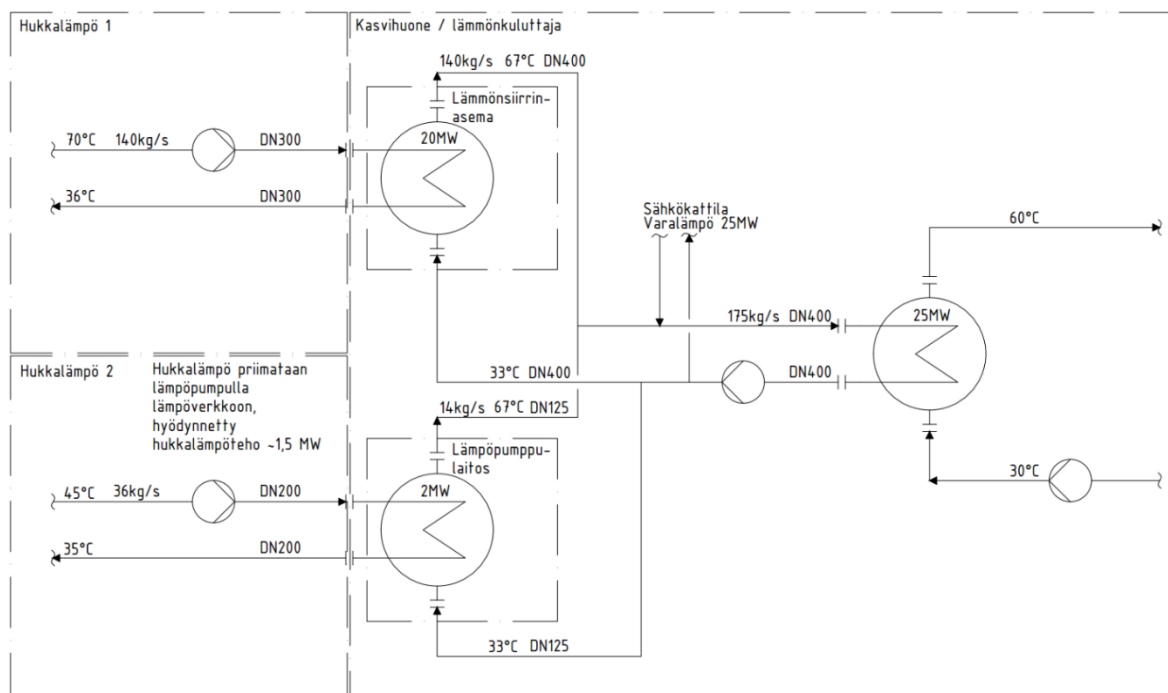
Periaatekaavio vastaa luvussa 3.1.1 esitettyä ratkaisua (VE1) muutoin, mutta vastuurajapinnat muuttuvat siten, että hukkalämmön tuottajat vastaavat investoinneista lämmön talteenottoon ja sen jakeluun kasvihuoneelle saakka.

Lämmönkäyttäjän täytyy edelleen hankkia varalämmönlähde niitä tilanteita varten, jolloin hukkalämpöjä ei ole saatavilla riittävästi tai ollenkaan. Kasvihuoneella on omat lämmönvaihtimet, joiden välityksellä lämpö toimitetaan käyttökohteisiin.

3.1.3 Kasvihuonetoimija kerää hukkalämmöt itse

Operointivaihtoehdossa VE3 kasvihuonetoimija vastaa lämmön keräämisestä ja toimittamisesta. Kuvassa alla esitetään operointivaihtoehto kaaviomuodossa (Kuva 9). Vaihtoehdossa kasvihuonetoimijan vastuut kasvavat ja ylettyvät hukkalämmön tuottajien lämmön talteenottoon saakka.

VE 3 Kasvihuonetoimija kerää hukkalämmöt itse



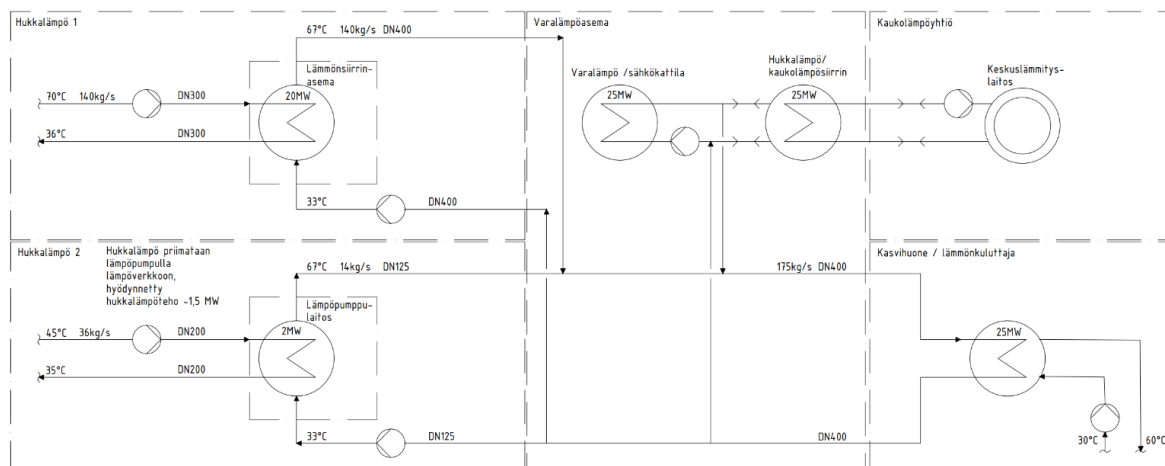
Kuva 9. Operointivaihtoehdon VE3 periaatekaavio

Kasvihuonetoimija toimii hukkalämmön talteenottajana ja vastaa lämmönjakelusta, mutta muu-
toin kaavio vastaa luvun 3.1.1 kaaviota. Kasvihuonetoimija vastaa varalämmön järjestämisestä eli
investoinnista sähkökattilaan.

3.1.4 Hukkalämpö ja varalämpö kytketty välillisesti kaukolämpöverkkoon

Operointivaihtoehdossa VE4 hukkalämmöt ja kasvihuone ovat välillisesti kytkettynä kaukolämpöverkkoon varalämpöaseman kautta. Alla olevassa kuvassa esitetään operointivaihtoehdo kaavio-
muodossa (Kuva 10). Hukkalämmöt syötetään erilliseen hukkalämpöverkkoon, mikä on matalam-
massa lämpötilatasossa kuin varalämpöaseman toisella puolella sijaitseva kaukolämpöverkko.

VE 4 Hukkalämmöt ja varalämpö kytketty välillisesti kaukolämpöverkkoon



Kuva 10. Operointivaihtoehdon VE4 periaatekaavio

Hukkalämpökohteeseen 1 täytyy rakentaa lämmönsiirrinasema. Lämpö siirretään lämmönvaihtimilla hukkalämpöverkkoon, mistä se edelleen toimitetaan varalämpöasemalle. Lämmönsiirrinase-
man sijoitus ja LTO-prosessin toteuttaminen vaatii yhteistyötä ja sopimussuhteen hukkalämpö-
kohteen kanssa.

Hukkalämpökohteeseen 2 täytyy rakentaa lämmön priimaus lämpöpumpulla, koska hukkalämpö
on matalassa lämpötilassa siirrettäväksi hukkalämpöverkkoon. Lämpö siirretään lämpöpumpulai-
tokselta hukkalämpöverkkoon, mistä se edelleen toimitetaan varalämpöasemalle. Lämpöpumppu-
laitoksen sijoitus ja LTO-prosessin toteuttaminen vaativat yhteistyötä ja sopimussuhteen hukka-
lämpökohteen kanssa. Lisäksi lämpöpumpulaitoksen ja varalämpöaseman sähköliittymät edellyt-
tävät erillistä selvitystä.

Varalämpöasemalla sijaitsee sähkökattila sekä lämmönsiirrin kaukolämpöverkon ja hukkalämpö-
verkon välillä. Hukkalämpöä voidaan toimittaa kasvihuoneelle ja kaukolämpöverkkoon, mikäli se
primataan sähkökattilalla tai keskuslämmityslaitoksella kaukolämpöverkkoon sopivalle lämpötila-
tasolle. Sähkökattila toimii kasvihuoneen varalämmönlähteenä ja sillä voidaan tuottaa myös kau-
kolämpöä kaukolämpöverkkoon siirtimen välityksellä. Lämmöntoimitus kaukolämpöverkosta huk-
kalämpöverkkoon on myös mahdollista. Tällöin kaukolämpö voi toimia myös varalämpönä kasvi-
huoneelle. Varalämpöasema ja yhteys kaukolämpöverkkoon vaatii yhteistyötä ja sopimussuhteen
kaukolämpöyhtiön kanssa. Lisäksi on varmistettava, vaativatko kytkennät kaukolämpöverkon
puolella muutoksia ja investointeja.

3.2 Lämmön siirron lämpöhäviöt

Lämmön siirron lämpöhäviöt arvioidaan Energiateollisuus ry:n ”Kaukolämpöjohtojen eristyspak-suuden optimointikalut”-laskentapohjilla. Lämpöhäviöinä ilmoitetaan meno- ja paluujohdon yhteinen keskimääräinen lämpöhäviöteho (MW) ja lämpöhäviöt (MWh) vuositason. Lämpöhäviölaskennan perusteella voidaan arvioida eri käyttötilanteissa lämpöhäviön vaikutusta kasvihuoneen menolämpötilalle.

Lämmön siirron lämpöhäviöt on huomioitu energiatarvelaskelmissa luvussa 2.3. Yksinkertaistuksien ja laskentatulosten selkeyttämisen vuoksi lämpöhäviötä ei ole erikseen laskettu vaihtoehdolle VE4. Lämpöhäviöt olisivat vaihtoehdossa VE4 hieman suuremmat, mutta se ei muuta kokonaistar-kastelua lämpöhäviöiden näkökulmasta merkittävästi. Lämpöhäviölaskennassa sovelletaan vaihto-ehdojen VE1-VE3 siirtojohtojen pituuksia ja putkikokoja:

- Siirtojohdon 1 putkikoko on DN400 ja pituus noin 3 000 ka-m
- Siirtojohdon 2 putkikoko on DN125 ja pituus noin 2 000 ka-m

Putket ovat tyypiltään 2Mpuk-putkityyppiä. Seuraavassa taulukossa esitetään siirtojohtojen 1 ja 2 lämpöhäviöt perustuen lämpöhäviölaskentaan (Taulukko 5).

Taulukko 5. Siirtojohtojen lämpöhäviöt, menolämpötilan vaihteluväli ja yhteiset vuositason lämpöhäviöt

Siirtojohdon koontitiedot	Siirtojohto 1	Siirtojohto 2
Pituus [ka-m]	3000	2000
DN-koko [-]	DN400	DN125
Meno- ja paluujohdon yhteinen lämpöhäviöteho (keskimäärin) [MW]	0,105	0,043
Kasvihuoneen menolämpötilan vaihteluväli eri käyttötilanteissa [°C]	66,7–63,3	66,6–65,0
Lämpöhäviöt vuositason [MWh/a]	920	377
Siirtojohtojen 1 ja 2 lämpöhäviö vuositason [MWh/a]	1 296	

Lämmönjakelun kokonaishyötysuhde saadaan selville, kun jaetaan kasvihuoneella käytetty vuosi-lämpöenergia siirretyllä lämpöenergialla. Lämmönjakelun kokonaishyötysuhteeksi saadaan noin 96,5 % (Taulukko 6).

Taulukko 6. Lämmönjakelun kokonaishyötysuhde

Kasvihuoneen lämmöntarve [MWh/a]	34 551
Verkostoon lämpöhäviöt vuositason [MWh/a]	1 296
Lämmönjakelun kokonaishyötysuhde [-]	96,4 %

3.3 Kustannusarviointi

Kustannusarviointiin sisältyy kustannusten arviointi siirtojohtojen, lämmönsiirrinase-man, lämpö-pumppulaitoksen ja varalämmön rakentamiselle sekä varalämpöasemalle. Kustannusarviot esite-tään siten, että Taulukko 7 esittää kustannusarviot vaihtoehdoille VE1, VE2 ja VE3 sekä Taulukko 8 esittää kustannusarvion vaihtoehdolle VE4.

Taulukossa esitetyt kustannusarviot perustuvat julkisiin lähteisiin ja Rambollin sisäiseen hintatie-toon vastaavista hankkeista. Siirtojohtojen kustannukset on arvioitu Energiateollisuus ry:n kauko-lämpöjohtojen rakentamiskustannuksien perusteella. Kustannusarviot on laadittu selvitystason

tarkkuustasolla ($\pm 30\%$) siinä laajuudessa kuin ne selvityksen tekohetkellä ovat olleet tiedossa. Kustannukset eivät sisällä sähköliittymien kustannuksia, eikä kasvihuoneen lämmönjakolaitteistoja, koska ne on investoitava joka tapauksessa kasvihuoneelle.

Taulukko 7. Kustannusarvio operointivaihtoehtoille VE1, VE2 ja VE3

VE1, VE2, VE3	
Hukkalämmöt infra	Kustannusarvio, € (alv 0 %)
Siirtojohto 1	3 525 000
Siirtojohto 2	1 075 000
Lämmönsiirrinasema	1 520 000
Lämpöpumppulaitos	1 710 000
Varalämpö (Sähkökattila)	2 750 000
Suunnittelu ja rakennuttaminen	846 400
Yhteensä	11 426 400
+15 %:n varauksen kanssa	13 140 360

Kustannusarvio 15 % varaukset huomioiden on vaihtoehtoille VE1, VE2 ja VE3 yhteensä noin 13,14 M€.

Taulukko 8. Kustannusarvio operointivaihtoehtolle VE4

VE4	
Hukkalämmöt infra	Kustannusarvio, € (alv 0 %)
Putkisto LS1 Varalämpöasemalle	1 800 000
Putkisto LS2 Varalämpöasemalle	1 325 000
Putkisto: Varalämpöasema - Kaukolämpö	172 500
Putkisto: Varalämpöasema - Kasvihuone	2 300 000
Lämmönsiirrinasema	1 520 000
Lämpöpumppulaitos	1 710 000
Varalämpöasema	3 337 500
Suunnittelu ja rakennuttaminen	973 200
Yhteensä	13 138 200
+15 %:n varauksen kanssa	15 108 930

Kustannusarvio 15 % varaukset huomioiden on vaihtoehtolle VE4 yhteensä noin 15,11 M€. Vaihtoehtojen välinen kustannusero on arvioihin perustuen noin 2 M€. Suurempi kustannusarvio perustuu siihen, että vaihtoehtossa VE4 rakennetaan lämmönsiirtoyhteyksiä noin 1 kilometri enemmän ja lisäksi investoidaan varalämpöasema kaukolämpöverkon liitoskohdan lähelle.

4. HUKKALÄMMÖN HYÖDYNTÄMISEN LIIKETOIMINNAN PERIAATTEET

Hukkalämmön hyödyntämisen liiketoiminnan periaatteista rakennetaan investointi- ja operointimallit. Tavoitteena on taulukoida operatiiviset tehtävät sekä rakentaa kustannusrakennemallit eri vaihtoehtoista tuoden eri vaihtoehtojen väliset eroavaisuudet esiin vertailun mahdollistamiseksi.

4.1 Operatiiviset tehtävät

Taulukko 9 esittää kasvihuoneen lämmön talteenoton, siirron ja jakelun operatiiviset tehtävät. Tehtävät on ryhmitelty lämmönsiirtoprosessin eri vaiheisiin, ja kunkin vaiheen osalta kuvataan lyhyesti käyttöön, kunnossapitoon, hallinnointiin, raportointiin ja laskutukseen liittyvät toiminnot.

Taulukko 9. Operatiiviset tehtävät

Operatiiviset tehtävät	
Lämmön talteenotto	- Operointi operaattorin toimesta - Kunnossapito kohdistuu venttiileihin, lämmönvaihtimiin (esim. pesu), pumppuihin, instrumentteihin ja lianerottimiin. Tyypillisesti kunnossapito on ennakoivaa ja säännöllistä, pääosin vuosihuoltotyyppistä. - Sopimusten hallinta eri osapuolten välillä (lämmöntuottaja ja -talteenottaja) - Tietojen keruu talteen otetusta lämmöstä (mm. määrä, lämpötilat) - Laskutus talteen otetusta lämmöstä ja/tai talteenottopalveluista
Lämmön siirto	- Käyttö kohdistuu vuodonilmaisujärjestelmän seurantaan (kosteuden havaitseminen), verkon säännölliseen tarkkailuun (esim. venttiiliakvojen tarkistaminen), vedenkulutuksen seurantaan (mittaukset ja poikkeavan lisäveden käytön havaitseminen) sekä ikääntyneiden verkkojen lämpökuvaukseen. - Kunnossapito on vähäistä, eikä merkittäviä toimenpiteitä yleensä tarvita. Vuosikymmenien kuluttua voidaan arvioida saneerausvaihtoehtoja. - Kunnossapitoon kuuluu satunnaisia ad-hoc -tyyppisiä toimenpiteitä, esimerkiksi ulkopuolisen toimijan aiheuttamien vahinkojen korjaaminen. - Sopimusten hallinta verkonomistajien ja -operaattorien kanssa - Siirtotehon, häviöiden ja korjaustoimien seuranta ja raportointi - Kulutustietojen keruu siirtovaiheessa - Laskutuksen toteutus siirto-osapuolten välillä
Lämmön käyttö	- Käyttö kohdistuu lämmönvaihtimiin, sulkuventtiileihin, lianerottimeen ja energiamittaukseen (rajapinta asiakkaan ja lämmöntoimittajien välillä on energiamittarin ja lianerottimen jälkeen). Lisäksi käyttöön kuuluu seuranta asiakkaan vastuulle kuulumattomista laitteista sekä kulutuslukujen tarkistaminen. - Kunnossapitotarve on hyvin vähäistä, ja se keskittyy pääasiassa sähkö- ja automaatiokomponenttien ennakoivaan huoltoon. - Loppukäyttäjien sopimusten ja hinnoittelun hallinta - Jakelutehon ja häviöiden seuranta sekä kulutustietojen keruu jakeluvaiheessa - Loppukäyttäjien laskutus kulutustietojen mukaan

4.2 Investointi- ja operointimallit

Alla taulukossa tarkastellaan vaihtoehtoisia malleja lämmönjakelun investointiin ja operointiin kasvihuoneympäristössä (Taulukko 10). Kunkin mallin osalta on kuvattu toimijoiden vastuut, roolit ja operatiiviset tehtävät sekä arvioitu eri operointivaihtoehtojen hyvät ja huonot puolet eri osapuolten näkökulmasta.

Taulukko 10. Investointi- ja operointimallit

Malli	Toimijoiden vastuut, roolit ja operatiiviset tehtävät	Hyvät puolet	Huonot puolet
VE1: Erillinen operaattori Erillinen operaattori vastaa hukkalämmön keruusta, sen toimittamisesta kasvihuoneille ja lämpöverkon rakentamisesta.	Operaattori: Toteuttaa investoinnin. Omistaa ja hallinnoi verkkoa, vastaa sopimuksista. Tuottajat: Toimittavat lämmön keruupisteeseen. Kasvihuonetoimija: Ostaa lämmön.	Operaattori: Keskitetty hallinta ja liiketoimintamahdollisuus. Ei uudenlaista henkilöstön tarvetta. Tuottajat: Ei investointia verkkoon eikä vastuuta lämmönjakelusta. Kasvihuonetoimija: Ei investointia verkkoon. Lämmitysenergiapalveluna.	Operaattori: Suuret investoinnit ja pieni riski loppuasiakkaan pysyvyydestä. Tuottajat: Riippuvuus operaattorista. Kasvihuonetoimija: Ei kontrollia verkosta, lämmöntoimituksesta eikä siirtohinnasta.
VE2: Hukkalämpötuottajat investoivat Hukkalämpöjen tuottajat hoitavat lämmön toimituksen itse ja rakentavat omat jakeluputkensa kasvihuoneille.	Tuottajat: Investoivat, omistavat ja ylläpitävät putkistot, vastaavat toimituksesta. Kasvihuonetoimija: Vastaanottaa lämmön.	Tuottajat: Hallinta talteenotosta ja toimituksesta. Kasvihuonetoimija: Ei investointia verkkoon ja suora yhteys tuottajaan.	Tuottajat: Korkeat investoinnit ja tekninen vastuu. Operointivastuiden jakaminen tuottajien välillä. Kasvihuonetoimija: Monimutkainen hallinta useiden toimittajien kanssa.
VE3: Kasvihuonetoimijat investoivat Kasvihuonetoimija rakentaa lämpöverkon ja kerää hukkalämmön eri kohteista omaan käyttöön.	Kasvihuonetoimija: Investoi, omistaa verkon, hallinnoi sopimuksia ja keruuta. Tuottajat: Toimittavat lämmön verkkoon.	Kasvihuonetoimija: Täysi hallinta ja optimointi. Tuottajat: Suhteellisen yksinkertainen toimitus verkkoon.	Kasvihuonetoimija: Suuret investoinnit ja tekninen vastuu. Ei omaa ydinosamaisaluetta. Tarve uudelle henkilöstölle tai ostopalvelulle. Tuottajat: Riippuvuus yhden toimijan verkosta.

Malli	Toimijoiden vastuut, roolit ja operatiiviset tehtävät	Hyvät puolet	Huonot puolet
VE4: Hukka-lämpö ja varalämpö kytketty välillisesti kaukolämpöverkkoon Kaupungin kaukolämpöverkkoa laajennetaan, ja hukkalämpöä syötetään myös kaukolämpöverkkoon.	Kaukolämpöyhtiö: Investoi, omistaa ja hallinnoi verkkoa. Tuottajat: Syöttävät hukkalämmön verkkoon. Kasvihuonetoimija: Ostaa lämmön kaukolämpöyhtiöltä.	Tuottajat: Helppo toimitus kaukolämpöverkkoon. Kasvihuonetoimija: Hyödyntää valmiin infrastruktuurin. Kaukolämmön toimitusvelvoite. Kaukolämpöyhtiö: Lisää asiakkaita ja kapasiteettia. Ydinosaamisaluetta ja -liiketoimintaa.	Tuottajat: Mahdolliset tekniset vaatimukset ja sopimusrajoitteet. Kasvihuonetoimija: Riippuvuus kaukolämpöyhtiöstä ja sen hinnoittelusta. Kaukolämpöyhtiö: Investoinnin lyhyt kuoletusaika.

Yllä kuvattujen investointi- ja operointimallien lisäksi työn aikana on tunnistettu yhteisinvestointimahdollisuus vaihtoehdossa 4. Vaihtoehto VE4 voitaisiin toteuttaa hybridimallilla, jossa varalämpöaseman investointiin osallistuu sekä kasvihuoneen lämmönjakelun operaattori että Harjavallan kaukolämpöyhtiö. Hybridivaihtoehdossa varalämpöaseman investoinnit jaetaan osapuolien kesken tasan tai jakamalla investointivastuut osapuolien välillä saadun hyödyn mukaisesti. Varalämpönä toimiva sähkökattila voi olla toimijoiden yhteisinvestointi, jota käytetään molempien verkkojen lämmöntarpeen mukaan, ja jonka avulla on mahdollista mahdollisesti vähentää myös fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Hybridimallin toteuttaminen vaatii selkeät sopimusehdot, joilla molemmat osapuolet hyötyvät yhteisinvestoinneista tasapuolisesti. Hybridimallia ei ole tuotu kustannuskennemallissa tarkemmin esille, mutta malli nähdään jatkoselvityksen arvoisena asiana.

4.3 Kustannusrakennemalli

Työn aikana tarkasteltiin karkealla tasolla eri vaihtoehtojen kustannuksia ja niiden mahdollista vaikutusta lämmön hintaan. Arvioinnissa on huomioitu muun muassa rahoitus- ja käyttökulut sekä pääomantuottovaatimukset eri investoijille. Laskenta tuo esille lämmön siirtohinnan, eron kaukolämmön hintaan ja antaa näkemyksen hukkalämmön arvolle sen tuottajille. Seuraavissa alaluvuissa on esitetty kyseisissä laskelmissa käytetyt lähtöarvot ja oletukset sekä laskennan tulokset.

4.3.1 Laskennan lähtöarvot ja oletukset

Laskennassa hyödynnetyt lähtöarvot ja käytetyt oletukset vaihtoehtoittain on esitelty alla olevassa taulukossa (Taulukko 11). Hukkalämpöön 2 viitataan lyhenteellä "HL2".

Taulukko 11. Siirtohintalaskennan lähtöarvot ja oletukset.

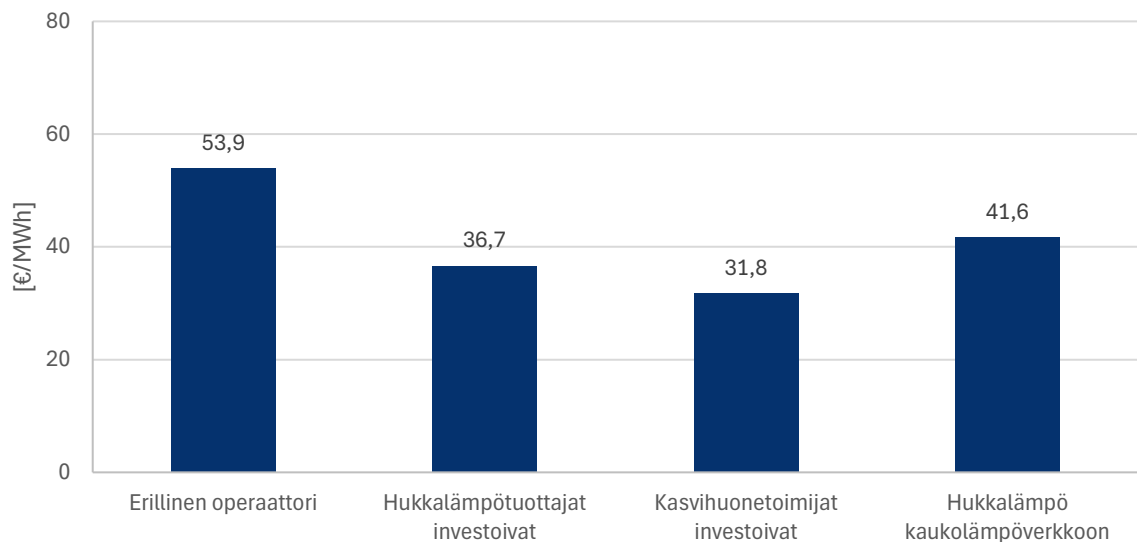
	VE1: Erillinen operaattori	VE2: Hukkalämpö- tuottajat investoivat	VE3: Kasvihuone- toimijat investoivat	VE4: Hukkalämpö kaukolämpö- verkkoon
Investointi sis. HL2 ja sis. 15 %:n varaus [m€]	13 140 360	13 140 360	13 140 360	15 108 930
Investointi ilman HL2 ja sis. 15 %:n varaus [m€]	9 681 390	9 681 390	9 681 390	11 339 460
Henkilöstökustannukset ¹ [€/vuosi]	-	8000	4000	-
Muu OPEX (=lämpöpumpun ja pumppauksen sähkönkulutus) [€/vuosi], kun HL2 mukana	40 700	40 700	40 700	40 700
Muu OPEX (=pumppauksen sähkönkulutus) [€/vuosi], ilman HL2 ²	15 000	15 000	15 000	15 000
Oman pääoman tuotto-odotus [-]	12 %	8 %	8 %	8 %
Vieraan pääoman tuotto-odotus [-]	-	-	6 %	-
Vieraan pääoman osuus pääomasta [-]	0 %	0 %	40 %	0 %
Poistoaika [v]	10	10	15	20

¹Arvioitu vaihtoehtoittain htp/vuosi -tarve. Arvio perustuu siihen, tarvitaanko uutta henkilöstöä tai ostopalvelua vai onko nykyistä henkilöstöä/soveltuuko nykyinen henkilöstö. Käytetty oletusta 400 €/htp.

²Ainoastaan pumppauskustannus

4.3.2 Lämmön siirtohinnot vaihtoehtoisin

Alla on esitetty siirtohinnot operointivaihtoehtoisin, kun hukkalämpö 2 on huomioitu investointikustannuksessa (Kuva 11).

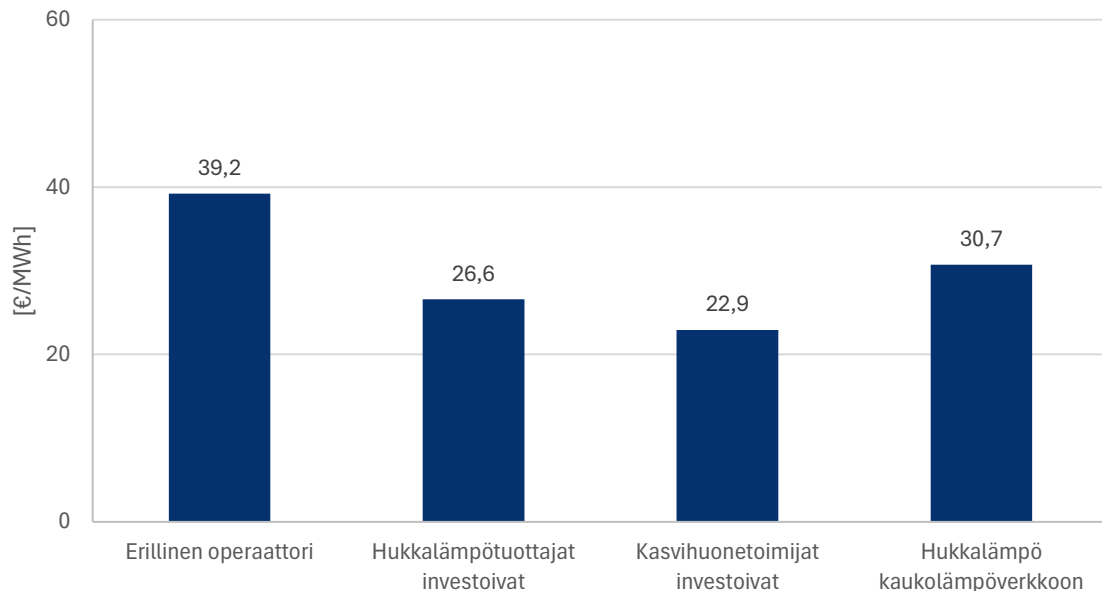


Kuva 11. Viiden ensimmäisen vuoden keskimääräiset siirtohinnot operointivaihtoehtoisin, kun hukkalämpö 2 on sisällytetty investointikustannukseen

Alhaisin siirtohintana (31,8 €/MWh) saavutetaan "Kasvihuonetoimijat investoivat" -vaihtoehtossa (VE3). Tämä johtuu siitä, että investoinnin poistoaika on pidempi (15 vuotta) ja rahoitusrakenne sisältää oman pääoman lisäksi 40 % vierasta pääomaa, jonka korko on oman pääomantuottovaatimusta alhaisempi. Edellä mainitut tekijät pienentävät investoinnin keskimääräistä tuottovaatimusta ja vuosittaisia kustannuksia. Toiseksi edullisin (36,7 €/MWh) on "Hukkalämpötuottajat investoivat" -vaihtoehto (VE2). Syynä on alhaisempi oman pääoman tuotto-odotus (8 %) verrattuna "Erillinen operaattori" -vaihtoehtoon (12 %). Kolmanneksi alhaisin siirtohintana (41,6 €/MWh) on "Hukkalämpö kaukolämpöverkkoon" -vaihtoehtossa (VE4). Tämä johtuu korkeammasta investointitarpeesta, vaikkakin poistoaika on pitkä (20 vuotta). Korkein siirtohintana (53,9 €/MWh) on "Erillinen operaattori" -vaihtoehtossa (VE1). Syynä on korkea oman pääoman tuotto-odotus (12 %) ja lyhyempi poistoaika (10 vuotta), jotka kasvattavat kustannuksia merkittävästi.

Harjavallassa alueen kaukolämmön hinta on 65,91 €/MWh (alv. 0 %). Kun siirtohintoja verrataan tähän, voidaan arvioida maksukykyä hukkalämmöstä eli erotusta kaukolämmön hinnan ja siirtohintan välillä. "Kasvihuonetoimijat investoivat" -vaihtoehtossa (VE3) siirtohintana on 31,8 €/MWh, jolloin erotus on noin 34 €/MWh, ja "Hukkalämpötuottajat investoivat" -vaihtoehtossa (VE2) siirtohintana on 36,7 €/MWh, jolloin erotus on noin 29 €/MWh. Näiden vaihtoehtojen erotukset ovat suuria suhteessa hukkalämmön arvoon. "Hukkalämpö kaukolämpöverkkoon" -vaihtoehtossa (VE4) erotus on noin 24 €/MWh, mikä on vielä kohtuullinen. Sen sijaan "Erillinen operaattori" -vaihtoehtossa (VE1) erotus jää alle 12 €/MWh, mikä on alhainen ja heikentää toteutettavuutta.

Alla on esitetty vastaavasti siirtohinnot ilman hukkalämmön 2 sisällyttämistä investointikustannukseen (Kuva 12).



Kuva 12. Viiden ensimmäisen vuoden keskimääräiset siirtohinnot vaihtoehtojen ilman hukkalämpö 2:n sisällyttämistä investointiin

Ilman hukkalämpö 2:n sisällyttämistä investointikustannukseen alhaisin siirtohintaa (22,9 €/MWh) saavutetaan "Kasvihuonetoimijat investoivat" -vaihtoehdossa (VE3). Tämä johtuu siitä, että poisto-aika on pitkä (15 vuotta) ja rahoitusrakenne sisältää oman pääoman lisäksi 40 % vierasta pääomaa, jonka korko on oman pääomantuottovaatimusta alhaisempi. Edellä mainitut tekijät pienentävät tuottovaatimusta ja vuosittaisia kustannuksia. Toiseksi edullisin (26,6 €/MWh) on "Hukkalämpötuottajat investoivat" -vaihtoehto (VE2). Syynä on kohtuullinen oman pääoman tuotto-odotus (8 %), mikä tekee pääomantuottovaatimuksesta maltillisen verrattuna vaihtoehtoon "Erillinen operaattori" (VE1). Kolmanneksi alhaisin siirtohintaa (30,7 €/MWh) on "Hukkalämpö kaukolämpöverkkoon" -vaihtoehdossa (VE4). Tämä johtuu suuremmasta investointitarpeesta, vaikkakin poisto-aika on pitkä (20 vuotta), mikä nostaa kokonaiskustannuksia. Korkein siirtohintaa (39,2 €/MWh) on "Erillinen operaattori" -vaihtoehdossa (VE1). Syynä on korkea oman pääoman tuotto-odotus (12 %) ja lyhyempi poisto-aika (10 vuotta), jotka kasvattavat kustannuksia merkittävästi.

Kun siirtohintaa edelleen verrataan alueen kaukolämmön energiamaksuun, voidaan arvioida erotusta kaukolämmön hinnan ja siirtohinnan välillä. "Kasvihuonetoimijat investoivat" -vaihtoehdossa (VE3) siirtohintaa on 22,9 €/MWh, jolloin erotus on noin 43 €/MWh, ja "Hukkalämpötuottajat investoivat" -vaihtoehdossa (VE2) siirtohintaa on 26,6 €/MWh, jolloin erotus on noin 39 €/MWh. "Hukkalämpö kaukolämpöverkkoon" -vaihtoehdossa (VE4) erotus on noin 35 €/MWh. Näissä vaihtoehtojen erotukset ovat suuria, mikä tekee hukkalämmön hyödyntämisestä houkuttelevaa. "Erillinen operaattori" -vaihtoehdossa (VE1) erotus jää alle 27 €/MWh, mikä on alhaisin vaihtoehtoista, mutta edelleen kohtuullinen.

Hukkalämmön 2 poisjättäminen alentaa siirtohintaa merkittävästi. Kun hukkalämpö 2 sisältyy investointiin, siirtohintojen vaihteluväli on noin 32–54 €/MWh, kun taas ilman hukkalämpöä 2 siirtohintojen taso laskee noin 23–39 €/MWh. Erotus on 8–14 €/MWh, mikä parantaa kustannuskilpailukykyä. Kaukolämmön hinnan (65,91 €/MWh) ja siirtohinnan erotus paranee vastaavasti.

Hukkalämmön 2 ollessa mukana erotus vaihtelee noin 12–34 €/MWh, kun taas ilman hukkalämpöä 2 erotus nousee tasolle 27–43 €/MWh. Tämä tarkoittaa, että kahdessa edullisimmassa vaihtoehdossa erotus on hyvä jo alkuperäisessä tilanteessa ja paranee edelleen, kun hukkalämpö 2 jätetään pois. Korkeimman siirtohinnan vaihtoehdossa erotus jää alhaiseksi molemmissa tapauksissa, mutta parannus on silti huomattava.

5. JATKOSELVITYSTARPEET

Jatkoselvitysten merkitys

Jatkoselvitykset ovat keskeisiä hankkeen etenemisen kannalta. Niiden avulla osapuolet voivat arvioida yhteistyön mahdollisuuksia ja investointien vastuurajoja eri vaihtoehtoissa. Ne tarjoavat realistisia operointimalleja ja syventävät ymmärrystä kustannuksista, riskeistä sekä teknisistä vaatimuksista. Lisäksi jatkoselvitykset tukevat päätöksentekoa ja luovat pohjan konkreettisille toimenpiteille.

Hukkalämmön hyödyntämisen kannattavuuden ja operointimahdollisuuksien tarkempi arviointi edellyttää seuraavia toimenpiteitä:

1. **Lämmönjakelun operaattorin kartoitus ja neuvottelut järjestelyn reunaehdoista kaikkien osallisten kanssa**
2. **Hukkalämmön talteenoton selvittäminen kohteista**
3. **Investointiarvioiden tarkentaminen**
4. **Yhteistyömahdollisuuksien syventäminen Harjavallan kaukolämpöverkon suuntaan.**

Priorisointi perustuu oletukseen, että kasvihuonetoimija investoi kasvihuoneen rakentamiseen.

Selvityksessä tunnistetut jatkoselvitystarpeet listataan seuraavassa alla. Listauksen numerojärjestys pyrkii tuomaan esille eri selvitystarpeiden priorisointijärjestystä eli toimenpiteiden ensisijaista tärkeysjärjestystä. Jatkoselvitystarpeiden listauksessa on oletettu, että kasvihuonetoimija on investoimassa kasvihuoneen rakentamiseen, eikä sen roolia huomioida muuten jatkoselvityksien vaiheistamisessa.

1. Lämmönjakelusta vastaavan operaattorin kartoittaminen: Joko hukkalämmön tuottaja(t) tai kasvihuonetoimija sitoutuvat lämmönjakelun operaattoriksi tai hankkeelle tulee kokonaan ulkopuolinen operaattori
2. Kaupalliset selvitykset ja neuvottelujen avaaminen lämmön hinnoittelusta ja sopimusehdoista toimijoiden välillä.
3. Konseptien ja operointivaihtoehtojen tarkentaminen sekä poissulkeminen operaattorin kiinnittämisen myötä
 - Yhteistyömahdollisuudet ja synergiat kaukolämpöyhtiön kanssa
 - Varalämmön yhteisinvestoinnin ja -operoinnin mahdollisuudet
4. Jatkolaskenta hukkalämpöjen kattavuudesta, priorisoinnista ja yhteistyöstä kaukolämpöverkon suuntaan
 - Kartoitettava hukkalämpöprofiilit ja toimintalämpötilat tarkemmilla mittaustiedoilla, jos tietoja saatavilla
 - Selvitettävä, onko hukkalämmöllä 1 mahdollisuus kattaa suurempi osuus kuin tässä työssä on arvioitu
 - Arvioidaan hukkalämmön 2 merkitystä kasvihuoneen lämmityskäytössä ja investoinnin vaikutusta lämmön kokonaishinnoitteluun
 - Varalämmön tarpeen laajuuden määrittäminen jatkolaskennan perusteella
5. Hukkalämmön talteenoton tekninen tarkentaminen, liitoskohdat, esisuunnittelu sekä kustannusarvion tarkentaminen ennen jatkotoimenpiteitä
6. Tukimahdollisuuksien kartoitus
7. Investointipäätös ja lämmön hankinta-/myyntisopimusten allekirjoittaminen
8. Hankkeen toteutussuunnittelu, rakennuttaminen ja käyttöönotto.

6. YHTEENVETO

Tässä työssä laadittiin esiselvitys Harjavallassa sijaitsevien teollisten hukkalämpöjen hyödyntämisestä kasvihuoneen ympärivuotiseen lämmittämiseen. Työn tavoitteena oli vahvistaa kokonaisymmärrystä alueellisten hukkalämpöjen hyödyntämispotentiaalista kasvihuoneiden käyttöön ja määrittää jatkoselvitystarpeet. Työssä kartoitettiin kahden teollisuuskohteen hukkalämpöprofiilit ja lämpötilatasot. Näiden tietojen perusteella arvioitiin hukkalämmön riittävyttä sekä sen lämpötilan soveltuvuus kasvihuoneen lämmitystarpeisiin. Hukkalämpökohteet sijaitsevat muutaman kilometrin päässä tarkasteltavasta kasvihuonetontista. Hukkalämmön siirtäminen kasvihuoneelle edellyttää siirtojohtojen rakentamista. Työssä tarkasteltiin lämmön siirtojohtojen alustavia reittivaihtoehtoja ja erilaisia operointimalleja lämmön talteenottoon sekä jakeluun kasvihuoneelle.

Työssä käytettiin lähtötietoina referenssikasvihuoneen lämmönkulutustietoja ja lämmitysjärjestelmän teknisiä tietoja. Kasvihuoneen lämmöntarve 10 hehtaarin pinta-alalle on noin 34 550 MWh vuodessa. Laskelmien mukaan hukkalämmöllä voidaan kattaa yli 93 % kasvihuoneen ympärivuotisesta lämmitystarpeesta. Hukkalämmön tuottajalta 1 hyödynnetään noin 32 000 MWh hukkalämpöä vuositasona, keskimäärin 70 °C lämpötilassa. Hukkalämmön tuottajalta 2 hyödynnetään noin 45 °C:n hukkalämpöä, jota lämpöpumppujen avulla nostetaan 70 °C lämpötilaan. Hukkalämpö 2 kattaa noin 1 600 MWh kasvihuoneen lämmöntarpeesta, josta noin 400 MWh on lämpöpumpun lämmön priimaukseen käyttämää sähköä, eli talteen otettavaa hukkalämpöä on noin 1 200 MWh. Lisälämmön tarve on noin 2 350 MWh eli noin 6,6 % kasvihuoneen lämmöntarpeesta.

Hukkalämmöillä 1 ja 2 saavutetaan korkea kattavuus kasvihuoneen lämmitykseen. Hukkalämmön hyötykäytön kannattavuuteen vaikuttavat lämmöntalteenoton ja -siirron sekä lisälämmityksen investoinnit. Investointiarviot laadittiin kahdelle erilaiselle pohjaratkaisulle operointivaihtoehdoksi, joko rakentamalla erillinen hukkalämpöverkosto tai liittämällä hukkalämpökohteet Harjavallan kaukolämpöverkostoon varalämpöaseman kautta. Erillisessä hukkalämpöverkostossa hukkalämmön 1 siirtojohto on noin 3 km ja hukkalämmön 2 siirtojohto noin 2 km. Lisäksi on rakennettava hukkalämmön 1 yhteyteen lämmönsiirrinasema, hukkalämmön 2 yhteyteen lämpöpumppulaitos ja kasvihuoneen varalämmitykseen 25 MW sähkökattila. Kaukolämpöverkostoon liitännässä huomioidaan investoinnissa noin 1 kilometrin pituiset lisäosuudet siirtojohtoihin, varalämpöaseman investointikustannukset sekä liityntä kaukolämpöverkostoon. Kokonaisinvestoinnin suuruus vaihtelee 15 % varaus huomioiden 13–15 M€ välillä. Tarkempaa kytkeytymistä ja yhteistyömahdollisuuksia Harjavallan kaukolämpöverkostoon on selvitettävä jatkotarkasteluissa.

Investointiarvioiden perusteella laadittiin kustannusrakennemallit, joissa tarkasteltiin erilaisia vaihtoehtoja lämmönjakelun operointiin. Operaattorina voi käytännössä toimia niin erillinen operaattori, kuin myös hukkalämmön tuottajat tai kasvihuonetoimija. Hukkalämpö 1 ja 2 huomioituna lämmön siirtohinnaksi saadaan eri operointimalleissa 32–54 €/MWh. Isohkot erot lämmön siirtohinnaista on seurausta oletuksista investoijien erilaisiin tuottovaatimuksiin ja vieraan pääoman tarpeeseen. Verrattuna Harjavallan alueen nykyiseen kaukolämmön energiahintaan, joka on vuonna 2025 noin 66 €/MWh, on lämmön siirtohinna noin 10–30 €/MWh matalampi.

Jos tarkastellaan lämmön siirtohintaa ilman hukkalämpöä 2, on lämmön siirtohinna noin 23–39 €/MWh ja erotus kaukolämmön energiahintaan noin 25–40 €/MWh. Hukkalämmön 2 rooli ja vaikutus lämmön kokonaishintaan on arvioitava tarkemmin myöhemmin.

Lämmön siirtohinna on kilpailukykyinen laskennan perusteella, ja hukkalämmöt ovat kilpailukykyinen vaihtoehto kasvihuoneen lämmittämiseksi. Tarkastelun perusteella matalin lämmön siirtohinna saavutettaisiin, kun investoinnista vastaa kasvihuonetoimija ilman hukkalämpöä 2.

Työssä tunnistettiin jatkoselvitystarpeita, jotka listattiin edellisellä sivulla. Selvityksen perusteella osapuolet pystyvät arvioimaan yhteistyön mahdollisuuksia ja investoinnin vastuurajoja eri vaihtoehtoisissa, erilaisia realistisia vaihtoehtoja operointimalleiksi, sekä syventää jatkokeskusteluissa tavoitteita ja jatkoaskelia hankkeen edistämiseksi.