HUKKALÄMPÖKUORMIEN HYÖDYNTÄMINEN, VARASTOINTI JA KYSYNTÄJOUSTON TEHOSTAMINEN

HUKATON-HANKKEEN LOPPURAPORTTI

gnf
Green Net Finland

HUKATON-hanke 2020

© Green Net Finland, Helsinki
Julkaisu 2/2020

HUKATON

HANKEPARTNERIT:

Green Net Finland, Aalto-yliopisto, Turku AMK, GTK

RAHOITTAJAT:

Euroopan unioni, Euroopan aluekehitysrahasto, Vipuvoimaa EU:lta 2014–2020, Uudenmaan liitto, Nylands förbund, Varsinais-Suomen liitto, Egentliga Finlands förbund, Regional Council of Southwest Finland, Helsinki Helsingfors, Helen

Taitto: Tiina Kuoppala, Graforma

Esipuhe

Tämä raportti on kehityshankkeen "HUKATON – Hukkalämpökuormien hyödyntäminen, varastointi ja kysyntäjouston tehostaminen" loppuraportti. HUKATON-hankkeessa kehitettiin teknistaloudellisesti optimoituja älykkäitä kokonaisratkaisuja hukkalämmön parempaan hyödyntämiseen valituissa tarkastelukohteissa ja tunnistettiin niiden pohjalta monistettavia konsepteja, joita voidaan monipuolisesti hyödyntää rakennetussa ympäristössä myös hankkeen päättymisen jälkeen. HUKATON-hankkeessa kehitystyötä on tehty Uudellamaalla Helsingin kaupungin ja Varsinais-Suomessa yksityisomisteisten tarkastelukohteiden pohjalta, yhdessä kohteiden omistajien, tutkijoiden ja yritysten kanssa.

HUKATON-hanke toteutettiin vuosina 2018–2020 Green Net Finlandin, Aalto-yliopiston, Turun Ammattikorkeakoulun ja Geologian Tutkimuskeskus GTK:n yhteistyönä. Hanke sai rahoituksen EU:n Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR). Hanketta tukivat myös Helen Oy ja Helsingin kaupunki.

Tämän raportin kirjoittajat ovat:

- **Evilina Lutfi** (lyhenteet ja käsitteet, luku 1) ja **Ilkka Aaltio** (luvut 3 ja 4.2), Green Net Finland
- **Janne Hirvonen** (luvut 2.1 ja 4.1.1) ja **Juha Jokisalo** (luvut 2.2 ja 4.1.2), Aalto-yliopisto
- **Rauli Lautkankare** (luvut 2.3, 2.4, 2.5, 4.1.3, 4.1.4 ja 4.1.5), Turun ammattikorkeakoulu

Toimitustyössä avusti **Kaisa Vehkalahti**, Green Net Finland. Suunnittelutyössä olivat mukana myös **Risto Kosonen**, Aalto-yliopisto sekä **Asmo Huusko**, GTK.

Kehitystyötä ohjasi hankkeelle asetettu ohjausryhmä, jonka kommentteja on pyydetty tämän raportin sisällön luonnokseen. Ohjausryhmään kuuluivat:

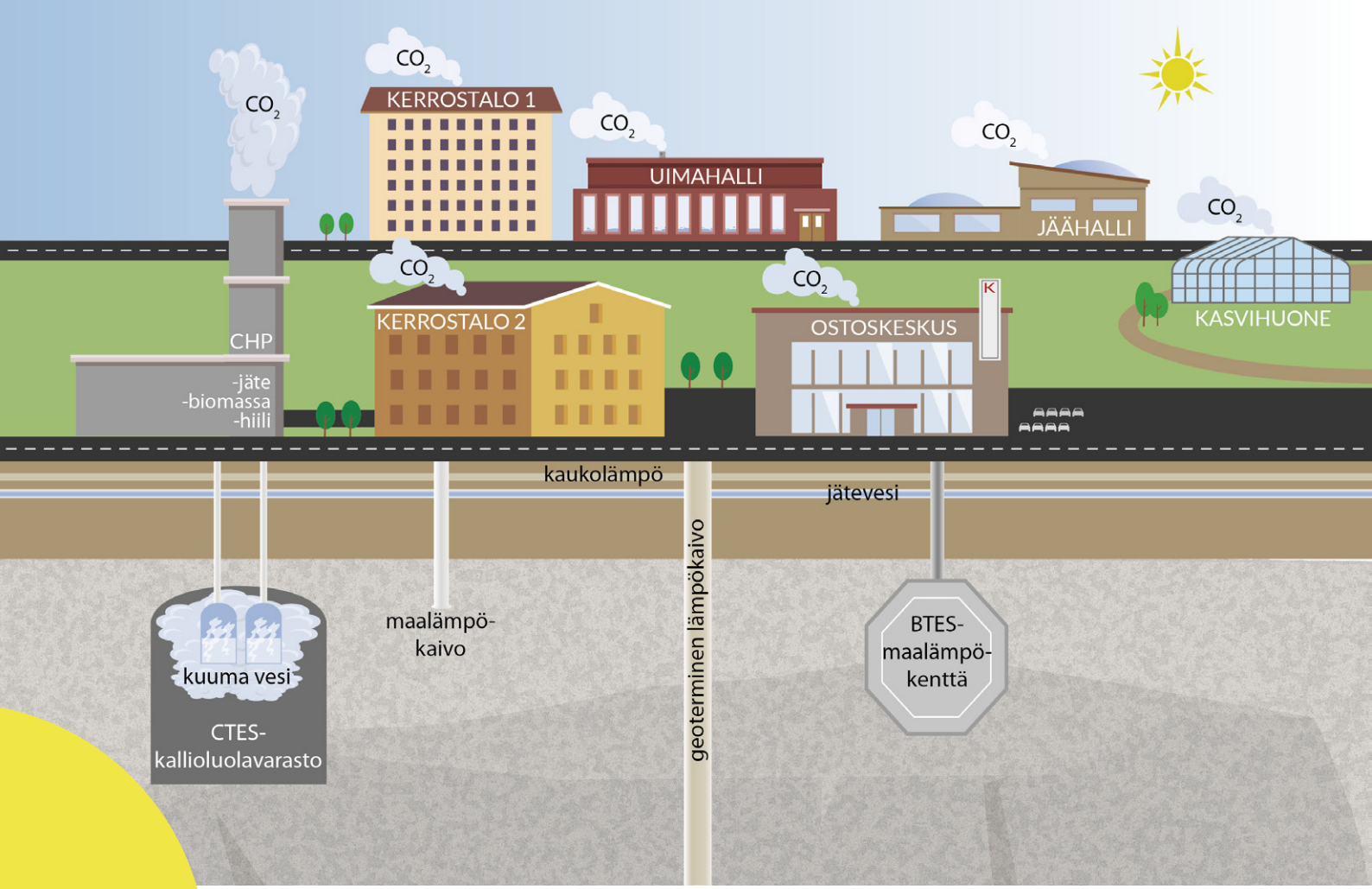
- **Jussi Hirvonen**, Sulpu ry
- **Pirjo Jantunen**, Helen Oy (1.11.2019 alkaen), (31.10.2019 asti **Joose Väinölä**, Helen Oy)
- **Matti Priha**, Helsingin kaupunki
- **Petteri Huurre**, Helsingin kaupunki
- **Jari Viinanen**, Helsingin kaupunki (31.12.2019 asti)
- **Jaakko Korttila**, Helsingin kaupungin asunnot Oy (HEKA)
- **Vesa Nevala**, Helsingin kaupungin asunnot Oy (HEKA)
- **Ilkka Aaltio**, Green Net Finland
- **Risto Kosonen**, Aalto-yliopisto
- **Juha Kääriä**, Turun ammattikorkeakoulu
- **Asmo Huusko**, Geologian tutkimuskeskus GTK
- **Ari Lainevuo**, Uudenmaan liitto
- **Antti Taronen**, Uudenmaan liitto
- **Ville Roslakka**, Varsinais-Suomen liitto

Helsingin kaupunki osoitti HUKATON-hankkeelle kaksi tarkastelukohdetta: Helsingin kaupungin vuokra-asuntojen HEKA Oy:n asuinkerrostaloryhmän ja Pirkkolan urheilupuiston uima- ja jäähallin. HEKAn ja Pirkkolan asiantuntijat jakoivat avoimesti ja erinomaisella yhteistyöasenteella kehitystyöhön tarvittavaa tietoa ja kehitysajatuksiaan hankkeelle.

HUKATON-hankkeen projektiryhmä haluaa välittää kiitoksensa kaikille hankkeessa mukana olleille asiantuntijoille, hankkeen ohjausryhmälle, yhteiskehittämiseen osallistuneille yrityksille ja muille sidosryhmille.

Projektiryhmän puolesta,

Evilina Lutfi, raportin kirjoituksen koordinaattori, Green Net Finland



Johdanto

Tämä raportti käsittää hukkalämpöjen hyödyntämisen nykytilanteen ja kehitysnäkymät, HUKATON-hankkeen tarkastelukohteiden simulointi- ja yhteiskehittämistyön tulokset, laajan liiketoiminnan kyselyn ja selvityksen liiketoiminnan näkymistä sekä suositukset tarkastelukohteisiin ja liiketoiminnan edistämiseen. Hankkeessa tutkittiin ja kehitettiin yhteensä kuutta kohdetta, joista kaksi on Helsingin kaupungin omistuksessa ja neljä yksityisomistuksessa Turun seudulla. Helsingin tarkastelukohteet valittiin yhteispäätöksellä, jonka tekoon osallistuivat asiantuntijat Helsingin kaupungin ympäristötiimistä, Heleniltä ja Aalto-yliopistosta.

HUKATON-hankkeen päätavoitteena oli kehittää optimointilaskentaan ja yhteiskehittämiseen pohjautuvia uusia hukkalämmön talteenottoon perustuvia kokonaisratkaisuja, jotka tuovat rakennukset osaksi älykästä energiajärjestelmää kulutusjouston näkökulmasta. HUKATON-hankkeen tavoitteena oli lisäksi tuoda markkinoille täysin uusia digitaalisuuteen perustuvia palveluliiketoimintamalleja, jotka olisivat monistettavissa hankkeen jälkeen monipuolisesti vastaaviin kiinteistötyyppeihin ja joissa olisi potentiaalia kasvaa suomalaisen huippuosaamisen vientituotteiksi.

Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi HUKATON-hankkeessa päätettiin keskittyä seuraavien toimenpiteiden kautta hukkalämpöjen ja lämpövarastoinnin kehittämiseen:

1. Kuvataan **hukkalämpöjen hyödyntämisen ja lämpövarastoinnin nykytila ja kehitys**.
2. Tuotetaan **laskennallisesti optimoituja konsepteja valittuihin tarkastelukohteisiin** Uudenmaan ja Varsinais-Suomen alueilla.
3. Etsitään **yrityskentästä ratkaisuja tarkastelukohteisiin** ja autetaan yrityksiä muodostamaan **uutta palveluliiketoimintaa** niiden ympärille.
4. Käydään **markkinavuoropuhelua yritysten ja tarkastelukohteiden omistajien** kanssa.
5. Kehitetään **uusia palveluliiketoimintamalleja.**

HUKATON-hankkeen tarkastelukohteet olivat:

1. Asuinkerrostalo Helsingissä (Helsingin kaupungin vuokra-asuntojen HEKA Oy:n omistama kerrostalokohde)
2. Uima- ja jäähalli Pirkkolan urheilupuistossa Helsingissä
3. Huiskula Oy:n ja Piltti Oy:n kasvihuoneyksiköt Varsinais-Suomessa
4. Uusi 10 000 m² liikekeskus Raisiossa
5. Uusi Korvenmäen jätteenpolttolaitos Salossa

HUKATON-hankkeessa selvitettiin tarkastelukohteiden lämmitystarve ja kuinka paljon hukkalämpöjä syntyy, millaisilla kokonaisratkaisuilla hukkalämpöä saataisiin mahdollisimman tehokkaasti talteen ja hyödynnettyä, kuinka paljon hukkalämpöä voitaisiin ladata maaperään ja kuinka tehokkaasti varastoitua hukkalämpöä pystyttäisiin hyödyntämään. Lisäksi selvitettiin kuinka suuria investointeja hukkalämmön hyödyntäminen ja kausivarastointi vaatisi ja kuinka suuria ratkaisujen elinkaarikustannukset olisivat. Tarkastelukohteisiin kehitettyjen ratkaisujen pohjalta valittiin sellaisia ratkaisuja, joilla katsottiin olevan selkeä ja laaja-alainen monistusmahdollisuus Suomen rakennuskannassa.

HUKATON-hankkeen tarkastelukohteisiin soveltuvien kokonaisratkaisujen ja liiketoimintamallien yhteiskehittämistä sekä markkinavuoropuhelun ylläpitämistä varten perustettiin viiteryhmiä:

- **HUKATON-yritysryhmän** nimellä toimiva ja GNF:n fasilitoima viiteryhmä Helsingissä. Viiteryhmässä oli mukana noin 40 jäsentä.
- Kohdekohtaisia pieniä ryhmiä Turussa, joiden fasilitoijana toimi Turun AMK ja joiden kokoukset kulkivat hankkeessa nimellä **törmäytystilaisuudet**.

Helsingin viiteryhmän kokouksissa käsiteltiin kaikkia hankkeen tarkastelukohteita ja kokouksiin osallistui yrityksiä myös Turun seudulta.

Viiteryhmien kokousten lisäksi HUKATON-hanke järjesti yhteistyössä muiden EAKR- ja 6-Aika -hankkeiden kanssa lukuisia isompia seminaareja ja webinaareja.

Lyhenteiden ja käsitteiden luettelo	
CAV	vakioilmavirtainen ilmanvaihto *(Constant Air Volume)*
CO2-päästö	hiilidioksidipäästö
EED	EU:n energiatehokkuuden parantamisen direktiivi *(Energy Efficiency Directive)*
energiakaivokenttä-varasto	lämpövarastona toimiva porakaivojen kenttä *(Borehole Thermal Energy Storage – BTES)*
energiapositiivinen alue	tarkoittaa aluetta, jossa tuotetaan vuositasolla enemmän energiaa kuin kulutetaan *(Positive Energy District – PED)*
EPC-malli	energiaa palveluna liiketoimintamalli *(Energy Performance Contract)*
ESCO-malli	energiaa palveluna liiketoimintamalli, jossa investointeja maksetaan pois ostoenergian säästöillä *(Energy Service/Saving Contract)*
geoterminen lämpö	kallioperän sisältämä lämpöenergia, joka on peräisin maapallon ytimessä tapahtuvista radioaktiivisista reaktioista
geolämpökaivo	porakaivo, joka on syvempi kuin perinteinen maalämpökaivo
geolämpökenttä	useasta geolämpökaivosta muodostettu kokonaisuus
hukkalämpö	hyödyntämätön lämpö, jota on esim. ilmanvaihdon poistoilmassa, jätevedessä tai teollisuusprosesseissa
HX	lämmönvaihdin *(Heat Exchanger)*
ILP	ilmalämpöpumpu *(Air Source Heat Pump – ASHP)*
IV	ilmanvaihto
IVLP	ilma-vesilämpöpumppu (*Air to Water Heat Pump – AWHP)*
JVLP	jätevesilämpöpumppu (*Waste Water Heat Pump – WWHP)*
kaksisuuntainen kaukolämpö	liiketoimintamalli, jossa lämpö on kauppatavaraa kiinteistön omistajan ja kaukolämpöverkon/ tuotantolaitoksen omistajan välillä
lämmön kausivarastointi	lämmön pitkäaikainen varastointi eri vuodenaikojen välillä esim. kesällä ladatun lämmön hyödyntäminen talvella *(Seasonal thermal energy storage – STES)*
kulutuspiikki	nopeasta ja isosta tehontarpeen kasvusta johtuva piikki energian kulutusprofiilissa
kulutusjousto	sähkön tai kaukolämmön kulutuksen hetkellinen vähentäminen tai lisääminen energian tuotantotilanteen mukaisesti esim. tunnittaisen energian hinnan perusteella
lauhdelämpö	lämpöpumpun tai jäähdytyslaitteen lauhduttimelta vapautuva lämpö
leasing-malli	energiaa palveluna liiketoimintamalli
LKV	lämmin käyttövesi
LP	lämpöpumppu on laite, joka siirtää lämpöenergiaa matalammasta lämpötilasta korkeampaan lämpötilaan *(Heat Pump)*
LTO	lämmöntalteenotto *(Heat Recovery)*
kallioluolalämpövarasto	lämpövarastona on vedellä täytetty kallioperään louhittu luolasto *(CTES)*
lyhytaikainen varastointi	käsite, joka kuvaa lämmön varastointia lyhyemmän kuin esim. vuodenajan yli; Short-term thermal energy storage *(STTES)*
lämpövarasto	systeemi, joka varastoi talteenotettua lämpöä; esim. lämminvesivaraaja, kallioluolasto tai kallio; käytetään myös termiä lämpöakku
maalämpö	tarkoitetaan yleensä maa- ja kallioperässä noin alle 1000 syvyydessä olevaa lämpöenergiaa
MLP	maalämpöpumppu eli lämpöpumppu, joka käyttää maaperän lämpöä lämmönlähteenä, *(Ground Source Heat Pump – GSHP)*
neljännen sukupolven kaukolämpö (4GDH)	termiä käytetään tulevaisuuden kaukolämpöjärjestelmästä, joka tuottaa kaukolämpöä muilla tavoin kuin polttamalla, *(4th Generation District Heating – 4GDH)*
PILP	poistoilmalämpöpumppu *(Exhaust Air Heat Pump – EAHP)*
RED II	EU:n uusiutuvan energian edistämisen direktiivi *(Renewable Energy Directive)*
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
TRL	teknologinen valmiustaso *(Technology Readiness Level)*
U-arvo	lämmönläpäisykerroin, jolla kuvataan rakennusosien, esim. ulkoseinien tai ikkunoiden lämmöneristyskykyä
VAV	muuttuvailmavirtainen ilmanvaihto, jossa ilmanvaihdon ilmavirtoja säädetään esim. huonetilan lämpötilan ja/tai CO2-pitoisuuden mukaan *(Variable Air Volume)*
virtuaaliakku	termiä käytetään liiketoimintamalleissa, joissa pientuottajan sähköverkkoon syöttämä ylimääräinen esim. aurinkosähkö hyvitetään sähkön ostohinnassa
VTT	Teknologian tutkimuskeskus
ympäristölämpö	ympäristöstä *(maasta, ilmasta tai vedestä)* hyödynnettävissä oleva uusiutuva energia

Sisältö

Esipuhe **3**

Johdanto **4**

1 Hukkalämmön ja lämmönvarastoinnin nykytila kehitysnäkymät **9**
1.1 Hukkalämmöstä yleisesti 9
1.2 Hukkalämmön tekninen ja taloudellinen hyödyntäminen 16
1.3 Teknisen hyödyntämisen tulevaisuuden näkymät 18
1.4 Liiketoiminnan kehittämisen tulevaisuuden näkymät 20
1.5 HUKATON-fokus 22

2 HUKATON-tarkastelukohteet **23**
2.1 Asuinkerrostalot 23
2.1.1 Mallintamisen perustiedot 25
2.1.2 Tutkitut järjestelmät 25
2.1.3 Tulokset 28
2.1.4 Johtopäätökset 30
2.2 Urheilukeskus – jäähalli ja uimahalli 31
2.2.1 Mallintamisen perustiedot 31
2.2.2 Tutkitut ratkaisut ja tulokset 31
2.2.3 Johtopäätökset 34
2.3 Kasvihuoneet – Huiskula ja Piltti 35
2.3.1 Mallintamisen perustietoa 36
2.3.2 Tutkitut järjestelmät 38
2.3.3 Optimoinnin tulokset 39
2.3.4 Johtopäätökset 40
2.4 Uusi liikekeskus, Raisio 41
2.4.1 Mallintamisen perustiedot 41
2.4.2 Tutkitut järjestelmät 43
2.4.3 Tulokset 44
2.4.4 Johtopäätökset 46
2.5 Uusi jätevoimala, Salon Korvenmäki 46
2.5.1 Mallintamisen perustiedot 47
2.5.2 Tutkitut järjestelmät 48
2.5.3 Tulokset 49
2.5.4 Johtopäätökset 50

3 Liiketoiminnan näkymät Suomessa ... 51
3.1 HUKATON-liiketoimintakysely ... 51
3.1.1 Hukkalämpöjen hyödyntämisen näkymät ja markkinatilanne ... 52
3.1.2 Liiketoiminnan kannalta kiinnostavat kohteet ja sovellukset ... 55
3.2 Liiketoimintanäkymät asuinkerrostaloissa ja kauppakeskuksissa ... 56
3.2.1 Hukkalämpöenergiat ja rajaukset ... 56
3.2.2 Liiketoimintamallit ja kannustintoimet ... 59
3.2.3 Haasteet investointipäätösten tekemiseen ... 59
3.2.4 Tekniset haasteet ... 61
3.2.5 Yhteenveto tutkimuksen haastatteluista ja keskeisimmät juurisyyt hankkeiden kaatumiselle ... 63
3.2.6 Hankkeiden käynnistymisen mahdollistaminen ... 63
3.3 Liiketoimintanäkymät kaupan alan kohteissa ja uudet toimintamallit ... 64

4 Yleiset johtopäätökset ja suositukset ... 65
4.1 Rakennustyyppikohtaiset johtopäätökset ja suositukset ... 65
4.1.1 Asuinkerrostalot ... 65
4.1.2 Uima- ja jäähallit ... 65
4.1.3 Kasvihuoneet ... 66
4.1.4 Kauppakeskukset ... 66
4.1.5 Jätevoimalat ... 67
4.2 Liiketoiminnan edistäminen ... 67

5 Lähteet ... 69

Bigstock

1 Hukkalämmön ja lämmönvarastoinnin nykytila ja kehitysnäkymät

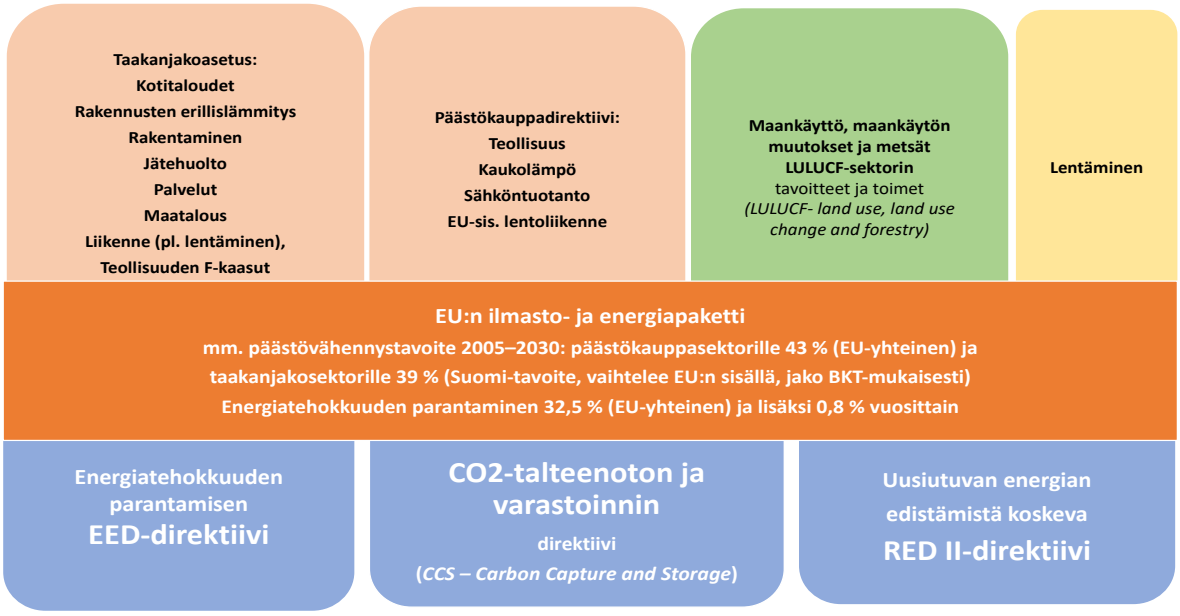
1.1 Hukkalämmöstä yleisesti

Hukkalämpö on isossa mittakaavassa suhteellisen uusi käsite Suomessa. Termin alkuperä on EU:n (*Euroopan parlamentin ja neuvoston*) direktiivissä (EU) 2018/2001, joka määrittelee käsitteen näin: ”hukkalämmöllä ja -kylmällä” tarkoitetaan teollisuus- tai sähköntuotantolaitoksissa tai palvelualalla sivutuotteena väistämättä syntyvää lämpöä tai kylmää, joka katoaisi käyttämättömänä ilmaan tai veteen, jos:

- sitä ei johdettaisi kaukolämmitys- tai jäähdytysjärjestelmään, jos on
  - käytetty tai käytetään yhteistuotantoprosessia tai jos
    - yhteistuotanto ei ole mahdollista.

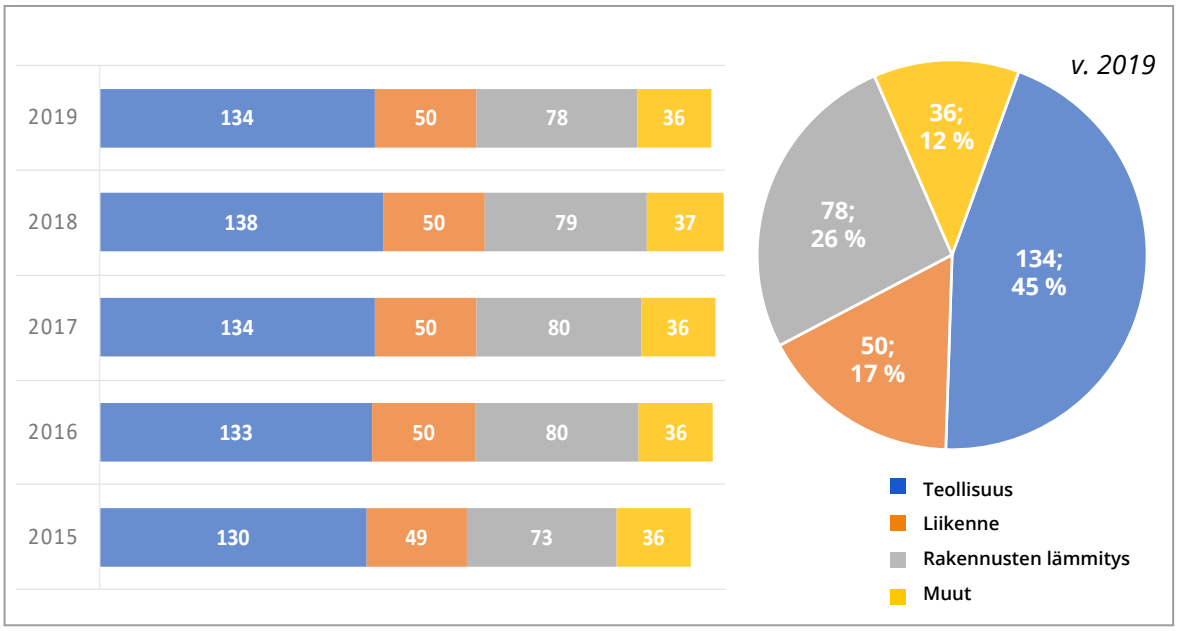
Siis EU:n tasolla *hukkalämpö* on palvelualaa lukuun ottamatta osa päästökauppasektoria, mihin kuuluu *teollisuus, kaukolämpö* ja *sähköntuotanto. Palvelut* ovat puolestaan EU:n ilmasto- ja energiapaketissa osa taakanjako -sektoria *(kuva 1).*

EU:n ilmasto- ja energiapaketista tulevat CO2-päästövähennysten tavoitteet eri sektoreille ja tavoitteiden edistämistä ohjataan eri direktiivien kautta. Kuvassa 1 on esitetty myös direktiivejä, jotka liittyvät tämän raportin aiheeseen. Tässä keskitytään niistä kahteen – energiatehokkuuden parantamisen EED-direktiiviin ja uusiutuvan energian edistämistä koskevaan REDII-direktiiviin.

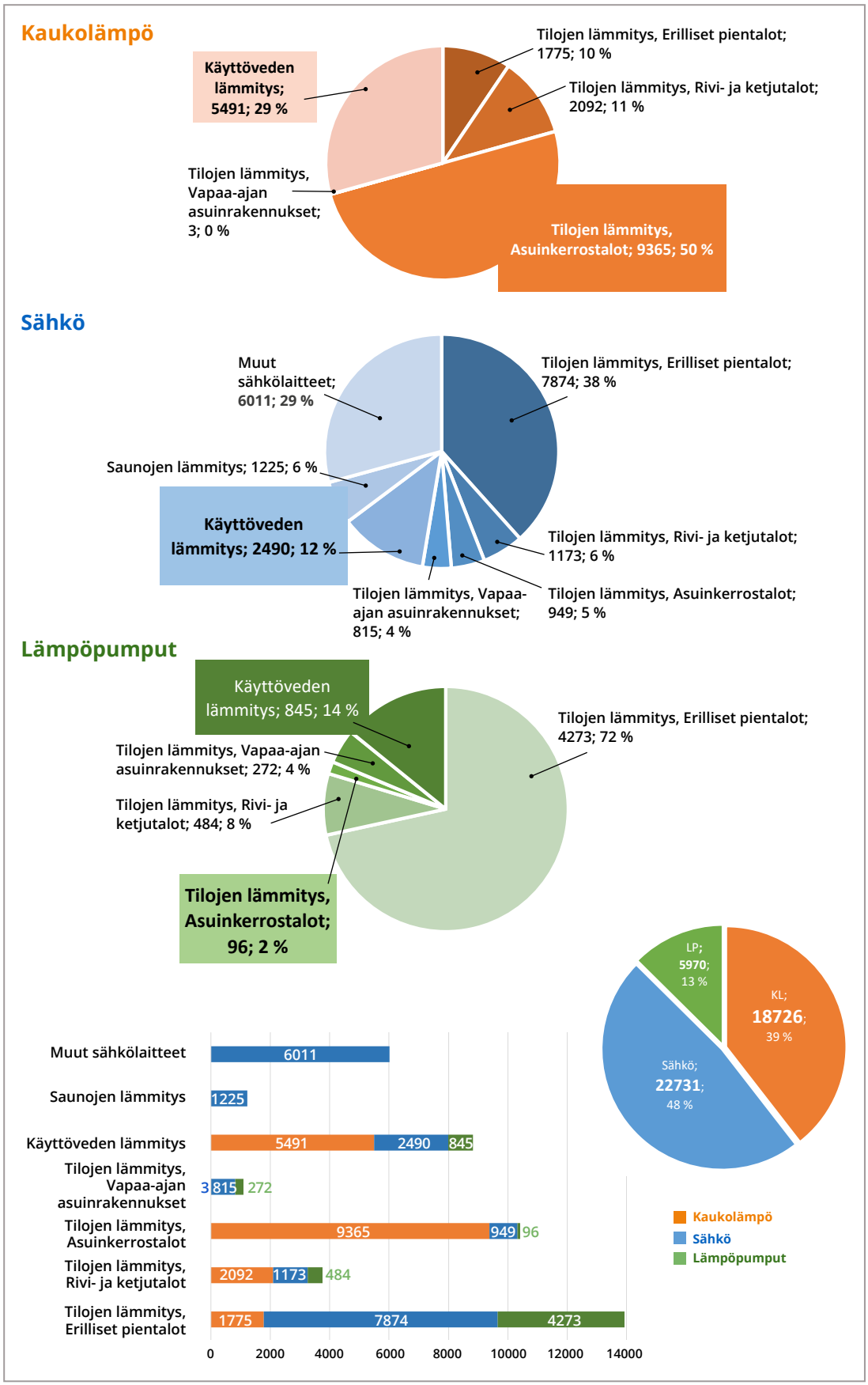


Kuva 1. EU:n ilmasto- ja energiapaketti, sektorit, alat ja tavoitteet.

EU:n EED-direktiivillä jäsenvaltioita vaaditaan täyttämään kaudella 2021–2030 kumulatiivinen loppukäytön energiansäästö, joka vastaa vähintään 0,8 % uusia vuotuisia säästöjä energian loppukulutuksesta [2]. Suomessa energian loppukäyttö vuonna 2018 oli 298 TWh, mikä jakautui eri sektoreiden välillä niin, että 45 % energiasta kulutti teollisuus, 26 % rakennusten lämmitys, 17 % liikenne ja 12 % muut kohteet (kuva 2). Asumisen energiankulutuksen tilaston mukaisesti asuinrakennukset kuluttivat 22 % energian loppukäytöstä – 65,7 TWh (kuva 3) [3]. Tästä sähkön osuus oli 22,7 TWh ja kaukolämmön osuus 18,7 TWh, josta 5,5 TWh käyttöveden lämmittämiseen. Kokonaisuudessaan käyttöveden lämmittämiseen meni 10 TWh. Asuintilojen lämmitykseen meni yhteensä 44,3 TWh, josta asuinkerrostalojen osuus oli 10,9 TWh (9,4 TWh kaukolämpöä ja 0,95 TWh sähköä). Lämpöpumppuenergian osuus oli 6 TWh [3].



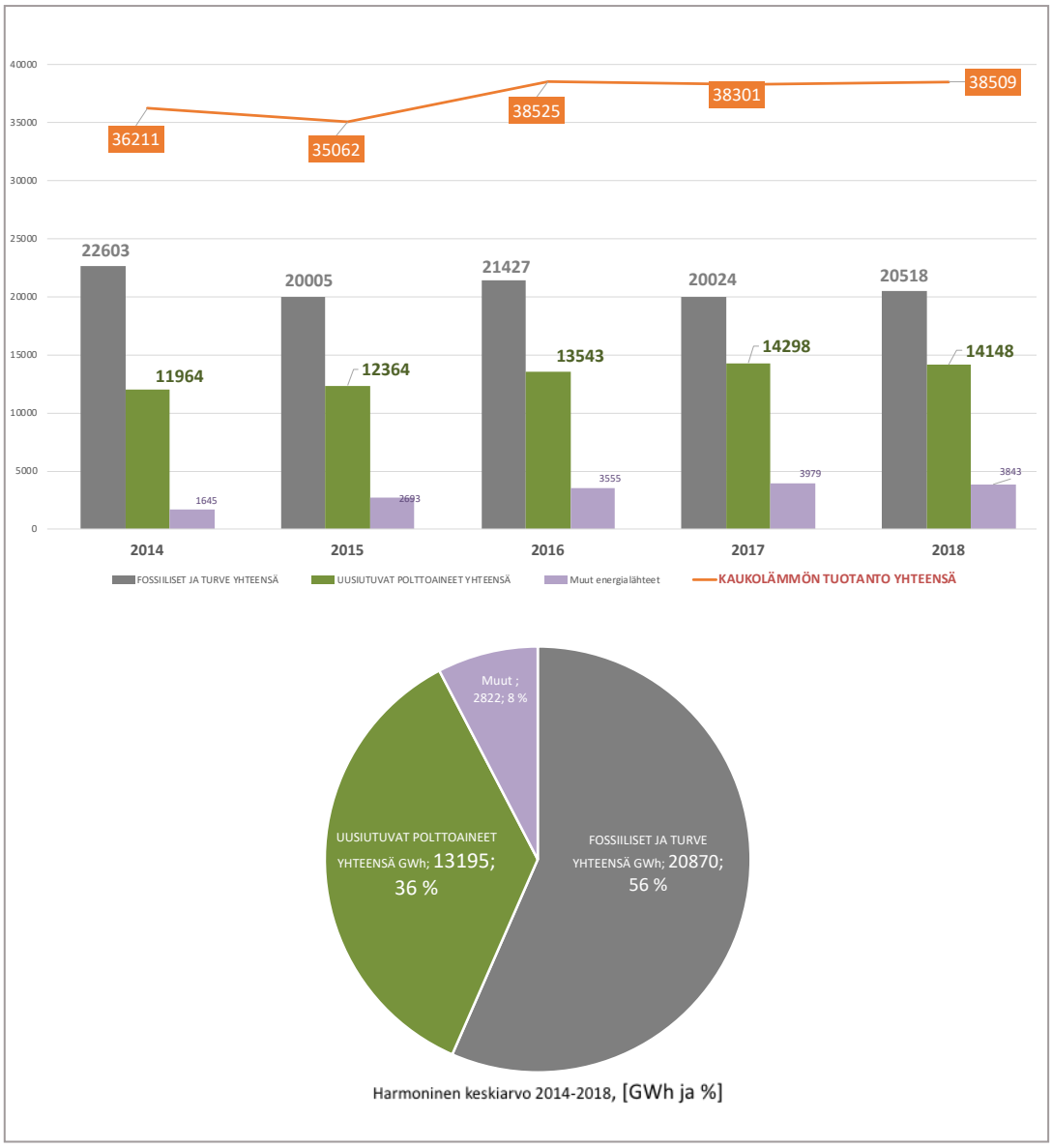
Kuva 2. Energian loppukäyttö Suomessa sektoreittain v. 2015–2019. Lähde: Tilastokeskus [1]



Kuva 3. Asumisen energiankulutus vuonna 2018. Lähde: Tilastokeskus.

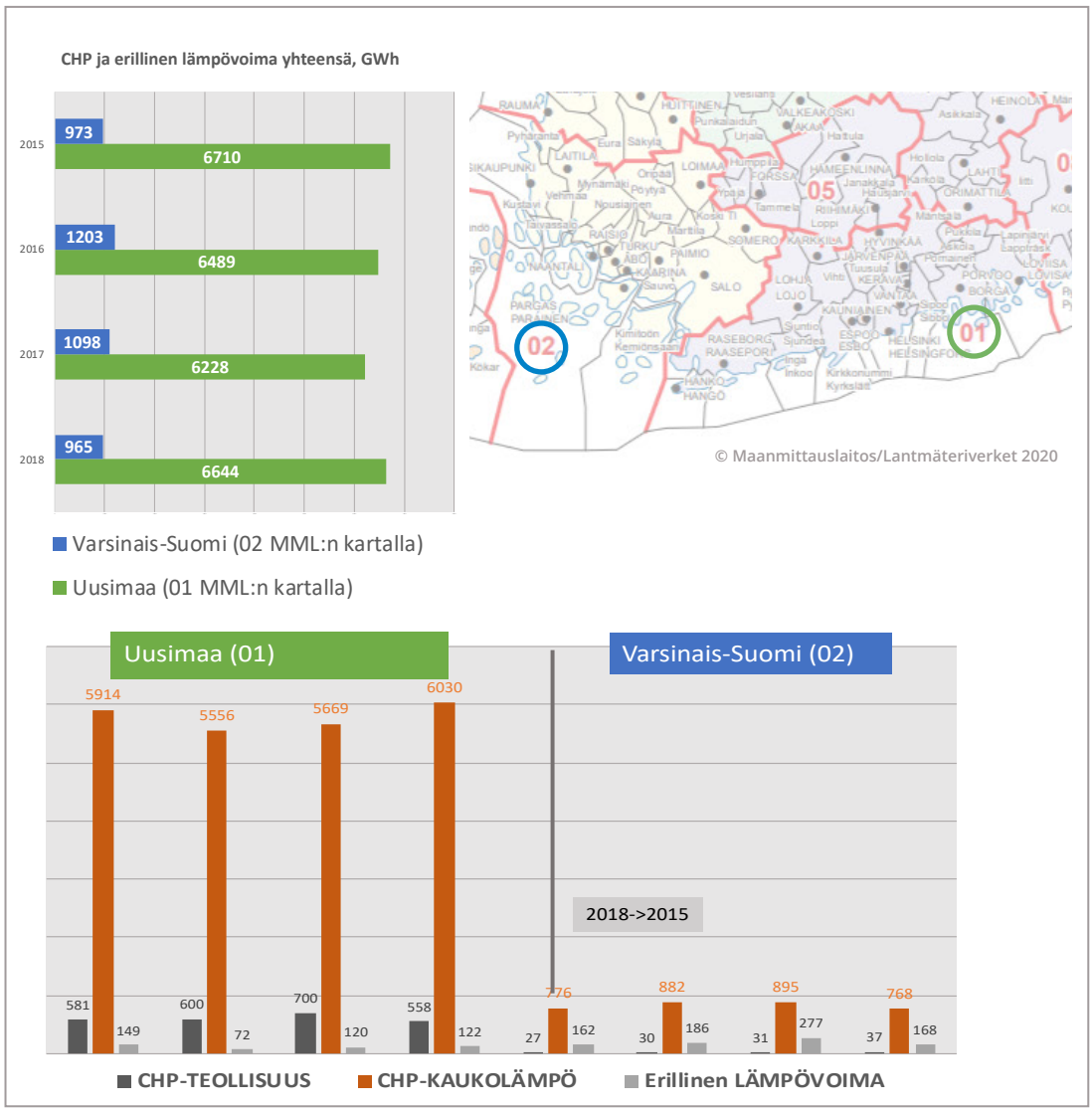
EU:n ilmasto- ja energiapaketin ja Suomen energian loppukäytön sektoreiden määritelmät eroavat toisistaan (ks. kuvat 1 ja 2). Rakennusten lämmitys energian loppukäytön tilastoissa sisältää myös kaukolämmön, joka on (kunnallis)palvelu ja samalla energiantuotantomuoto. Näin kaksi EU:n ilmasto- ja energia sektoria (päästökauppa ja taakanjako) menevät ristiin.

EU:n uusi RED II-direktiivi sisältää sitovat EU-tason kestävyyskriteerit biomassoille, joita käytetään energiantuotantoon ja joita sovelletaan kun kiinteitä biomassoja käytetään yli 20 MW laitoksissa [4]. Näin rakennusten lämmitykseen käytetty kaukolämpö, joka tuotetaan biomassakattilalla tai biomassaa käyttävällä CHP-laitoksella on myös RED II-direktiivin piirissä. Kuvassa 4 on esitetty kaukolämmön tuotannon määrät ja lähteet, josta näkyy että uusiutuvien polttoaineiden (luetaan biomassaksi) osuus on keskimäärin 36 % tai 13,2 TWh [5].



Kuva 4. Kaukolämmön tuotannon määrä ja lähteet. Lähde: Tilastokeskus.

Suomen maakunnat ovat erilaisia energiantuotannon (ml. lämpöenergian) määrän, muotojen, lähteiden ja loppukäytön näkökulmista. Sen mukaisesti vaihtelee myös hukkalämpöenergian hyödyntämisen potentiaali ja tarve. Kuvassa 5 on esitetty esimerkinomaisesti Uudenmaan ja Varsinais-Suomen tilanne vuosien 2015–2018 aikana kaukolämmön ja teollisuuden sähkön ja lämmön yhteistuotannossa (CHP) sekä lämmön erillistuotannossa.



Kuva 5. CHP ja erillinen lämpövoima – Uusimaa ja Varsinais-Suomi, 2015–2018. Lähde: Energiateollisuus.

Osana ilmasto- ja energiatoimia on kehitetty ja julkaistu erilaisilla tasoilla erilaisia strategioita, tiekarttoja tai skenaarioita esimerkiksi:

- Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) TOIMENPIDEKORTIT Toimenpiteiden yksityiskohtaiset kuvaukset, Energiatehokkuustyöryhmän raportin erillinen liite sisältää toimenpidekortteja eri sektoreille, kuten teollisuus, palvelut, kuluttajat, maatalous, liikenne ja lisäksi horisontaalisia toimenpiteitä.
- Suomen päästövähennysskenaarioita on kuvattu Suomen ilmastopaneelin raportissa PÄÄSTÖVÄHENNYSPOLKU KOHTI HIILINEUTRAALIA SUOMEA - HAHMOTELMA.
- Uudenmaan liitto valmistelemassa Hiilineutraali Uusimaa 2035 -tiekartta.

CO2-päästöjen vähentämisen ohjaukseen monet kaupungit ovat kehittäneet omia hiilineutraalius- tai resurssiviisaus-strategioita ja toimenpidesuunnitelmia. Esimerkiksi kuvassa 6 on esitetty Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelman (HNH2035) tavoitteet rakennusten osalta. Helsingin päästövähennyspotentiaalissa lämmityksen ostoenergian vähentämisellä on iso rooli, erityisesti olemassa olevassa rakennuskannassa. Hyödyntämättömän hukkalämmön talteenotto, kiinteistössä paikallisesti tuotetun uusiutuvan lämmön osuuden lisääminen, lämmön ja sähkön kulutusjouston lisääminen ovat esimerkkejä ohjelmassa listatuista keinoista. Hukka- ja kierrätyslämpöjen hyödyntäminen on yksi merkittävimmistä keinoista energiatehokkuuden parantamiseksi [6].

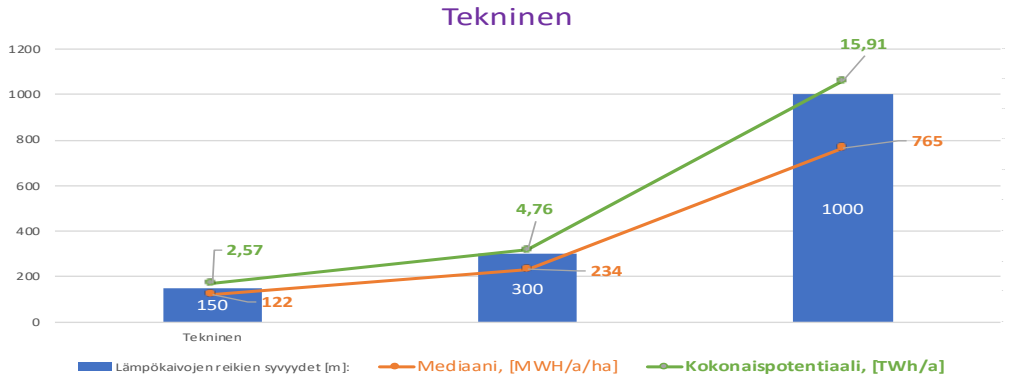
Hiilineutraali Helsinki 2035 – päästövähennyksiin pääseminen edellyttää rakennuksilta

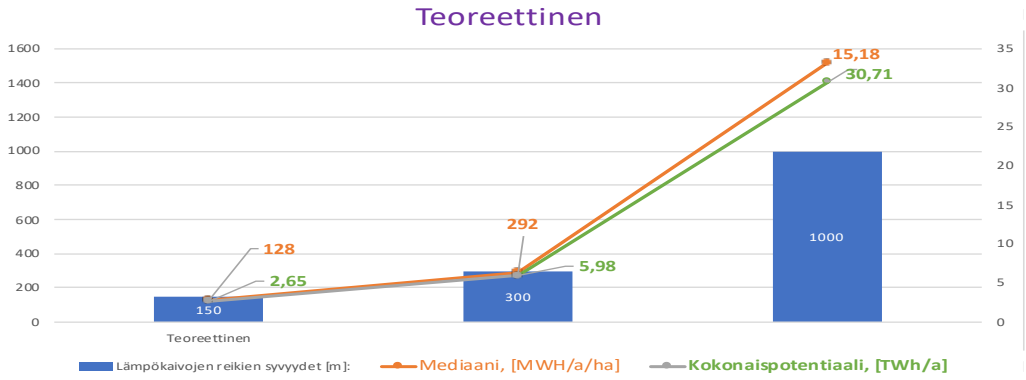
Yksikkönä on [GWh, vuosi]	Kaukolämmön kokonais-kulutus	Maalämpö	Aurinkosähkö
Tilanne nyt	6700	33,5 tai 0,5 %	lähes 0
Tavoite 2035	4700	1000	1000
Tarvittava muutos	–30 %	14,50 %	15 %
Mitä vaatii?		110 000 porakaivoa 177 m	125 000 kpl aurinkopaneeli-järjestelmää 9 kWp
Asennusten osuus olemassa olevaan rakennuskantaan		70 %	80–90 %

Kuva 6. Hiilineutraali Helsinki 2035 -ohjelman tavoitteet rakennuksille. Lähde: Hiilineutraali Helsinki 2035- päästövähennysohjelma: https://www.finvac.org/rakennustenenergiaseminaari/res2019_ohjelma

Geoenergian potentiaalia osana hiilineutraaliuden tavoitteita on myös selvitetty. Esimerkiksi Helsingin geoenergiapotentiaali-raportin mukaisesti Helsingin lämpökaivokentän tekninen potentiaali (mediaani) hehtaaria kohti vuositasolla on 122 MWh (150 metriä syvät porareiät) - 765 MWh (1000 metriä syvät reiät) sekä kokonaispotentiaali vuositasolla on 2,57 TWh (150 metriä syvät porareiät) – 15,97 TWh (1000 metriä syvät reiät) (Kuva 7) [7].

Lämpökaivojen potentiaaliin vaikuttaa syvyyden lisäksi käytännössä myös lämpöenergian virtaukset. Kun kaivosta otetaan lämpöä, korvaavaa lämpöä virtaa sekä maanpinnasta että kaivojen alapuolelta, jonka seurauksena tekninen potentiaali ei ole täysin vertailukelpoinen teoreettisen potentiaalin kanssa (kuva 7). Vaikka syvemmistä kaivoista saadaan enemmän kokonaisenergiaa, matalammilla kaivoilla saadaan maankamaraan sitoutunut lämpöenergia tehokkaammin käyttöön [7].

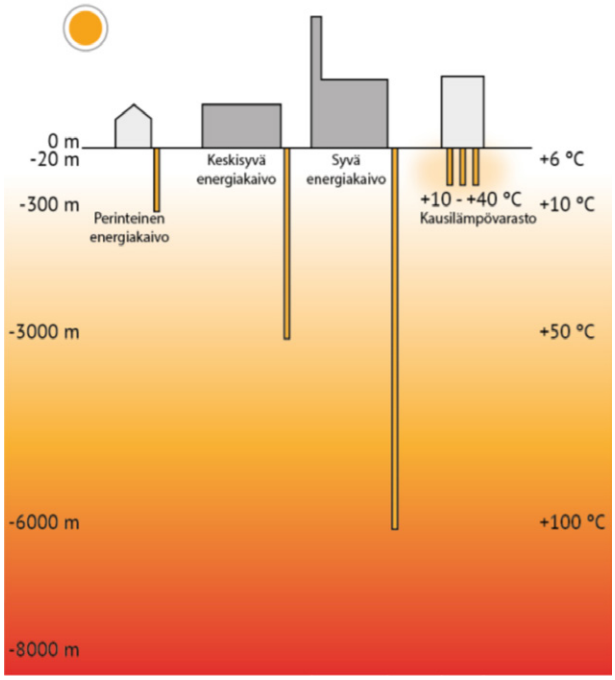




Kuva 7. Helsingin lämpökaivokentän geoenergiapotentiaali. Lähde: [7]

Hukkalämmön määritelmä on epäselvä ja vaihtelee. Esim. REDII:n mukaisesti jätevedenpuhdistuslaitoksen veden lämpö on uusiutuvaa lämpöä, kun taas EED:n mukaisesti jätteenpolttolaitoksen savukaasujen lämpö on hukkalämpöä. Hukkalämpö ja lämpöpumput liittyvät toisiinsa. Suomen Tilastokeskuksen mukaan ”lämpöpumppuenergia tarkoittaa lämpöpumpuilla ympäristöstä (maasta, ilmasta tai vedestä) talteen otettua energiaa, jota käytetään tilojen lämmitykseen”.

Hukkalämpöihin liittyvän geoenergian hyödyntämisen termit maalämpö, geolämpö, energiakaivot, energiakaivokentät, syvä-, keskisyvä-, maalämpöenergiakaivo, energiapaalut, jne. ovat myös käsitteitä, joiden käyttö ei ole vielä vakiintunut. Kuvassa 8 on esitetty esimerkinomaisesti RT-kortin hahmotelma energiakaivojen syvyyksien ja maaperän lämpötilojen näkökulmasta. [8]

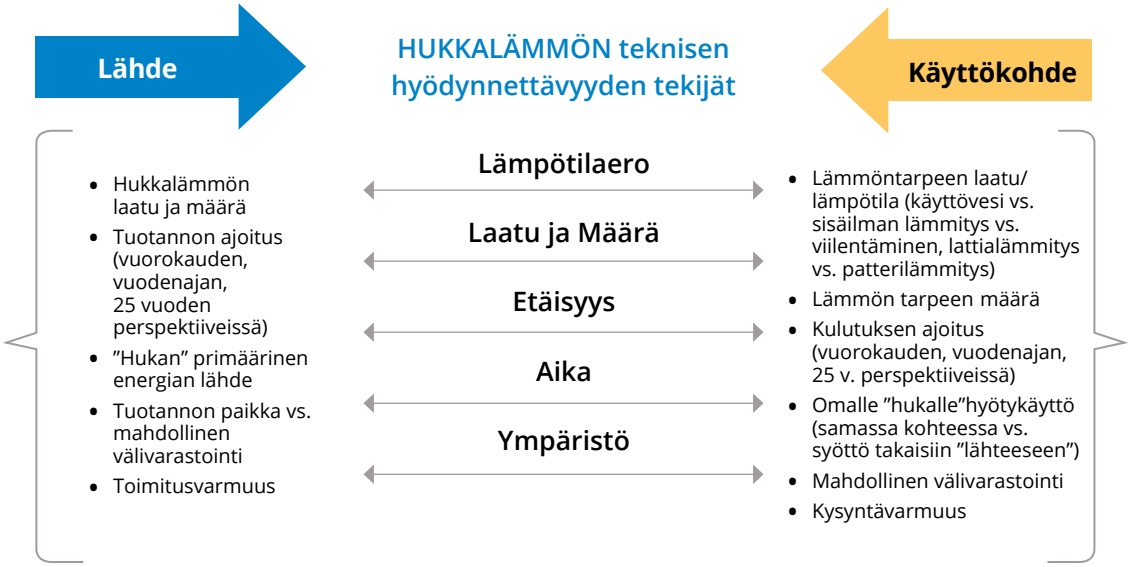


Kuva 8. Hahmotelma geoenergiasta – energiakaivojen syvyyden ja maaperän lämpötilojen perspektiivistä.

Lähde: RT-kortti [8].

1.2 Hukkalämmön tekninen ja taloudellinen hyödyntäminen

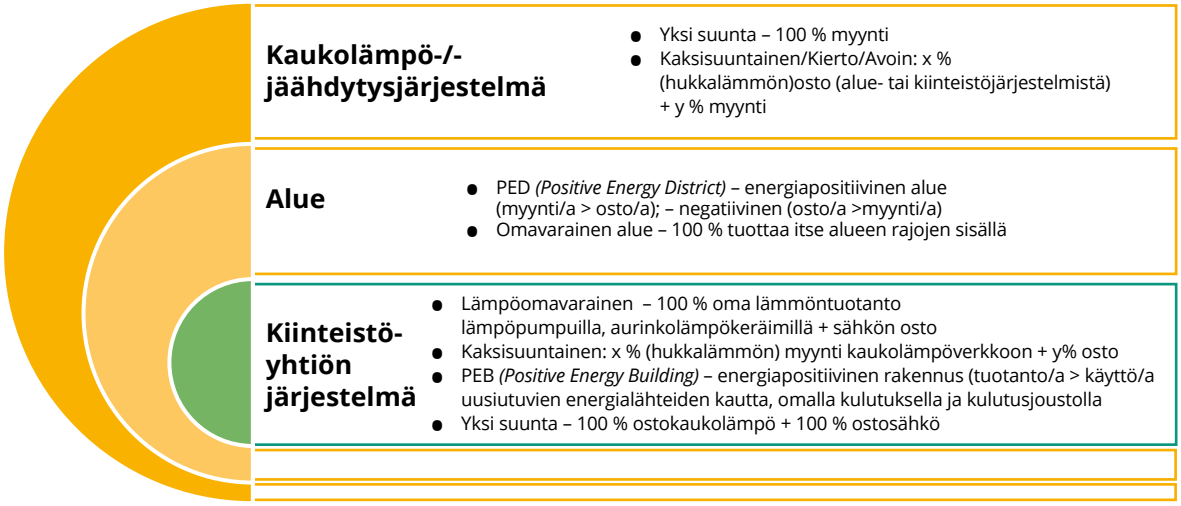
Hukkalämmön teknisen hyödyntämisen potentiaaliin vaikuttavat monet tekijät, kuten lämpötilaero hukkalämmön lähteen ja käyttökohteen välillä, lämmön laatu ja määrä, kohteiden välinen etäisyys, tuotannon ja kulutuksen ajoitusten kohtaaminen, toimitus- ja kulutusvarmuus jne. Nämä kaikki on pyritty hahmottamaan kokonaisuutena kuvassa 9.



Kuva 9. Hukkalämmön teknisen hyödynnettävyyden tekijät.

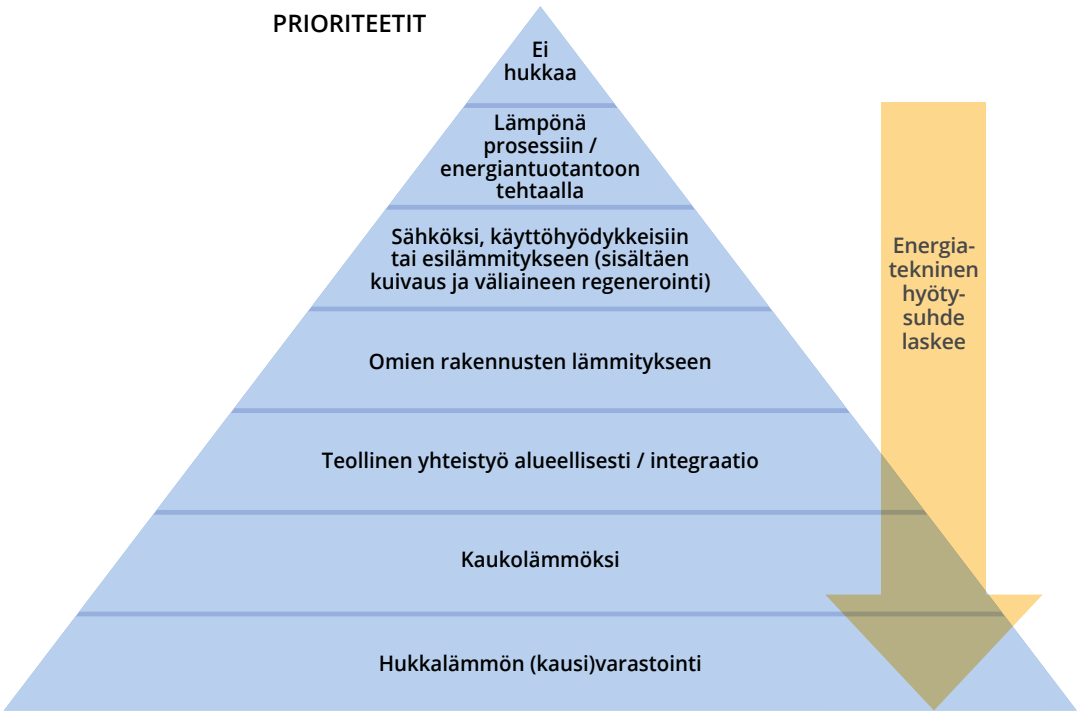
Tavallisimmin hukkalämmön hyödyntämistä priorisoidaan siten, että sitä käytetään ensin saman kiinteistön sisällä, sen jälkeen lähialueen naapurikiinteistöissä ja loppu siirretään kaukolämmön jakeluverkkoon, mikäli se on mahdollista tai se välivarastoidaan. Kuvassa 10 on esitetty hahmotelma kolmesta eri lämmitysjärjestelmän tasosta: kauko-, alue- ja kiinteistö -lämpöjärjestelmä.

Kauko-, alue-, kiinteistölämpö/kylmä -(energia)järjestelmät



Kuva 10. Lämpöjärjestelmän tasoja – kaukolämpö, aluelämpö ja kiinteistölämpö.

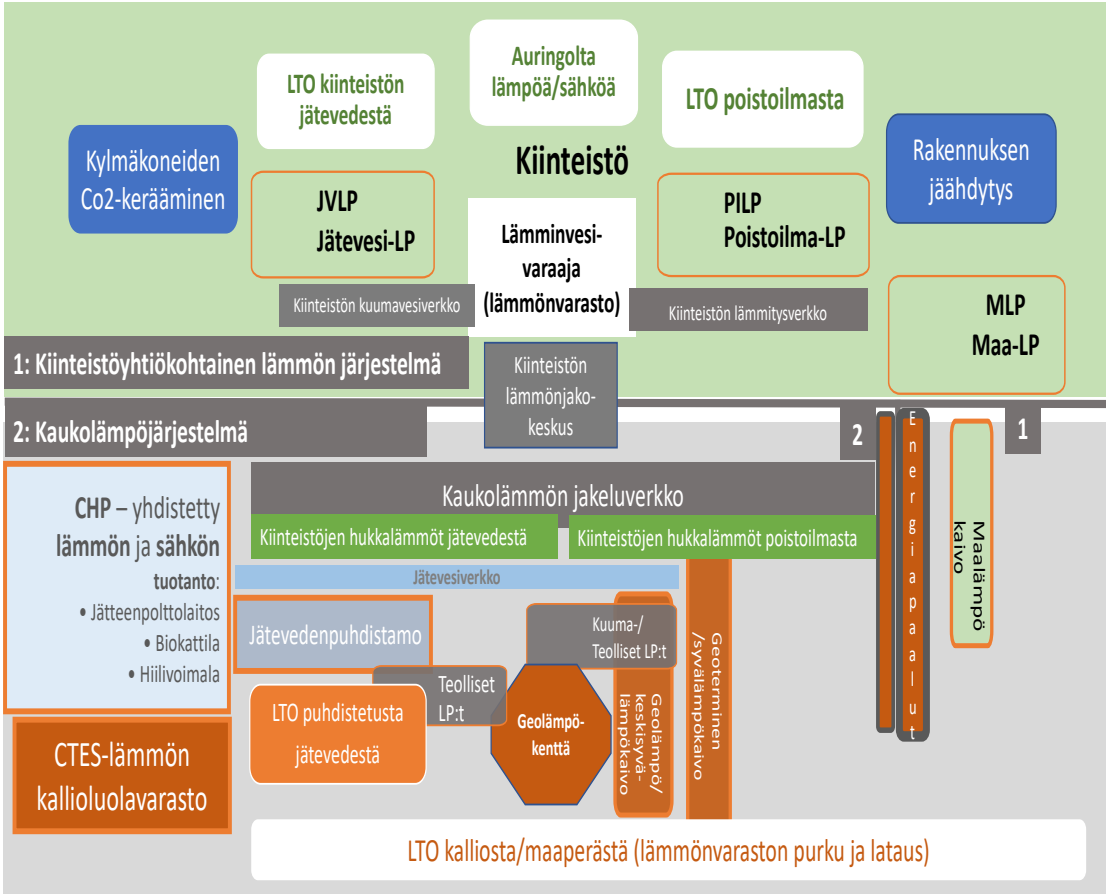
Kuvan 11 prioriteettipyramidi kuvaa järjestyä, jossa hukkalämpöä hyödynnetään mahdollisimman lyhyen ajan kuluessa ja mahdollisimman lähellä lähdettä. Tällä tavalla energiasta saadaan mahdollisimman suuri osa uusiokäyttöön. Hukkalämmölle kannattaa ensin tarkastella vaihtoehtoisia hyödyntämiskohteita ja mikäli niitä ei ole, lämmön kausivarastointi saattaa tulla kyseeseen.



Kuva 11. Hukkalämmön kausivarastoinnin prioriteetit. (Tekijä: Ilkka Pihlainen)

1.3 Teknisen hyödyntämisen tulevaisuuden näkymät

Niin sanottujen *hybridienergiajärjestelmien* käyttöönotto mahdollistaisi tehokkaamman hukka- ja ympäristölämmön hyödyntämisen tulevaisuudessa. Hybridijärjestelmät voivat koostua erilaisista lämpöpumpuista, aurinkolämpökeräimistä, aurinkopaneeleista, lämpöenergian varastoista ja niissä voidaan hyödyntää älykästä sähkön ja lämmön kulutusjoustoa. Kuva 12 hahmottelee HUKATON-hankkeen fokukseen liittyviä ratkaisuja kiinteistön ja kaukolämpöverkon tasoilla.



Kuva 12. Hukkalämmön hyödyntämiseen liittyviä ratkaisuja kiinteistöjen ja kaukolämpöverkon tasoilla.

Lämpöpumput ovat avainasemassa tulevaisuuden energiajärjestelmissä – neljännen sukupolven kaukolämpöverkossa (*4th Generation District Heating – 4GDH*), lämmitysjärjestelmien ja lämpöenergian loppukäytön ns. älykkäässä energiamurroksessa (*Smart Energy Transition*), hiilen käytöstä irtautumisessa (*Decarbonisation*), hiilineutraaliuden tavoittelussa (*Carbon Neutral*) ja fossiilivapaudessa (Fossil-Free). Lämpöpumput ovat keskiössä sekä kaukolämpö/-jäähdytys että kiinteistökohtaisissa järjestelmissä – vallitsevassa keskitetyn lämmöntuotannon ja kehitteillä olevissa hajautetun tuotannon järjestelmissä. Näissä järjestelmissä asiakkaat sekä tuottavat että kuluttavat energiaa (*tuottaja-kuluttajat, engl. prosumers*). Erilaisten lämpöpumppujen määrä on kasvanut Suomessa tasaisesti ja sama trendi näyttää jatkuvan. Lämpöpumppujen määrän lisäksi niiden toiminta-alue ja tehokkuus paranevat [9].

Lämmön kausivarastointi (*Seasonal Thermal Energy Storage/TES*) on lämpöpumppujen lisäksi toinen avainasemassa oleva ratkaisu, joka liittyy kaupunkitasoon ja päästökauppasektoriin, koska se sisältää myös sähkön- ja lämmön tuotannon (esim. jätteenpolttolaitokset/jätevoimalat). Lämmön kausivarastoinnin teknisen hyödyntämisen voi toteuttaa eri tavoilla, esim. geolämpökaivokenttien avulla, käytöstä poistetuissa maanalaisisissa öljy-/polttoainevarastoissa tai uusissa louhituissa kallioluolissa. Esimerkkejä lämmön kausivarastoinnista on esim. *Oulun Energian, EPV Energian, Vaasan Sähkön, Helenin ja Vantaan Energian* kallioluolavarastot (CTES), joista kolme on käytöstä poistettuja maanalaisia öljyvarastoja. Varastot toimivat kaukolämmön tuotantohuippujen tasaajina. Kesällä niihin varastoidaan lämpöä (ladataan varastoa) ja talvella varastoitua lämpöä käytetään (puretaan varastoa). Tämäntyyppiset varastot lisäävät energiajärjestelmän joustavuutta, josta on hyötyä, kun energiaa tuotetaan uusiutuvista lähteistä (esim. aurinko- ja tuulisähkö) tai mikäli hukkalämmön tuotannon ja kysynnän välillä on kohtaanto-ongelma tai tuotannon ja kulutuksen ajoituksessa on eroja.

Edellä mainituissa lämmön kausivarastoinnin esimerkeissä Vaasan Vaskiluodon CTES-varasto on otettu käyttöön vuonna 2020. Varaston tilavuus on 210 000 m^3, lataus- ja purkuteho on 100 MW ja varastoitava energiamäärä on 7000–9000 MWh. Helen Oy käynnisti Mustikkamaan CTES-maanalaisen kausilämpövaraston rakentamisen ja hankkeen arvioidaan valmistuvan vuonna 2021. Varaston tilavuus on 260 000 m^3 ja suunniteltu lataus- ja purkuteho 120 MW. Vantaan Energia Oy ilmoitti syyskuussa 2020, että se aikoo rakentaa maanalaisen 640 000 m^3 lämpövaraston, joka muodostuu neljästä 20 x 40 x 200 m kokoisesta luolasta. Varaston suunniteltu lämpötilataso on korkea (140°C) verrattuna muihin edellä mainittuihin lämpövarastoihin, joiden lämpötilataso on noin 95°C.

Kaukolämpö- ja jäähdytysjärjestelmien kehityksessä voi nähdä viisi pääsuuntaa: uusien järjestelmien jakeluverkoston lämpötilan madaltaminen, korkean lämpötilan teollisen mittakaavan lämpöpumppujen sekä korkealämpöisten teollisuuden hukkalämpöjen integroiminen olemassa oleviin kaukolämpöjärjestelmiin, kaukokylmäverkon kehitys, kiinteistöjen hukkalämmön syöttö verkkoon sekä lämmön kausivarastoinnin hyödyntäminen huipputehon ja kulutuspiikkien pienentämiseksi.

1.4 Liiketoiminnan kehittämisen tulevaisuuden näkymät

Viimeisen kolmen vuoden aikana muutamat kaukolämpöyhtiöt ovat ottaneet käyttöön sellaiset käsitteet kuin kaksisuuntainen tai avoin kaukolämpöverkko, joka tarkoittaa sitä, että lämmön lähteen tai kohteen omistaja syöttää/myy omaa hukkalämpöä kaukolämpöyhtiön verkkoon (Kuva 10). Liiketoimintaan liittyen kaksisuuntainen kaukolämpö ymmärretään mallina, jossa ylijäämälämmön lämpö(tila) on kauppatavaraa. Toisin sanoen, tuottaja myy ”hukan” kaukolämpöyhtiölle.

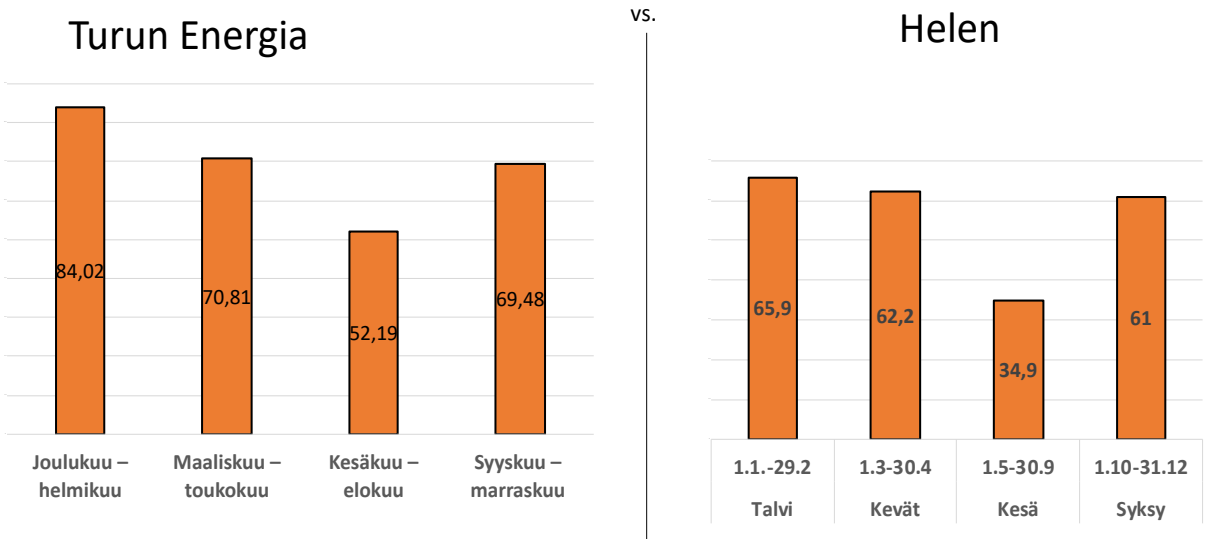
Esimerkkejä kaksisuuntaisesta kaukolämmöstä:

- Yandex myy Mänsälään rakentuvan datakeskuksensa hukkalämmön Mäntsälän Sähkölle (v. 2014)
- Fortum avaa ensimmäisenä Suomessa kaukolämpöverkkonsa kaikille puhtaan energian tuottajille (v. 2018)
- Vantaan Energia tarjoutuu ostamaan hukkalämpöenergiaa Vantaan alueella avoimeen kaukolämpöverkkoon (v. 2018). Vantaan Energian mukaan ostohinta määräytyy tapauskohtaisesti. Siihen vaikuttaa esimerkiksi hukkalämmön määrä, ulkolämpötila, energiayhtiön oma tuotantotilanne ja tarjottavan hukkalämmön lämpötila.
- Helen ostaa Helsingissä ylijäämälämpöä omaan avoimeen kaukolämpöverkkoonsa. Hinta muodostuu kahdesta osasta – kausikohtainen energiamaksu ja kiinteä kuukausimaksu. (v. 2018)
- Helen ja Paulig valjastavat yhteisessä pilotissa hukkalämmön hyötykäyttöön Pauligin kahvipaahtimolla Vuosaaressa. (v. 2019)
- Ficolo pilvipalvelukeskus myy Vantaan Energialle hukkalämpöä (v. 2020)

EU-tasolla on kehitteillä sellainen konsepti kuin energiapositiivinen alue (PED -Positive Energy District). Horizon2020 -ohjelman puitteessa on 18 Lighthouse-hanketta, joista seitsemässä oli suomalaisia kaupunkeja mukana. Hankkeiden fokus on laajempi kuin vain hukkalämpöjen hyödyntäminen – pilottikohteissa sektorikytkennän ja muiden teknisten toimenpiteiden ohella edistetään energiatoimien sosiaalista integraatiota yhteiskuntaan, tunnistetaan ja poistetaan lainsäädännöllisiä esteitä ja kehitetään 3D-kaupunkimallien käyttöä. Teknologisesta (kaukolämmön) perspektiivistä tämä tarkoittaa lämpöverkon muuttamista yksisuuntaisesta – voimalaitokselta loppukäyttöön – kaksisuuntaiseen tai kiertolämpöön. Energiapositiivisen alueen tuottaman energian on oltava EU-kriteerien mukaisesti 100 % uusiutuvaa. PED-konseptissa energiajärjestelmää tarkastellaan aluetasolla. Ajatuksena on se, että alue-perspektiivi tuo mukanaan mm. parempaa kannattavuutta energiajärjestelmän investointikustannuksiin – isompi volyymi, pienempi yksikköhinta. Myös käytön aikana tapahtuva ylituotannon tai ”hukkien” vaihto tuo säästöjä ostoenergian kustannuksiin. Tällaiset PED-konseptit tuovat mukaansa liiketoimintamallien kehittämisen tarpeita, koska tapahtuu energian ostoa ja myyntiä ns. oman tontin/kiinteistörajojen yli. Energiapositiivinen tarkoittaa sitä, että se tuottaa vuositasolla enemmän energiaa kuin kuluttaa, hyödyntäen ajoittain myös alueen ulkopuolella tuotettua lämpöä ja sähköä. VTT:n tekemät tutkimukset osoittavat, että energiapositiiviset alueet ovat taloudellisesti kannattavampia kuin kokonaan energiaomavaraiset alueet. Tutkimuksessa tarkasteltiin Helsingin Kalasataman kaupunginosaa alue-esimerkkinä. Tuloksena todettiin, että elinkaarikustannukset ovat jopa 65 % pienemmät kuin energiaomavaraisen alueen ja jopa lähes 25 % vuotuisesta energiankulutuksesta voidaan kattaa ostoenergialla ja silti saavuttaa energiapositiivisuus.

Kiinteistöyhtiön tasolla liiketoimintamallien kehityksessä suunta on siirtymässä ns. energiaa palveluna (energy-as-a-service) malleihin, joita ovat esimerkiksi, ESCO-, EPC- ja leasing -mallit. Näiden mallien yleinen ajatus on se, että järjestelmän hankkinut asiakas ei maksa investoinnin hintaa hankinnan/käyttöönoton yhteydessä, vaan maksaa sen osissa pois sopimuskauden aikana. ESCO- ja EPC-malleissa maksetaan energian säästöllä, leasing-mallissa sovittu kiinteä kuukausierä. Yhteisenä tekijänä kaikissa näissä malleissa on, että järjestelmän toimittaja ja investoinnin rahoittaja (yleensä eri organisaatio) kantavat yhteisvastuuta projektista. Energiaa palveluna liiketoimintamalleja on pikkuhiljaa alettu soveltaa sekä julkisen sektorin kohteissa (esim. koulut, päiväkodit, uimahallit) että asumisessa (esim. poistoilmalämpöpumppu+kaukolämpö ja poistoilmalämpöpumppu+maalämpöpumppu -hybridijärjestelmiä vanhoihin asuinkerrostaloihin).

Lämmitysjärjestelmien elinkaarikannattavuuteen (miten katetaan investointi, energiankulutus sekä ylläpito) vaikuttavat eniten teho- ja kulutushuippujen hallinta. Hybridijärjestelmien tapauksissa investointivaiheessa on kriittistä osata ennakoida tilannetta, miten tuotanto ja kysyntä kohtaavat myös pitkän ajan perspektiivissä erityisesti huippujen aikana. Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallissa kiinteistö voi sekä tuottaa itse lämpöä, että syöttää hukkalämpöä kaukolämpöverkkoon, olla siis aiemmin luvussa 1.2 mainittu tuottaja-kuluttaja. Tällaisessa kiinteistökohtaisen ja kaukolämmön -hybridijärjestelmässä kiinteistössä on jonkinlainen lämpöpumppuun perustuva järjestelmä ja kaukolämpö rinnakkaisena järjestelmänä kattamaan talven kulutushuippuja. Kiinteistökohtaisissa omavaraisissa lämpöpumppuihin perustuvissa hybridijärjestelmissä talven kulutushuippuja katetaan sähkön käytöllä. Kohteen sijainnilla ja lämmönkulutuksen ajoituksella on iso merkitys kannattavuuden kannalta. Kuvassa 14 on esitetty esimerkinomaisesti Turun Energian ja Helenin kaukolämmön energiamaksujen hintoja eri kausina. Isojen kaukolämmön energiahintojen erojen lisäksi on myös eroja kaukolämmön kokonaishinnan toisessa osassa – teho- tai vesivirtamaksussa, joka kattaa mm. lämmön tuotantolaitosten ja siirtoverkoston investointeja ja kunnossapitoa.



Kuva 14. Kaukolämmön energiamaksut (toukokuu 2020 voimassa oleva hinnasto) – Turun Energia ja Helen.

1.5 HUKATON-fokus

Tässä raportissa termi ”hukkalämmön lähde” käsittää ympäristölämmön, kiinteistöjen poistoilman ja jäteveden sisältämän lämmön, CHP-laitosten kaukolämpötuotannon, lämmön varastoinnin. Termi “hukkalämmön käyttökohde” käsittää kiinteistöjen sisäilman lämmityksen ja viilennyksen, käyttöveden lämmityksen sekä kaukolämpö- ja jäähdytysjärjestelmien veden lämmityksen ja viilennyksen. Lämmitysjärjestelmät on jaettu karkeasti kahteen osaan: kiinteistökohtainen lämmitysjärjestelmä ja kaukolämpö- ja jäähdytysjärjestelmä. Termi “lämmönvarastointi” käsittää kiinteistökohtaisen järjestelmän lämminvesivaraajan, maalämpökaivon tai geoenergiakentän.

Termi “hukkalämmön tekninen hyödyntäminen” käsittää lämmöntalteenoton (LTO), lämpöpumput (LP), sarjaan- ja rinnankytkennän kaukolämpöverkkoon, lämmönvarastoinnin sekä lämmön toimittamisen ja kulutuksen säätäminen eli lämmön kulutusjousto.

HUKATON-hankkeessa keskityttiin hukkalämmön teknisen ja taloudellisen hyödyntämisen potentiaaliin seuraavissa rakennustyypeissä:

- **asuinkerrostalot**, jotka ovat liitetty kaukolämpöverkkoon ja joiden käyttöönottovuosi on ennen 2003 (koneellinen poistoilmanvaihto, jossa ei ole lämmöntalteenottoa)
- **uima- ja jäähalli**, joita tarkastellaan sekä kokonaisuutena että erikseen
- **kauppakeskusten rakennukset** hypermarkettien mittakaavassa, uudisrakentaminen (yli 2500 m^2 myyntipinta-alaa)
- **kasvihuoneet**, jotka lämmitetään öljyllä ja joille etsitään muita ei-fossiilisten polttoon perustuvia energiaratkaisuja
- **jätevoimalat** ja niihin liittyvä geoenergiapotentiaali tai lämmönvarastointi

HUKATON-hankkeen tarkastelutyö keskittyi poistoilman ja jäteveden lämmöntalteenottoon (LTO), poistoilmalämpöpumppujen (PILP tai poistoilma-LP), jätevesilämpöpumppujen (JVLP tai jätevesi-LP) kiinteistökohtaisessa järjestelmässä sekä niiden integrointiin tai kytkentään kaukolämpöjärjestelmän kanssa (ks. luku 2.1).

Hukkalämmön teknistä potentiaalia tarkasteltiin valittujen kohteiden avulla, jotka edustavat edellä mainittuja tyyppikohteita. Maantieteellisesti HUKATON-tarkastelukohteet sijaitsevat Helsingissä ja Varsinais-Suomessa. Raportin seuraava luku 2 esittelee tarkastelukohteet ja niihin liittyvät tulokset. Liiketoimintapotentiaalia tai taloudellisen hyödyntämisen potentiaalia tutkittiin laajemmin asuinkerrostaloihin ja kauppakeskuksiin liittyen (luku 3.2). Yleiset johtopäätökset sekä suositukset on esitetty luvussa 4 – erikseen kohteille, jotka ovat saman tyyppisiä kuin hankkeen tarkastelukohteet (luku 4.1) ja liiketoiminnan edistämiselle (luku 4.2).

Bigstock

2 HUKATON-tarkastelukohteet

2.1 Asuinkerrostalot

Asuinkerrostalojen hukkalämpöjen hyödyntämistä tutkittiin käyttäen vertailukohteena Helsingin kaupungin asunnot Oy:n (Heka) omistamaa kerrostaloa. Tämä tutkimusosio toteutettiin Aalto-yliopistossa. Työn suorittaja ja tämän luvun kirjoittaja on tutkijatohtori Janne Hirvonen LVI-tekniikan tutkimusryhmästä. Tutkimuksesta on olemassa myös konferenssijulkaisu [10].

Helsingin kaupungin omistuksessa on kaikkiaan noin 60 000 asuntoa, joista Heka asuntoja on noin 48 000 kpl. Heka on sitoutunut kiinteistöalan energiatehokkuussopimukseen (VAETS), jonka mukaan energiansäästötavoite kaudelle 2017–2025 on 7,5 %. Hekassa on viime vuosina pilotoitu poistoilmalämpöpumppuja (PILP), aurinkosähköpaneeleja sekä lämmön kulutusjoustoa kerrostalokannassa. Heka avasi kiinteistöjensä energiankulutustiedot kaupungin avoimeen 3D-kaupunkitietomalliin helmikuussa 2018.

Vertailukohde oli vuonna 2000 sen aikaisten rakentamismääräysten mukaan rakennettu kuusikerroksinen asuinkerrostalo. Kohteessa on koneellinen poistoilmanvaihto ilman lämmöntalteenottoa (LTO), jonka myötä lämmin poistoilma karkaa hyödyntämättä luontoon. Lämmitys tapahtuu kaukolämmöllä. Hekan omistamasta kiinteistökannasta 80 % on rakennettu ennen vuotta 2000 [11] ja vertailukohde on ominaisuuksiltaan hyvin tyypillinen rakennus (Taulukko 1). Hukkalämpöjen hyödyntämisen potentiaalia ja kustannustehokkuutta vertailtiin mallintamalla useita vaihtoehtoisia LTO-järjestelmiä ja laskemalla niiden tuntikohtainen energiankulutus ja investointikulut. Vertailukohteen vuotuinen kaukolämmön tarve oli 537 MWh tai 139 kWh/m^2.

Taulukko 1. Vertailukohteena toimineen asuinkerrostalon ominaisuudet.

Ominaisuus	Arvo
Rakennusvuosi	2000
Vaipan U-arvot (W/m²K)	
Ulkoseinä	0.28
Lattia	0.36
Yläpohja	0.22
Ulko-ovet	1.4
Ikkunat (kolmilasinen, kirkas)	1.7
Ikkunan g-arvo	0.71
Ikkunan suoraläpäisy	0.64
Ikkunan valonläpäisy	0.75
Vuotoilma (arvio)	
n50, (1/h)	1
q50 m³/(h m²)	2.60
Ilmanvaihto	
Tyyppi	Koneellinen poisto
LTO	–
Ilmanvaihto-määrä (1/h)	0.5
SFP (kW/m³/s)	1.5
Patterit (°C/ °C)	70/40
Lämmönjaon hyötysuhde	0.8
Lämmityksen asetusarvo (°C)	
Asuintilat	22
Muut tilat	19
Lämpimän käyttöveden tarve (L/asukas/päivä)	65
Asukkaita	108
Lämmitetty nettoala (m²)	3855
Vaipan ala (m²)	1608
Ikkunoiden pinta-ala (m²)	315

2.1.1 Mallintamisen perustiedot

Rakennus mallinnettiin IDA-ICE 4.8. -ohjelmistolla, jolla voi dynaamisesti simuloida ilmanvaihdon ja tilojen lämmityksen aiheuttaman energiantarpeen. Tämän lisäksi hyödynnettiin TRNSYS 17 -laskentaohjelmaa monimutkaisempien energiajärjestelmien mallintamiseen.

Rakennuksen kuukausittainen sähkön ja veden kokonaiskulutus saatiin Hekalta. Lämpimän käyttöveden (LKV) osuudeksi oletettiin 40 % veden kokonaiskulutuksesta. LKV:n tuntikohtainen käyttöprofiili luotiin pääkaupunkiseudun rakennusten vedenkulutusta tutkineen diplomityön tietojen pohjalta [12].

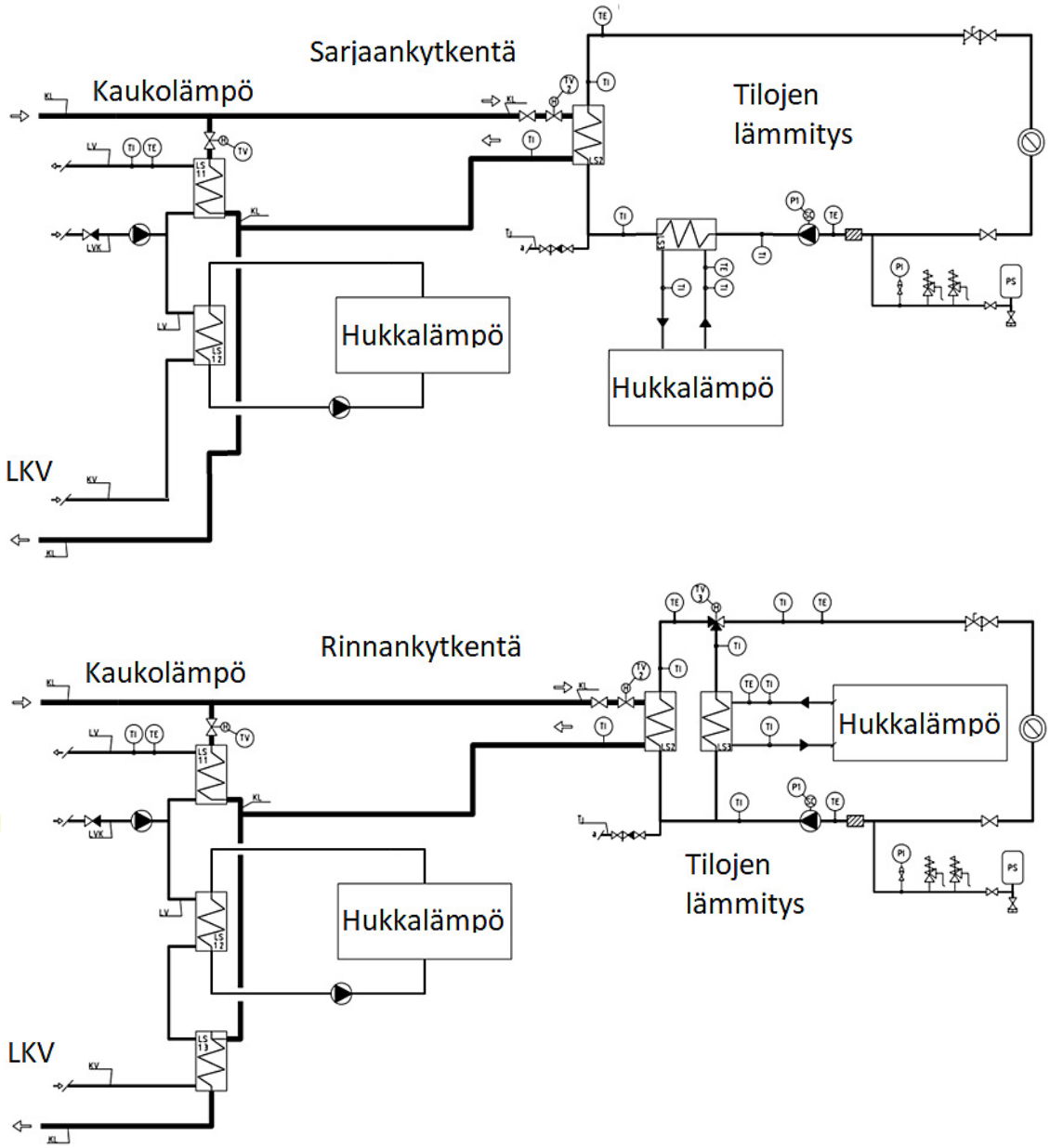
CO2-päästöjen laskemiseksi sähkön päästökertoimina käytettiin Energiateollisuuden ilmoittamia kuukausikeskiarvoja vuosilta 2011–2015. Sähkön vuotuinen keskiarvo oli 133 g/kWh, heinäkuun 81 g/kWh ja tammikuun 173 g/kWh. Kaukolämmön päästökerroin oli kiinteä 164 g/kWh.

2.1.2 Tutkitut järjestelmät

Tutkitut LTO-järjestelmät esitetään Taulukossa 2. Järjestelmä 1 on vertailukohde sellaisenaan, poistoilmanvaihto ilman lämmöntalteenottoa. Järjestelmässä 2 tehtiin IV-remontti ja asennettiin koneellinen tulo-poisto-ilmanvaihto lämmöntalteenotolla. Järjestelmä 3 on muuten sama, mutta ilmanvaihdon virtausta pienennettiin mikäli huoneistot olivat tyhjiä. Järjestelmissä 4–8 on alkuperäinen poistoilmanvaihto, mutta tämän päälle on asennettu poistoilmalämpöpumppu ja/tai jäteveden LTO. Näissä järjestelmissä LTO on kytketty sarjaan kaukolämmön kanssa siten, että ensin hukkalämmöllä esilämmitetään kylmää käyttövettä ja lämmityspiirin vettä, jonka jälkeen virtaukset jälkilämmitetään kaukolämmöllä toivottuun asetusarvoon. Useimmat kaukolämpöyhtiöt eivät kuitenkaan salli hukkalämpöjen sarjaankytkentää, vaan ne vaativat rinnankytkentää, koska haluavat minimoida kaukolämmön paluuvirtauksen lämpötilan [13]. Tapaukset, 4 B, 6 B ja 8 B edustavat näitä tapauksia. Vaihtoehtoiset kytkennät näkyvät kuvassa 14.

Taulukko 2. Tutkitut LTO-järjestelmät.

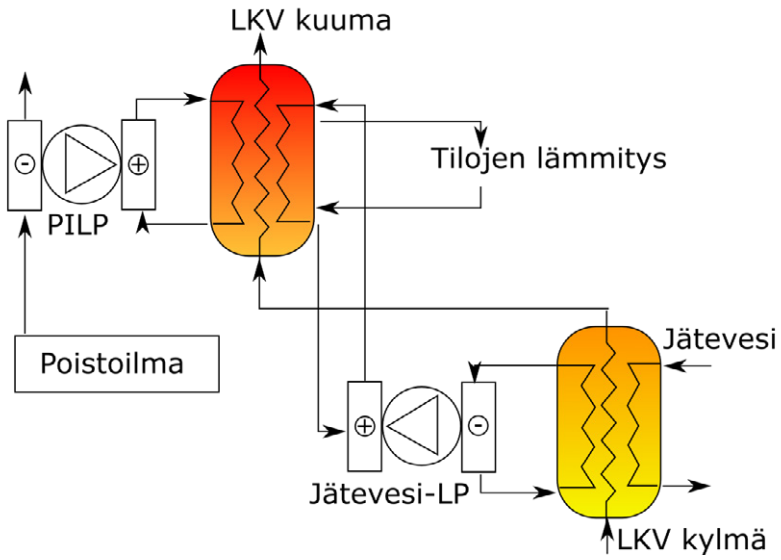
Tapaus	Ilmanvaihdon tyyppi	Ilmanvaihdon LTO	Jäteveden LTO
1	Koneellinen poisto	–	–
2	Koneellinen tulo ja poisto	Lämmönvaihdin	–
3	Koneellinen tulo ja poisto + VAV	Lämmönvaihdin	–
4	Koneellinen poisto	PILP	–
5	Koneellinen poisto	–	Lämmönvaihdin
6	Koneellinen poisto	–	LP
7	Koneellinen poisto	PILP	Lämmönvaihdin
8	Koneellinen poisto	PILP	LP
4 B	Koneellinen poisto	PILP	–
6 B	Koneellinen poisto	–	LP
8 B	Koneellinen poisto	PILP	LP



Kuva 14. Hukkalämmön ja kaukolämmön kytkentä lämmitysjärjestelmään. Yllä sarjaankytkentä, alla rinnankytkentä. Muokattu lähteestä: [13].

Lämpövarastojen, lämpöpumppujen ja hukkalämpöjen keskinäiset kytkennät näkyvät Kuvassa 16. PILP:n tuottama lämpö varastoitiin lämminvesivaraajaan. Patteriverkon ja LKV:n virtaukset kierrätettiin tämän lämpövaraston kautta ennen jälkilämmitystä kaukolämmöllä.

Jäteveden LTO tapahtui toisen lämmönvaihtimella varustetun vesisäiliön avulla. Jätevesi kiertää LTO-kierukassa säiliön läpi yhteen suuntaan ja kylmä käyttövesi kulkee toisessa lämmönvaihtimessa päinvastaiseen suuntaan. Jäteveden oletettiin olevan aina 20 °C lämpötilassa. Myös kylmä käyttövesi lämpenee seistessään putkistossa ja WC-pöntöissä, minkä vuoksi jäteveden virtauksen oletettiin vastaavan kokonaisvedenkulutusta, ei pelkästään LKV:n kulutusta. Jäteveden LTO:ta saatiin tehostettua hyödyntämällä lämpöpumppua kahden vesisäiliön välissä. Jäteveden alin sallittu poistumislämpötila oli 5 °C.



Kuva 15. Lämpöpumppujen, hukkalämpöjen ja lämpökuorman kytkennät lämpövarastoihin.

Järjestelmien elinkaarikustannukset laskettiin 30 vuoden ajalta, käyttäen 3 % korkoa ja 2 % vuotuista energian hinnan nousua. Sähkön hinta oli kiinteä 122,5 €/MWh. Kaukolämmön hinta vaihteli kesäajan 37 €/MWh arvosta talven 73,6 €/MWh arvoon. LTO-järjestelmien kustannukset on esitetty Taulukossa 3.

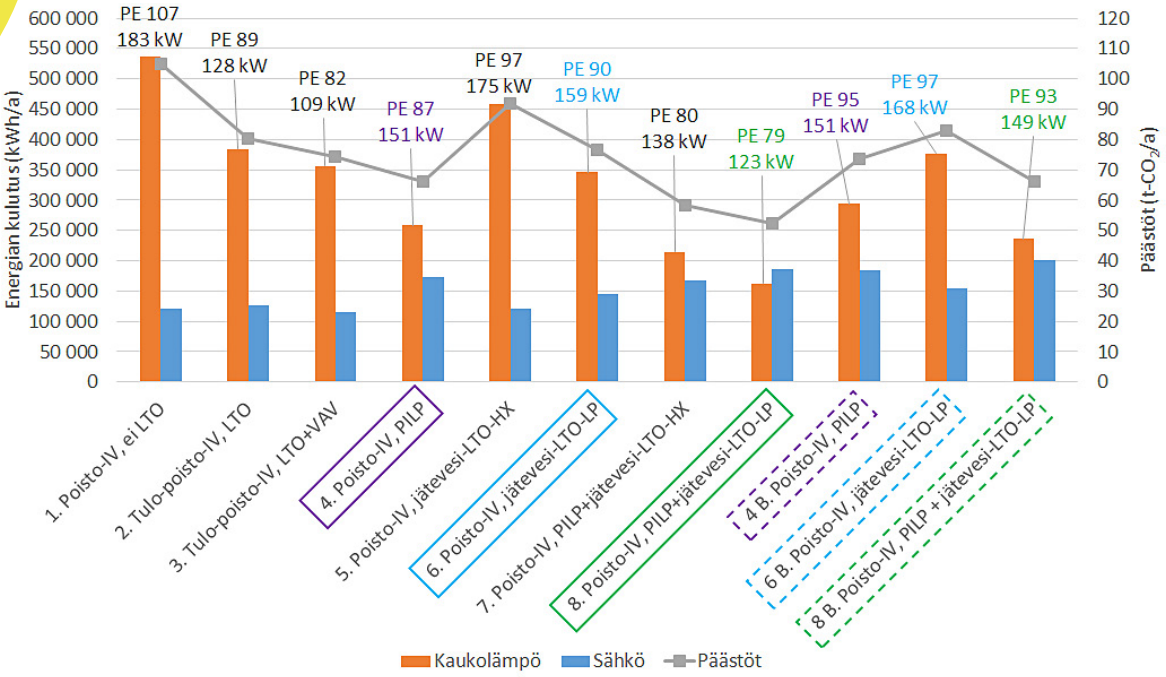
Taulukko 3. LTO-järjestelmien investointikustannukset.

Järjestelmä	Hyötysuhde / kapasiteetti	Hinta (€)
Tulo-poisto-IV	75 %	435 009
Tulo-poisto-IV + VAV	75 %	467 409
PILP	30 kW	98 332
Jätevesivaraaja	2 m^3	39 080
Jätevesivaraaja + LP	15 kW	54 330

2.1.3 Tulokset

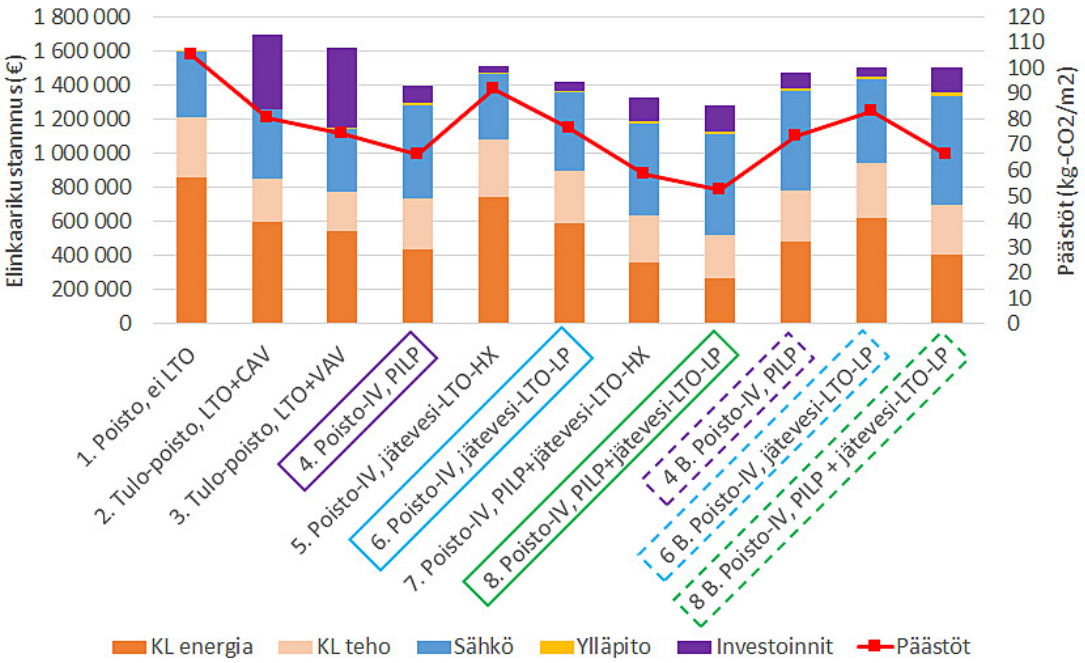
Kaikkien tutkittujen järjestelmien CO2-päästöt ja energiankulutukset näkyvät Kuvassa 16. Lisäksi siinä näkyy primäärienergiankulutus ja vuoden suurin tuntikohtainen huippulämpöteho. Kaukolämmön kulutus laski merkittävästi kaikilla LTO-menetelmillä. Suurin vaikutus saatiin tapauksessa 8, jossa oli käytössä sekä ilmanvaihdon että jäteveden LTO lämpöpumpuilla, kaukolämmön ja hukkalämmön ollessa sarjaankytkettyjä. Tällä kytkennällä kaukolämmön kulutus laski 70 % ja CO2-päästöt 50 %. Saman järjestelmän rinnankytketyllä versiolla (8 B) kaukolämmön kulutus laski 56 % ja CO2-päästöt 37 %. Sähkön kulutus oli vastaavasti suurempi rinnankytkennällä kuin sarjaankytkennällä. Rinnankytkentä laskee kaukolämmön paluulämpötilaa, mutta huonontaa lämpöpumpun hyötysuhdetta ja laskee hyödynnettävissä olevan hukkalämmön määrää. Koneellinen tulo-poisto-ilmanvaihto (erityisesti tarpeenmukaisesti ohjattuna) vähensi eniten kaukolämmön huipputehoa, mutta kaukolämmön kokonaiskulutuksessa PILP-ratkaisut voittivat.

Poistoilmalämpöpumpun ja jätevesilämpöpumpun yhdistelmän (Tapaus 8) tuottama säästö kaukolämmön kulutuksessa oli noin 100 MWh vähemmän kuin erillisten järjestelmien (Tapaukset 4 ja 6) säästöjen summa. Kaikkea potentiaalista hukkalämpöä ei siis saatu hyödynnettyä. Sama havainto pätee rinnankytketyissä B-tapauksissa. Hukkalämpöjä voisi hyödyntää enemmän lämpövarastojen avulla.



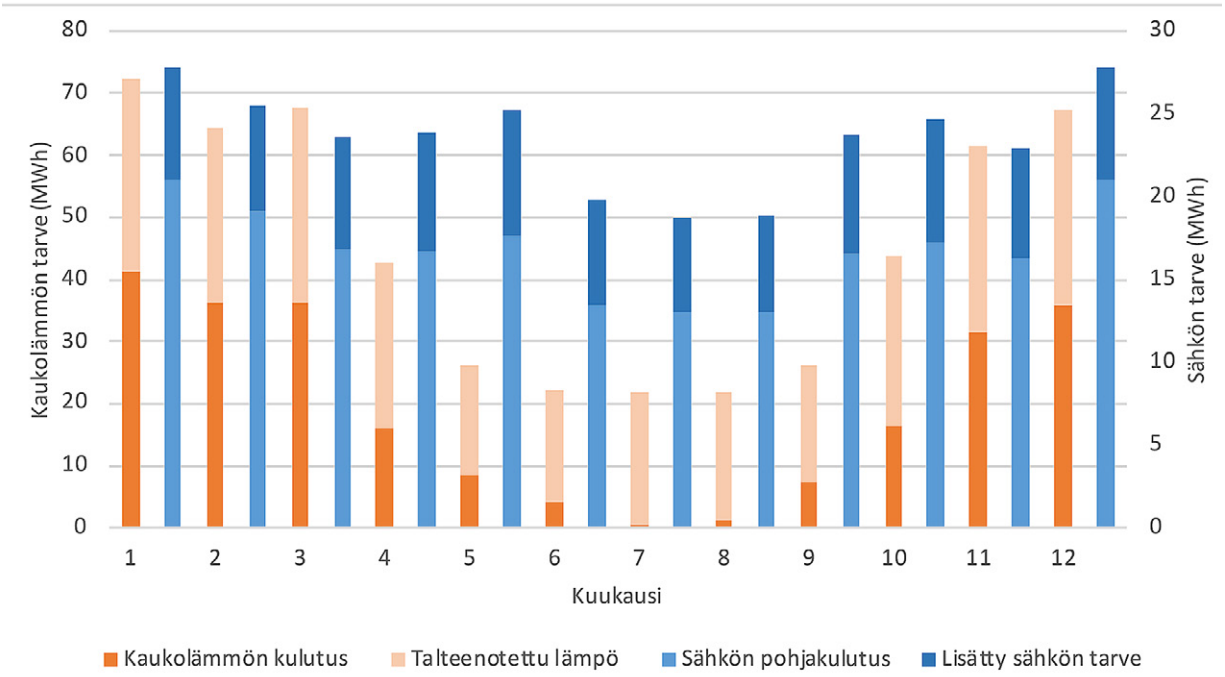
Kuva 16. Tutkittujen järjestelmien sähkön ja kaukolämmön vuotuinen kysyntä sekä samojen järjestelmien tuottamat CO2-päästöt. Palkkien yläpuolella olevat luvut kertovat primäärienergian kulutuksen (kWh/m²) ja kaukolämmön vuotuisen huipputehon. Samoilla väreillä merkityt tapaukset esittävät saman järjestelmän sarjaan- ja rinnankytkettyjä versoita.

Kuvassa 16 näkyy tutkittujen järjestelmien elinkaarikustannukset ja CO2-päästöt. Tässä on huomioitu investoinnit, energiakulut ja ylläpitokulut 30 vuoden aikana. Vertailutapauksen elinkaarikustannuksista (1 600 000 €) merkittävin osuus muodostui kaukolämmön energia- ja tehomaksuista (eli vesivirtamaksuista). Vaihtaminen koneelliseen tulo-poisto-ilmanvaihtoon oli elinkaarikustannuksiltaan alkuperäistä järjestelmää kalliimpaa, mutta tarpeenmukaista ilmanvaihtoa (VAV) hyödyntämällä kulut laskivat vertailutapauksen tasolle. Selvää kustannussäästöä saatiin poistoilmalämpöpumppua (PILP) ja jäteveden hukkalämpöjä hyödyntämällä. Hukkalämpöjen sarjaankytkennällä kulut (1 280 000 €) olivat kuitenkin merkittävästi alemmat verrattuna rinnankytkentään (1 500 000 €). Säästö elinkaarikustannuksissa vertailutapauksen suhteen oli 20 % sarjaankytkennälle ja 6 % rinnankytkennälle. Pelkkä PILP tuotti 13 % säästöt elinkaarikustannuksissa sarjaankytkennällä ja 8 % säästöt rinnankytkennällä.



Kuva 17. Tutkittujen järjestelmien eri osien elinkaarikustannukset sekä järjestelmien vuotuiset CO2-päästöt.

Kuva 18 näyttää parhaimman yleisesti hyväksyttävän järjestelmän (8 B) kuukausittaiset energiankulutukset. Järjestelmässä on rinnankytketty PILP ja jäteveden LTO lämpöpumpulla. Oranssilla esitetään kaukolämmön tarve ja LTO:n aiheuttama säästö. Sinisellä esitetään sähkönkulutus ja LTO:n aiheuttama lisäkulutus. Sähkön tarve kasvoi jokaisella kuukaudella ja kaukolämmön kulutus taas vastaavasti laski. Suurin kulutus oli tammikuussa, mutta LTO-järjestelmällä se laski 62 %. Kesäkuukausina lähes kaikki kaukolämpö saatiin korvattua lämpöpumppujen tuottamalla energialla. Kesäisin kaukolämpö on kuitenkin halpaa, joten lämpöpumpuilla lämmön tuottaminen ei ole välttämättä paras ratkaisu. Lämpöpumput voisikin esimerkiksi kytkeä kokonaan pois päältä kesän ajaksi. Jos hukkalämpöjä voitaisiin varastoida talvea varten, voisi kaukolämmön ja lämpöpumppujen käyttöä optimoida tätä silmällä pitäen.



Kuva 18. Tapaus 8 B (Poisto-IV, PILP + jätevesi-LTO-LP): kuukausittaiset energiankulutukset ja säästö/lisäys vertailutapaukseen (Tapaus 1) verrattuna.

2.1.4 Johtopäätökset

Lämmöntalteenotto kohteessa vähentää CO2-päästöjä merkittävästi kaikilla järjestelmillä. Parhaaksi järjestelmäksi sekä elinkaarikustannusten että CO2-päästöjen suhteen osoittautui tapaus 8, jossa hukkalämmöt kerättiin talteen sekä poistoilmasta että jätevedestä lämpöpumppuja hyödyntäen, sarjaankytkettynä kaukolämmön kanssa. Poistoilmanvaihtojärjestelmän remontointi tulo-poisto-järjestelmäksi oli kallein järjestelmä ja nosti elinkaarikustannuksia vertailutapauksen suhteen. Kaikilla muilla LTO-kokoonpanoilla elinkaarikustannukset laskivat alkuperäiseen verrattuna. Tässä yhteydessä on kuitenkin syytä korostaa sitä, että tässä tutkimuksessa ei otettu huomioon sisäilman laadun vaikutuksia elinkaarikustannuksiin. Sisäilman laatu tyypillisesti paranee, kun koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä vaihdetaan koneelliseksi tulo-poisto-järjestelmäksi.

Ideaaliset eli sarjaankytketyt LTO-järjestelmät mahdollistivat suurimman LTO-potentiaalin ja olivat kustannustehokkaimpia. Hukkalämmön ja kaukolämmön sarjaankytkentä on kuitenkin useimmiten kielletty kaukolämpöyhtiöiden toimesta, koska se nostaa kaukolämmön paluulämpötilaa. Yhdistetty PILP ja jäteveden LTO lämpöpumpulla osoittautui kuitenkin parhaaksi ratkaisuksi myös rinnankytkettynä. Järjestelmän jatkokehittely on mahdollista mm. lämpövarastojen ja lämpöpumppujen paremmalla mitoituksella, ohjausalgoritmien optimoinnilla ja hukkalämpöjen kausivarastoinnilla.

2.2 Urheilukeskus – jäähalli ja uimahalli

Jää- ja uimahallien hukkalämpöjen hyödyntämistä ja älykästä energiaohjausta tutkittiin Helsingissä sijaitsevan Pirkkolan urheilukeskuksen jää- ja uimahallien avulla. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää minkälaisilla teknisillä ratkaisuilla hukkalämmön hyödyntämistä voitaisiin tehostaa, jos vierekkäin sijaitsevien hallien energiajärjestelmät yhdistettäisiin ja kuinka paljon ratkaisut vaikuttavat hallien energiankulutukseen ja energiakustannuksiin. Lisäksi tutkimuksessa kehitettiin jää- ja uimahalleille soveltuvia sähkön ja kaukolämmön kulutusjoustoratkaisuja hallien energiakustannusten vähentämiseksi.

Esimerkkikohteena käytetty harjoitusjäähalli oli tämän tutkimuksen tekovaiheessa vielä suunnitteluvaiheessa ja sen on määrä valmistua vuonna 2021. Esimerkkikohde rakennetaan vuonna 2019 puretun vanhan harjoitusjäähallin tilalle. Esimerkkikohteena käytetty jäähalli koostuu kahdesta erillisestä jääradasta, jotka ovat omissa tiloissaan ja koko jäähallin yhteenlaskettu nettoala on 6700 m². Esimerkkikohteena käytetty vanha uimahalli, joka sijaitsee tutkitun jäähallin läheisyydessä, on valmistunut 1968 ja se on remontoitu vuonna 2002. Hallissa on 25 m pitkä aikuisten allas sekä kaksi lasten allasta ja altaiden yhteenlaskettu pinta-ala on 575 m². Uimahallin nettoala on kaikkiaan noin 8000 m².

Tämä tutkimusosio toteutettiin Aalto-yliopistossa diplomityön muodossa ja tutkimuksen lähtötiedot, tutkitut ratkaisut ja tulokset on kuvattu tarkemmin Leo Lindroosin diplomityössä [14]. Tutkitut jätelämmön talteenottoratkaisut ja niihin liittyvät tulokset on julkaistu myös tieteellisen lehtiartikkelin muodossa [15].

2.2.1 Mallintamisen perustiedot

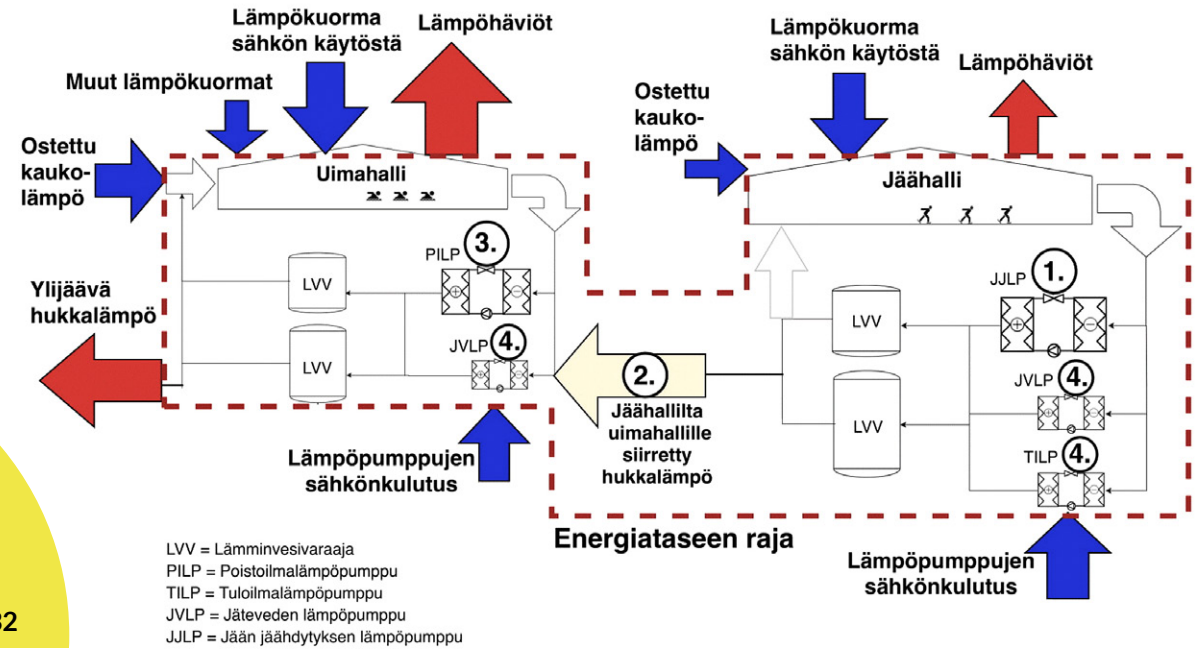
Esimerkkikohteet mallinnettiin IDA ICE 4.8 simulointiohjelmalla. Jääradat ja uima-altaat mallinnettiin yksityiskohtaisesti IDA ICE ohjelmalla "jääkentät ja uima-altaat" nimisen IDA ICE:n laajennusosan avulla, jonka mallit ottavat huomioon mm. jää- ja vesipintojen sekä sisäilman välisen massan ja lämmön siirtymisen. Kohteiden tunnittaiset lämmitys- ja jäähdytystarpeet sekä järjestelmien tunnittaiset energiavirrat simuloitiin IDA ICE ohjelmalla ja hyödynnettävissä olevien hukkalämpöjen määrä ja niiden vaikutus hallien ostoenergiankulutukseen laskettiin jälkikäsittelemällä simulointituloksia. Tutkituissa hukkalämmön hyödyntämisratkaisuissa käytettiin lämminvesivaraajia hukkalämmön lyhytaikaiseen varastointiin ja ne mallinnettiin jälkikäsittelyvaiheessa.

Tutkimuksessa kehitetyt kaukolämmön ja sähkön kulutusjoustoratkaisut toteutettiin sääntöpohjaisten ohjausalgoritmien avulla käyttäen dynaamisia energian hintoja. Kaukolämmön dynaamisena hintana käytettiin tunnittaista synteettistä hintaa, joka on kuvattu tarkemmin julkaisussa [16] ja sähkön tunnittaisena hintana käytettiin Nord poolin julkaisemaa vuoden 2017 Suomen spot-hintaa [17], johon lisättiin sähkön siirtohinta ja verot.

2.2.2 Tutkitut ratkaisut ja tulokset

Tutkimuksessa selvitettiin viiden eri ratkaisuvaihtoehdon vaikutuksia hallien energiakustannuksiin ja kuinka suurilla investoinneilla ratkaisut olisivat kannattavia. Ratkaisuvaihtoehdot 1–4 keskittyvät jätelämmön hyödyntämiseen ja ratkaisussa 5 tutkitaan kulutusjoustoratkaisuja. Kuva 19 esittää energiajärjestelmien

osalta toisiinsa kytkettyjen hallien energiataseen ja jätelämmön hyödyntämisratkaisut (1–4) on merkitty kuvaan numeroilla. Tutkimuksen lähtökohtana on se, että esitetyt ratkaisut otetaan käyttöön numerojärjestyksessä, jolloin ratkaisut vaikuttavat toisiinsa, eli jo käytössä olevilla ratkaisuilla on vaikutusta siihen, kuinka paljon viimeiseksi käyttöön otetulla ratkaisulla saadaan hyödynnettyä hukkalämpöä ja energiakustannuksia.



Kuva 19. Jää- ja uimahallien energiatase sekä tutkitut hukkalämmön hyödyntämisratkaisut, jotka on merkitty kuvaan numeroilla 1–4.

Ratkaisu 1:
Jään jäähdytyksestä syntyvän hukkalämmön hyödyntäminen jäähallissa

Jään jäähdytyksessä syntyvän hukkalämmön hyödyntäminen jäähallin omiin lämmöntarpeisiin vähentää esimerkkikohteessa ostettua kaukolämpöenergiaa jopa 99 %. Ratkaisussa lämpöpumpulla otetaan talteen lauhdelämmön lisäksi korkealämpöistä tulistuslämpöä, jolla lämmitetään jäähallissa tarvittava lämmin käyttövesi. Lauhdelämmöllä katetaan jäähallin tuloilman sekä jäänhoidon, tiloissa olevien lämmitysradiaattoreiden ja jääradan routasuojauksen lämmöntarve. Sähkön kulutus jäähallissa kasvaa 5 %, koska lauhdelämmön lämpötilaa nostetaan tässä ratkaisussa +35 °C:sta +40 °C:een.

Tällä ratkaisulla esimerkkikohteena olevan jäähallin vuotuiset energiakustannukset vähenevät 75 000 €.

Ratkaisu 2:
Ylijäämähukkalämmön siirto jäähallista uimahalliin

Esimerkkitapauksessa jäähallista saatavilla olevasta hukkalämmöstä jää hyödyntämättä noin puolet, jos hukkalämpöä hyödynnetään vain jäähallissa, eikä jää- ja

uimahallien energiajärjestelmiä liitetä yhteen. Koska uimahallin oma hukkalämpö kattaisi uimahallin omasta lämmöntarpeesta vain puolet, tässä ratkaisussa hallien energiajärjestelmät kytketään yhteen ja jäähallin ylimääräinen hukkalämpö siirretään uimahalliin. Tämän ratkaisun avulla 40 % uimahallin lämmöntarpeesta voidaan kattaa jäähallista siirrettävällä ylimääräisellä hukkalämmöllä.

Tällä ratkaisulla esimerkkikohteena olevan uimahallin vuotuiset energiakustannukset vähenevät 30 000 €.

Ratkaisu 3:
Tarpeen mukaan säätyvä poistoilmalämpöpumppu (PILP) uimahallissa

Uimahallin poistoilma sisältää runsaasti lämpöä, joka voidaan ottaa talteen PILP:lla. PILP:n lauhdelämpö kannattaa nostaa lämpötilaan +60 °C, jotta sitä voi käyttää kaikkiin uimahallin lämmöntarpeisiin. PILP tuottamaa lämpöenergian määrää kannattaa ohjata tarpeen mukaisesti. Tutkitussa tapauksessa uimahallin lämmöntarve ennustetaan ulkolämpötilan ja kävijämäärien ennusteiden avulla. Säätämällä PILP:n poistoilman lämpötilan asetusarvoa lämmöntarpeen ennusteen mukaan, uimahalliin ostettu kaukolämpö vähenee 45 % ja samalla sähköntarve kasvaa 20 % tutkitussa tapauksessa.

Tällä ratkaisulla esimerkkikohteena olevan uimahallin vuotuiset energiakustannukset vähenevät 20 000 €.

Ratkaisu 4:
Jäteveden ja jäähallin tuloilman kuivautuksen hukkalämpöjen hyödyntäminen

Jäähallissa ja erityisesti uimahallissa veden lämmittämiseen kuluneesta energiasta noin 30 % voidaan ottaa talteen jäteveden lämmöntalteenoton avulla. Jäähallin tuloilman kuivatuksen lämpö voidaan ottaa kokonaan talteen. Molemmat em. hukkalämmöt kuitenkin tarvitsevat lämpöpumpun nostamaan hukkalämmön lämpötilan +40 °C:een, jotta se olisi hyödynnettävissä. Lisäksi aikaisemmin mainitut ratkaisut 1–3 kattavat jo yli 70 % uima- ja jäähallin lämmöntarpeesta, joten hukkalämmön hyödyntäminen jää sen vuoksi vähäiseksi.

Kun ratkaisut 1–3 ovat jo käytössä, ratkaisu 4 vähentää esimerkkikohteena olevan uimahallin vuotuisia energiakustannuksia 10 000 €.

Ratkaisu 5:
Kulutusjousto

Jäähallissa tutkittiin kulutusjoustoratkaisua, joka säätää jään jäähdytyksen asetusarvoa sähkön dynaamisen hinnan perusteella. Kun tutkimuksessa kehitetty kulutusjoustoalgoritmi luokittelee sähkön hinnan halvaksi, jään lämpötilaa lasketaan -3°C:sta –4.5°C:een. Muutoin jään lämpötila pidetään -3°C:ssa. Tällä ratkaisulla jäähallin sähköenergian kustannusta voidaan pienentää 1,9 %, mutta kustannussäästöjä ei kuitenkaan saada, jos jäähallissa hyödynnetään jään jäähdytyksessä syntyvää hukkalämpöä (ratkaisu 1), koska kulutusjoustoratkaisu pienentää saatavaa hukkalämmön määrää ja kasvattaa kaukolämmön ostotarvetta.

Uimahallissa tutkittiin kolmea eri kulutusjoustoratkaisua:

1. Allasveden sekä uima-allastilan sisäilman lämpötilan asetusarvojen säätäminen kaukolämmön dynaamisen hinnan perusteella. Allasveden normaali asetusarvo oli 26.5 °C ja sitä nostettiin 30 °C:een, kun kulutusjoustoalgoritmi luokitteli kaukolämmön hinnan halvaksi ja asetusarvoa laskettiin 26.0 °C:een kaukolämmön hinnan ollessa korkea. Allastilan sisäilman lämpötilan asetusarvo asetettiin jatkuvasti 2 °C:tta korkeammaksi kuin veden lämpötila haihdunnan rajoittamiseksi.
2. PILP:n tehon säätäminen dynaamisen sähkön hinnan perusteella ja PILP:n lauhdelämmön käyttäminen allasveden ja uima-allastilan lämmittämiseen.
3. Saunojen kiukaiden lämpötilan asetusarvojen säätäminen sähkön dynaamisen hinnan perusteella. Tutkitussa ratkaisussa kiukaiden asetusarvoa laskettiin 10°C kunkin päivän aikana kahden tunnin ajan, kun sähkön hinta oli korkeimmillaan.

Allasveden ja uima-allastilan lämpötilaa säätävällä kulutusjoustoratkaisulla 1 uimahallin kaukolämmön energiakustannukset vähenivät 1,1 %, vaikka veden keskimääräinen lämpötila nousi +26.5 °C:sta +27.3 °C:een. Kulutusjoustoratkaisuissa PILP:n (2) ja kiukaiden lämpötilan säätö (3) vähensi laskelmissa uimahallin kaukolämmön ja sähkön yhteenlaskettuja energiakustannuksia yhteensä 1.0 %.

Tutkituilla kulutusjoustoratkaisuilla (1–3) voidaan yhteensä vähentää tutkittujen esimerkkikohteiden vuotuisia energiakustannuksia 10 000 €.

Mikäli kaikki tutkitut ratkaisut (1–5) otettaisiin käyttöön esimerkkikohteissa, vuotuiset energiakustannussäästöt olisivat yhteensä 145 000€, joka on noin 30 % hallien energiakustannuksista. Max. investointikustannus, jolla e.m. ratkaisut olisivat vielä kannattavia olisivat 7 vuoden tarkastelujaksolla 900 000 €, 10 vuoden tarkastelujaksolla 1 240 000€ (tai 15 vuoden tarkastelujaksolla 1 730 000 €, jos energian hinnan reaalikorko on 3 % ja eskalaatio 2 %.

2.2.3 Johtopäätökset

Yksittäisessä jäähallissa jään jäähdytyksestä syntyvällä lauhdelämmön hyödyntämisratkaisulla voitaisiin kattaa jäähallin oma lämmitystarve lähes kokonaan sähkönkulutuksen kasvaessa vain vähän. Koska lauhdelämmön hyödyntämisellä voidaan jopa noin puolittaa jäähallin vuotuinen yhteenlaskettu vuotuinen sähkön ja lämmön ostoenergiantarve, on lauhdelämmön hyödyntäminen niin merkittävä jäähallien energiankulutukseen ja sitä kautta myös CO2 päästöihin vaikuttava tekijä, että sen käyttöä tulisi vaatia uusissa jäähalleissa ja sen käyttömahdollisuudet tulisi selvittää vanhojen jäähallien energiaremonttien yhteydessä.

Jäähallin tuottaman lauhdelämmön määrä on niin suuri, että sitä riittäisi hyödynnettäväksi myös muihin tarkoituksiin jäähallin ulkopuolelle, vaikka jäähallin lämmityksessä hyödynnettäisiinkin lauhdelämpöä. Suuren lämmitystarpeensa vuoksi uimahalli olisi ideaalinen jäähallin naapuri, koska uimahallin omilla hukkalämmön hyödyntämisratkaisuilla saadaan katettua vain noin puolet uimahallin lämmitystarpeesta. Kytkemällä jää- ja uimahallien energiajärjestelmät yhteen jäähallista siirrettävällä lauhdelämmöllä voitaisiin kattaa merkittävä osa, jopa 40 % uimahallin lämmitystarpeesta. Vaikka jää- ja uimahallien energiajärjestelmät liitettäisiin yhteen ja niissä käytettäisiin tutkittuja hukkalämmön hyödyntämisratkaisuja, jäisi uimahallista vielä jäljelle hukkalämpöä siirrettäväksi muuhun tarkoitukseen tutkituissa tapauksissa ratkaisuista riippuen jopa noin 460–2300 MWh/a esimerkiksi urheiluhallien tai jalkapallokenttien lämmittämiseen. Tämä johtuu siitä, että järjestelmien

tuottaman hukkalämmön määrä vaihtelee suuresti ajan suhteen ja niinä ajanhetkinä, jolloin jää- ja uimahallien kaikki energiavarastot ovat jo täynnä, mutta kerättyä hukkalämpöä olisi kuitenkin tarjolla, hukkalämpöä riittäisi siirrettäväksi muuhun käyttöön jää- ja uimahallien ulkopuolelle. Koska jää- ja uimahallit tuottavat erittäin paljon hyödynnettävissä olevaa hukkalämpöä, tulisi hukkalämmön hyödyntäminen ottaa huomioon jo urheilupuistojen kaavoituksen yhteydessä.

Tulokset osoittavat, että tutkituista kulutusjoustoratkaisuista allasveden ja uima-allastilan lämpötilan säätämisellä on suurin kustannussäästöpotentiaali, mutta erityisesti allasveden lämpötilan muutoksilla voi olla merkittäviä vaikutuksia altaan käytettävyyteen uimareiden näkökulmasta, joten hyväksyttävä allasveden lämpötilan vaihteluväli saattaa olla pienempi kuin tutkimuksessa käytetty (26.5–30 °C).

Tutkituilla ratkaisuilla on mahdollista saada aikaa merkittäviä energiakustannussäästöjä jää- ja uimahalleissa. Esimerkkikohteissa tutkittujen ratkaisujen yhteenlaskettu vuotuinen energiakustannussäästö on yhteensä 145 000 €. Ratkaisujen taloudellinen kannattavuus riippuu tarvittavien investointien suuruudesta. Max. yhteenlaskettu investointikustannus, jolla tutkitut ratkaisut olisivat vielä taloudellisesti kannattavia, vaihtelee 900 000 € ja 1 730 000 € välillä tarkastelujakson pituuden ollessa 7:stä 15:ta vuotta.

2.3 Kasvihuoneet – Huiskula ja Piltti

HUKATON-hanke on toteuttanut tässä osiossa esitettyä kokonaisuutta ostopalveluna.

Turun ammattikorkeakoulu toimi työn tilaajana. Selvityksen tekijäksi valikoitui HelAudit Oy ja käytännön toteutuksesta vastasi HelAudit Oy:n Juuso Pesälä ja Atte Nieminen. Tämän kappaleen sisältö pohjautuu tekijän toimittamaan raporttiin.

Turussa sijaitsevassa **Huiskulan puutarhassa** (kuva 20) viljellään ympärivuotisesti erilaisia koristekukkia. Puutarha-alue sisältää noin 55000 m² käytössä olevia lämmitettäviä kasvihuoneita ja lisäksi muita rakennuksia kuten toimistotiloja, henkilöstön asuintiloja, kylmätiloja sekä varastohalleiksi muutettuja vanhoja erilliskasvihuoneita. Varastojen pinta-ala on noin 7500 m².

Kuva 20. Huiskulan kasvihuoneet. Kuva: Huiskula Oy.

Kuva 21. Piltti Oy:n pinaattiviljelyn kasvihuoneyksikkö 20m x 75m.
Kuva: Piltti Oy kauppapuutarha.

Pöytyällä sijaitsevassa **Piltin puutarha** sisältää noin 16 000 m² ympärivuotisessa käytössä olevia kasvihuoneita, sekä noin 4 000 m² muuta lämmitettyä tilaa. Piltin puutarhalla on kiinnostusta jäähdytysjärjestelmään, jolla tilojen ylilämpenemisen voisi poistaa tai ainakin vähentää sitä. Ylilämpeneminen aiheuttaa sekä kasvien kuivumista että juuristotauteja. Lämpiminä kesinä ylilämpeneminen johtaa useisiin satomenetyksiin, ja sillä on selvä rahallinen merkitys.

2.3.1 Mallintamisen perustietoa

HelAudit Oy on tarkastellut kahden erillisen kasvihuoneyrityksen – **Piltti** ja **Huiskula** – nykyisen lämmitysjärjestelmän korvaamista aurinkoenergiaa hyödyntävällä kausilämpövarastolla. Molemmissa tapauksissa optimoidun järjestelmän osiot ja niiden väliset kytkökset ovat samankaltaiset (Kuva 22). Erot kohteiden energiajärjestelmissä johtavat kuitenkin siihen, että näiden osien mittasuhteet ovat hieman erilaiset.

Optimointi toteutettiin evolutiivisiin algoritmeihin perustuvan optimointialgoritmin avulla, jonka fysikaalisen simuloinnin validointiin on käytetty COMSOL Multiphysics -ohjelmistoa.

Optimoinnin lähtötietoja – Huiskula & Piltti

Kallion tiheys:	2.634 kg/l
Kallion lämmönjohtavuus:	3.2 W/mK
Kallion ominaislämpökapasiteetti:	0.2333 W/kg / 849 J/kgK
Kallioon poraamisen kustannus:	32 €/m
Maakerrokseen poraamisen kustannus:	60 €/m
Maakerroksen paksuus:	8 m
Varaajan kaivuukustannus:	40 €/m³
Varaajan kannen eristäminen:	100 €/m²
Varaajan pohjan eristäminen:	15 €/m²
Lämpöpumppujen kustannus:	1 500 €/kW (sähköteho)
Puhallintehon kustannus:	(2 800 €/kW (sähköteho)

Huiskulan vuotuinen lämpöenergian kulutus on tällä hetkellä noin 25 000 – 30 000 MWh, mallinnuksessa sen on oletettu olevan 20 000 MWh, sillä alueen energiatehokkuuden voidaan katsoa paranevan vähintään tuon verran seuraavan ~ 5 vuoden aikana, kun vanhoja erillishuoneita, joista osassa ei ole energiaverhoja korvataan uusilla energiatehokkaammilla blokkihuoneilla.

Simuloinnin lähtödatana on käytetty yhden nykyisen blokkihuoneen historiallista olosuhde- ja lämmityksen ohjausdataa, yhdistettynä koko järjestelmän energian kulutustietoihin. Käytetyksi laskennan mallivuodeksi valittiin aikaväli huhtikuu 2016 – maaliskuu 2017, koska saatavissa olevasta datasta kyseinen aikaväli muistuttaa parhaiten sitä millaisia sääolosuhteiden, ilmatieteen laitoksen laskelmien mukaan, arvioidaan olevan 2030-luvulla.

Mallinnetussa järjestelmässä oletetaan, että kaikki Huiskulan kasvihuoneet on muutettu uusiksi blokkihuoneiksi ja että koko järjestelmän energiankulutusprofiili säilyy nykyisen kaltaisena myös tulevaisuudessa. Näiden oletusten tarkoitus on pyrkiä mallintamaan järjestelmän toimintaa sellaisena kuin sen voi olettaa olevan seuraavan 5–10 vuoden kuluttua, mikä on nykyhetkeä mielekkäämpi tarkasteluajankohta energiainvestointien kannattavuuden näkökulmasta.

Apuoletukset:

Lämmityksen vaihtoehtoiskustannus:	30 €/ MWh
Investointituki:	40 % (Kasvihuoneiden investointituki)
Jäähdytyksen arvo:	0 €/MWh
Sähkön hinta talvella:	60 €/MWh
Sähkön hinta kesällä:	35 €/MWh
Kasvihuoneen absorptiokerroin:	0.42

Piltin vuotuinen lämpöenergian kulutus on tällä hetkellä noin 6 300 MWh, tehdyssä mallinnuksessa kulutuksen ei arvioida muuttuvan. Puutarhan lämmitysjärjestelmä on uusittu hiljattain, lämmitykseen käytetään biopolttokattilaa, jonka polttoainekustannus on huomattavan alhainen, lämmityksen vaihtuvan kustannuksen on arvioitu olevan noin 15 €/MWh.

Simuloinnin lähtödatana on käytetty yhden nykyisen kasvihuoneen olosuhde- ja lämmityksen ohjausdataa, joka on yleistetty koskemaan koko aluetta. Laskentadata on vuodelta 2018, jolloin kasvihuone kärsi huomattavia satomenetyksiä poikkeuksellisen kuuman kesän vuoksi.

Käytettävissä olevan datan pohjalta Piltin puutarhan jäähdytystarpeen arvioitiin olleen noin 8 100 MWh vuonna 2018. Jäähdytyksen arvoksi perusmallissa määritettiin 10 €/MWh. Tähän arvioon päädyttiin laskemalla vuoden 2018 satomenetysten arvo yhteen, jakamalla saatu summa kahdella ja jyvittämällä kustannukset laskennalliselle tarvitulle jäähdytysteholle.

Apuoletukset, jotka poikkeavat Huiskulan vastaavista:

Lämmityksen vaihtoehtoiskustannus:	15 €/ MWh
Jäähdytyksen arvo:	10 €/MWh
Kasvihuoneen absorptiokerroin:	0.55

2.3.2 Tutkitut järjestelmät

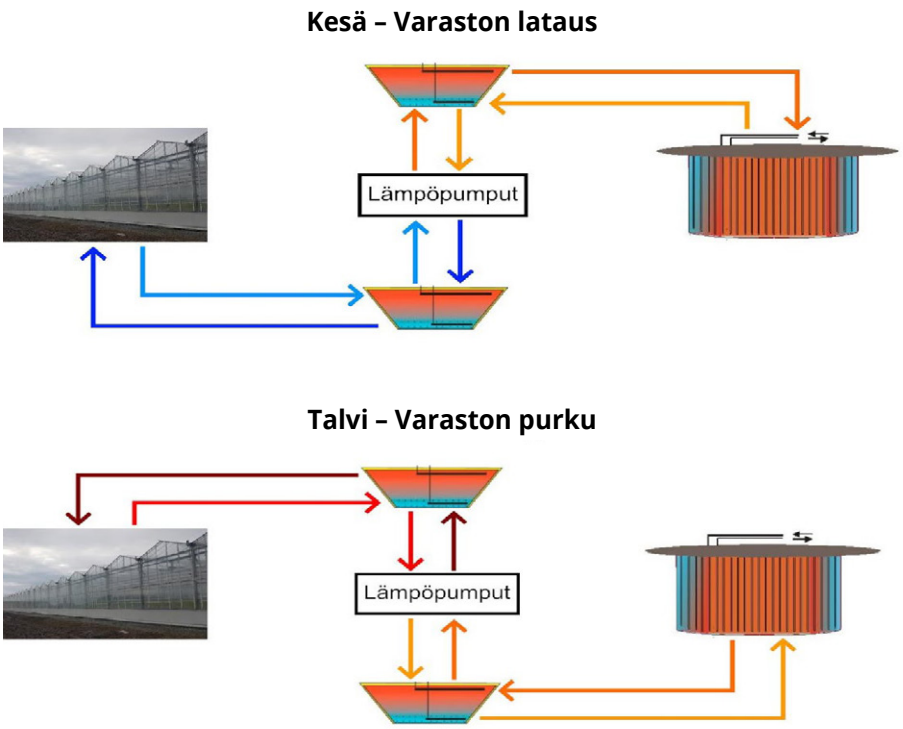
Tarkasteltu järjestelmä koostuu neljästä investointeja vaativista pääosista:

1. Porareikälämpövarasto: Koostuu maahan poratuista lämpökaivoista, joissa kiertävän nesteen avulla varastoa ladataan kesällä ja puretaan talvella.

2. Lämpöpumpuista: Joiden avulla lämmitysvesi nostetaan talvella lämmityksessä tarvittavaan lämpötilaan ja kesällä lasketaan jäähdytyksen tarvitsemaan lämpötilaan.

3. Lämpövaraajasta: Koostuu maahan kaivetusta vedellä täytetystä kuopasta, joka on erotettu maaperästä kalvoranteella ja on lämpöeristetty pinnasta. Varaajaa käytetään vuorokausitason energian varastointiin ja tehohuippujen kattamiseen.

4. Puhallinlämmönvaihtimista: Kasvihuoneisiin asennetaan puhallinlämmönvaihtimia, jotka yhtäältä mahdollistavat kasvihuoneiden jäähdyttämisen kesällä ja toisaalta alentavat tarvittavaa lämmityslämpötilaa talvella.



Kuva 22. Yksinkertaistetut kuvaajat vesikierroista järjestelmässä varastoa purettaessa (talvi), sekä varastoa ladattaessa (kesä).

Tarkastelun tavoitteena oli löytää mahdollisimman kannattava edellä mainittujen osien yhdistelmä.

Kyseisen optimointiongelman tavoitemuuttujaksi asetettiin järjestelmän nettonykyarvon maksimointi. Investoinnin nettonykyarvo laskettiin 20 vuoden laskenta-ajalla, jossa energian hintojen vuotuisen nousun oletettiin olevan 2 % ja korkokannan 3 %. Energiateknisen simuloinnin laskenta-ajaksi valittiin kokeilujen jälkeen 5 vuotta. Tuossa ajassa systeemi käytännössä tasapainottui ja laskennan viimeistä vuotta voitiin käyttää investointilaskennassa vuosien 5–20 paikalla.

Tarkastelussa keskityttiin seuraavista muuttujista koostuvan järjestelmän optimointiin:

1. **Varaston syvyys**: Kuinka syviä varaston lämpökaivot ovat?
2. **Varaston halkaisija:** Kuinka suuri varasto on leveyssuunnassa?
3. **Reikäväli:** Kuinka lähekkäin porattavat reiät ovat toisiaan?
4. **Lämpöpumppukapasiteetti:** Pumppujen yhteenlaskettu sähköteho.
5. **Lämmönsiirtokapasiteetin lisäys:** Kuinka paljon puhaltimia asennetaan?
6. **Varaajan koko:** Kuinka suuri lämpövaraaja rakennetaan?

2.3.3 Optimoinnin tulokset

HUISKULA

Optimoitavat muuttujat	Tulosarvo	Kustannuserittely	Tulosarvo
Varaston syvyys	478 m	Kausivaraston kustannukset	2 040 k€
Varaston halkaisija	84 m	Varaajan kustannukset	430 k€
Reikien väli	7.1 m	Muut kustannukset	290 k€
Varastossa reikiä	129 kpl	Puhallinkustannukset	300 k€
Puhaltimien määrä	398 kpl	LP-kustannukset	710 k€
Lämpöpumpputeho	474 kW	Yhteensä	3 770 k€
Varaajan koko	10 200 m³	Investointituella	2 210 k€

Optimoidun järjestelmän kannattavuus:

Laskelman lähtöarvot		Laskennan tulokset	
Investoinnin koko	2 210 k€	Nettonykyarvo (NPV)	1 940 k€
Vuotuinen tuotto	528 k€	Sisäinen korkokanta (IRR)	12.1 %
Vuotuiset kulut	302 k€	Takaisinmaksuaika (PBP)	8.69 vuotta
Vuotuinen nettotuotto	225 k€	Lämmön omakustannehinta	23.9 €/MWh

PILTTI

Optimoitavat muuttujat	Tulosarvo	Kustannuserittely	Tulosarvo
Varaston syvyys	368 m	Kausivaraston kustannukset	730 k€
Varaston halkaisija	51 m	Varaajan kustannukset	130 k€
Reikien väli	6.6 m	Muut kustannukset	290 k€
Varastossa reikiä	60 kpl	Puhallinkustannukset	270 k€
Puhaltimien määrä	360 kpl	LP-kustannukset	190 k€
Lämpöpumpputeho	127 kW	Yhteensä	1 620 k€
Varaajan koko	4 530 m³	Investointituella	920 k€

Optimoidun järjestelmän kannattavuus:

Laskelman lähtöarvot		Laskennan tulokset	
Investoinnin koko	920 k€	Nettonykyarvo (NPV)	– 670 k€
Vuotuinen tuotto	117 k€	Sisäinen korkokanta (IRR)	NA
Vuotuiset kulut	108 k€	Takaisinmaksuaika (PBP)	NA
Vuotuinen nettotuotto	9 k€	Lämmön omakustannehinta	19.9 €/MWh

2.3.4 Johtopäätökset

Huiskula, Turku

Yleisesti ottaen voidaan todeta, että tutkimuksen aiheena oleva järjestelmä vaikuttaa mahdolliselta tavalta tuottaa lämpöä Huiskulan puutarhalle. Tuekseen se kuitenkin tarvitsee jonkin huipputehotuotantoa tarjoavan lämmitysjärjestelmän, sillä tarkastellun kaltaista järjestelmää ei ole mielekästä mitoittaa niin suureksi, että se kattaisi koko lämmön tarpeen. Esimerkiksi yksi nykyisistä Huiskulan puutarhassa olevista 5 MW lämpökattiloista riittäisi tarvittavan huipputehon tuottamiseen.

Investoinnin nettonykyarvo on positiivinen, joten periaatteessa sen toteuttaminen olisi siis taloudellisesti kannattavaa. On kuitenkin syytä huomata, että näillä lähtöarvoilla mallinnettuna järjestelmä ei vaikuta kannattavuuslukujen pohjalta sellaisenaan erityisen houkuttelevalta tutkitussa kohteessa. Kannattavuus ei ole niin hyvä, että itsenäisen kasvihuoneyrittäjän olisi houkuttelevaa lähteä toteuttamaan näin suurta investointia. Lisäksi on syytä huomata, että kannattavuuslukuihin on laskettu mukaan 40 % investointituki. Mikäli investointituki poistetaan laskelmasta, niin investoinnin nettonykyarvo tippuu ja on vain hyvin positiivinen 468 k€ ja lämmön omakustannushinta nousee 28.6 €/MWh, joka on hyvin lähellä määritettyä lämmön omakustannushintaa 30 €/ MWh.

Kun tarkastellaan järjestelmän toimintaa tarkemmin, voidaan havaita, että varaston reikäväli on varsin suuri (7.1 m). Tästä seuraa, että varasto on käytännössä eräänlainen regeneroitavan maalämpöjärjestelmän ja porareikälämpövaraston välimuoto. Käytännössä tämä ilmenee siten, että porareikäkentän lämpötila pysyttelee koko ajan varsin alhaisena, eikä sen keskilämpötila nouse ympäröivän kallion lämpötilan yläpuolelle. Tämä johtuu pääosin siitä, että jäähdytyslämmölle ei ole laskettu tässä mallissa mitään arvoa ja näin ollen optimointi pyrkii minimoimaan tuotettavan jäähdytyksen määrää.

Piltti, Pöytyä

Yleisesti voidaan todeta, että simuloitu järjestelmä on mahdollinen lämmityksen ja jäähdytyksen tuottamiseen Piltin puutarhassa. Sitä ei kuitenkaan voida pitää suositeltavana ratkaisuna heikon taloudellisen kannattavuuden vuoksi. Mikäli tarkastellaan tuotetun lämmön omakustannehintaa, niin voidaan havaita, että se on itse asiassa parempi kuin Huiskulassa. Tämä johtuu siitä, että Piltin puutarhassa kannattavuutta parantaa jäähdytykselle määritetty 10 €/MWh arvo. Käytössä olevan lämmitysjärjestelmän tuotanto kustannus 15 €/MWh on kuitenkin niin alhainen, että Piltin puutarhassa ei ole tällä hetkellä mielekästä pohtia vaihtoehtoisia lämmön tuotantomuotoja.

Jäähdytysjärjestelmän tuottama arvo Piltin puutarhalle on sikäli suuri, että aiheen selvittelyä on mielekästä jatkaa erillisenä prosessina, jossa lämpöä ei varastoida. Mikäli kasvihuonepinta-alaa lisätään tulevaisuudessa merkittävästi ja nykyisen lämmitysjärjestelmän teho ei enää riitä kattamaan lämmöntarvetta, niin edellä kuvatun kaltaisen järjestelmän toteuttaminen voisi muuttua taloudellisesti mielekkääksi toteuttaa, sillä jäähdytysjärjestelmään tarvittavat komponentit ovat todennäköisesti osittain samoja kuin tässä esitetyn järjestelmän osat.

2.4 Uusi liikekeskus, Raisio

HUKATON-hanke on toteuttanut tässä osiossa esitettyä kokonaisuutta ostopalveluna.

Turun ammattikorkeakoulu toimi työn tilaajana. Selvityksen tekijäksi valikoitui Granlund Consulting Oy ja käytännön toteutuksesta vastasi Granlundin neljän henkilön tiimi: Niklas Söderholm, Tuomo Niemelä, Essi Kuikka ja Timo Karvinen. Tämän kappaleen sisältö pohjautuu tekijän toimittamaan raporttiin.

Virtanen Yhtiöillä on tavoitteena rakentaa Raisioon liikekeskus, jossa olisi yksi iso market-alan toimijalle varattu tila sekä lisäksi pienempiä kaupan alan toimijoiden liiketiloja.

Työssä tutkittiin Virtanen Yhtiöiden Raision liikekeskus -uudisrakennuksen rakenne- ja LVI-teknisiä ratkaisuja energia- ja kustannustehokkuuden näkökulmasta. Työ toteutettiin monitavoiteoptimoinnilla, jossa minimoitiin samanaikaisesti rakennuksen ostoenergiankulutusta (sähkö ja kaukolämpö) sekä 20 vuoden elinkaarikustannuksia. Työn tuloksien avulla saatiin tietoa kannattavista energiatehokkuustoimenpiteistä, joita kannattaa toteuttaa rakennuksessa perustuen siihen, halutaanko painottaa matalaa elinkaarikustannusta, investointia vai ostoenergiankulutusta.

Työn lähtökohtana toimi huhtikuussa 2020 saatu hyvin varhaisessa vaiheessa oleva suunnitteluaineisto, joka käsitti rakennuksen ulkomuodot ja eri tilatyyppien osuudet rakennuksen kokonaispinta-alasta. Käytössä oli myös rakennuksen 3-ulotteinen geometriamalli, jota käytettiin energialaskentamallin pohjana. Rakennuksen ominaisostoenergiankulutusta (kWh/m^2 /a) laskettaessa on käytetty pinta-alan arvoa 12658 m^2.

Lähtöaineistona oli lisäksi ulkovaipparakenteiden ja talotekniikkajärjestelmien alustavat suunnitteluarvot. Tavoite-energiankulutuksen laskennassa käytettiin Ilmatieteenlaitoksen vuonna 2019 mitattua Turun säädataa, koska se oli Raisiota lähinnä käytettävissä oleva sääasema.

Tämän kohteen tutkimuksen lähtötiedot, tutkitut ratkaisut ja tulokset on kuvattu tarkemmin Granlund Oy:n raportissa. [20].

2.4.1 Mallintamisen perustiedot

Työ suoritettiin tekemällä lähtötietojen pohjalta energialaskentamalli IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) -laskentaohjelmaan. IDA ICE-ohjelmaa käytettiin MOBO-optimointiohjelmalla varsinaisten elinkaarikustannusoptimien määrittämiseen.

Elinkaarikustannuslaskennassa käytettiin seuraavia lähtötietoja:

- Kaikki raportissa esitetyt kustannukset on esitetty ilman ALV:a.
- Laskentakorko oli 3 % ja tarkasteluajanjakso 20 vuotta.
- Ostettavan sähkön kokonaishinta oli 71,1 €/MWh, joka sisältää energia- ja siirtomaksut sekä sähköveron.
- Sähkön hintaosuuksien oletettu keskimääräinen hintakorotus oli laskelmissa 2 % vuodessa.

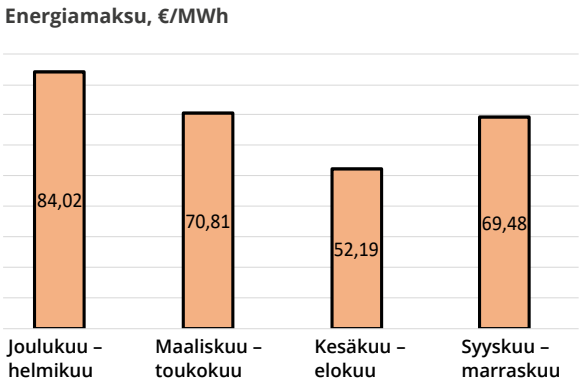
Aurinkopaneelien mitoituksesta riippuen rakennuksessa hyödyntämätön aurinkosähkö myydään Turku Energialle pörssisähkön Spot-hinnan mukaan 3 €/MWh

vähennettynä. Laskennassa käytettiin Suomessa vuoden 2019 toteutuneita kuukausittaisia sähkön Spot-hintoja:

- Vuonna 2019 pörssisähkön keskimääräinen Spot-hinta koko vuodelle oli noin 55 €/MWh
- Viimeisen viiden vuoden aikana keskimääräinen Spot-hinta on vaihdellut 58 ja 40 €/MWh välillä

Sähkön kuukausipohjainen tehomaksu asetettiin Turku Energian vuoden 2020 toukokuussa voimassa olevan hinnaston mukaiseksi 1,76 €/kW / kuukausi (keskijännitesiirto)

Kaukolämmön energia- ja vesivirtamaksut asetettiin Turku Energian vuoden 2020 toukokuussa voimassa olevan kaukolämpöhinnaston mukaisiksi (kuva 23).



P, kW	Kaukolämmön tehomaksu, €/vuosi
165 kW – 650 kW:	**1,03 * (P * 13,6032+2465,58)**
65 kW – 165 kW:	**1,03 * (P * 27,2064+221,052)**
15 kW – 65 kW:	**1,03 * (P * 30,6072)**
alle 15 kW:	**1,03 * 362,752**

Kuva 23. Turku Energian kaukolämmön energia- ja vesivirtausmaksut (5/2020 voimassa olevan hinnaston mukaan).

Kaukolämmön kustannusten oletettu hintakorotus edellisvuoteen nähden oli laskelmissa 2 %.

Kaukolämpöyhtiölle myytävän hukkalämmön hinnoitteluperusteena käytettiin sekä Helenin että Fortumin hinnoitteluperusteita. Hukkalämmön myynnistä saatavien korvausten lisäksi simuloinnissa oletettiin, että molemmissa hinnoittelumalleissa hukkalämmön myyjä maksaa kaukolämmön toimittajalle kiinteän kuukausimaksun 30,9 €/kk, alv. 0 % (pohjautuu Helenin hinnoitteluun) palvelun ylläpidosta.

Hukkalämmön myynnin simuloinneissa oletettiin, että kaukolämpöverkon paluuveden lämpötila vaihtelee ulkoilman lämpötilan mukaan 42 °C ja 55 °C välillä. Kaukolämmön paluuveden lämpötila on oletuksena alimmillaan (42 °C) ulkoilman lämpötilalla +7 °C ja korkeimmillaan (55 °C) ulkoilman lämpötiloilla -20 °C ja +30 °C. Sama kaukolämmön paluuvesi tulee oletuksena CO2 -kylmäkoneikon myyntilämmönsiirtimelle sekä korkean lämpötilan lämpöpumpun lauhduttimelle.

Esitetyt tulokset ja kustannukset koskevat nimenomaan optimoinnin muuttujina olevia toimenpiteitä. Tuloksissa esitetyt investointikustannukset eivät siis vastaa hankkeen kaikkia rakentamiskustannuksia.

Elinkaarikustannukset on määritetty nettonykyarvomenetelmällä lisäämällä tarkasteltujen toimenpiteiden investointeihin tarkasteluajanjakson aikana toteutuvien energia-, huolto-, ylläpito- ja uusimiskustannusten kassavirtojen nykyarvot.

Energiakaivojen ja -paalujen mitoituksessa käytetyt parametrit:

Muuttuja	Energiakaivot	Energiapaalut
Etäisyys porareikien välillä	15 m	4,5 m
Energiakaivojen / -paalujen syvyys	320 m	15 m
Ympäröivän maan lämmönjohtavuus	3,0 W/(mK)	1,3 W/(mK)
Ympäröivän maan volumetrinen ominaislämpökapasiteetti	2500 kJ/(K m^3)	1800 kJ/(K m^3)
Keskimääräinen maan lämpötila GLHEPro simuloinnissa	7 °C	13,5 °C
Mitoituksessa käytetty korkein menonesteen lämpötila geoenergiakenttään	25 °C	35 °C

2.4.2 Tutkitut järjestelmät

Optimoinnissa tutkittiin seuraavia rakennuksen energiankulutukseen vaikuttavia ratkaisuvaihtoehtoja:

- ulkoseinien eristystaso
- yläpohjan eristystaso
- alapohjan eristystaso
- aurinkosähköjärjestelmän mitoitus
- lauhdelämpöpumppujärjestelmän mitoitus
- jäähdytyksen tuottaminen joko vedenjäähdytyskoneella tai lämpöpumpulla
- energiakaivojen tai energiapaalujen asentaminen lauhdelämpöpumppujärjestelmän yhteyteen
- ilma-vesilämpöpumppujen asentaminen lauhdelämpöpumppujärjestelmän yhteyteen
- hukkalämmön täysi varastointi geoenergiakenttään tai vaihtoehtoisesti osittainen myynti kaukolämpöverkkoon ja osittainen varastointi geoenergiakenttään
- hukkalämmön varastoinnin yhteydessä selvitettiin lisäksi geoenergiakentän mitoitusta ja hukkalämmön myynnin kannattavia toteutustapoja.

Monitavoiteoptimointitarkastelulla määritetyssä suositeltavassa ratkaisussa edellä mainitut ratkaisuvaihtoehdot saivat alla esitetyt arvot. Suositeltavalla ratkaisulla saavutetaan alhaisimmat elinkaarikustannukset, matala ostoenergiankulutus ja matalat käyttökustannukset.

2.4.3 Tulokset

Suositeltava energiaratkaisukonsepti sisältää seuraavat ratkaisut/toimenpiteet:

- ulkoseinien U-arvo on 0,22 W/m²K
- yläpohjan U-arvo on 0,18 W/m²K
- alapohjan U-arvo on 0,32 W/m²K
- aurinkosähköpaneeleja asennetaan maksimimäärä 4 600 m² ja rakennuksessa hyödyntämätön aurinkosähkö myydään sähköverkkoon
- kiinteistöön asennetaan lauhdelämpöpumppujärjestelmä, jonka nimellisteho on 200 kW
- kiinteistöjäähdytys tehdään sekä lauhdelämpöpumppujärjestelmällä että vedenjäähdytyskoneella, jonka teho on 350 kW
- hukkalämmön myynti kaukolämpöverkkoon on kannattavaa, jos hukkalämmön hinnoitteluperuste on lähellä Fortumin pääkaupunkiseudun hintatasoa
    - hukkalämpöä on suositeltava myydä kaukolämpöverkkoon lämpöpumpulla, joka pystyy tuottamaan korkeita lämpötiloja, noin 75 °C. Suositeltavassa ratkaisussa korkean lämpötilan lämpöpumppu tuottaa kiinteistöjäähdytystä ja syntyvää lauhdetta myydään korkeassa lämpötilatasossa kaukolämpöverkkoon
    - osa kaupan kylmän lauhteesta on suositeltavaa myydä CO2 -kylmäkoneikon lämmönsiirtimen kautta
    - kiinteistössä hyödynnetään energiapaaluihin pohjautuvaa geoenergiajärjestelmää, jos rakennus perustetaan joka tapauksessa paalujen varaan.
    - tarvittava energiapaalujen määrä on noin 400 kpl, jos hukkalämpöä ei päätetä myydä kaukolämpöverkkoon. Toteutusratkaisussa rakennuksessa hyödyntämätön kaupan kylmän lauhde siirretään kokonaisuudessaan geoenergiakenttään.
    - tarvittava energiapaalujen määrä on noin 160 kpl, jos hukkalämpöä myydään kaukolämpöverkkoon.

Toteutusratkaisussa osa kaupan kylmän lauhteesta siirretään geoenergiakenttään, jotta varmistetaan geoenergiakentän riittävä lämpötilataso ja siten rakennuksen energiatehokkuus.

- rakennuksen lisälämmönlähteeksi valitaan sähkökattila, jos hukkalämpöä ei päätetä myydä kaukolämpöverkkoon.
- Hukkalämmön myynnin yhteydessä liitytään paikalliseen kaukolämpöverkkoon.

Suositeltavaa ratkaisua verrattiin tarkasteluissa sellaiseen *referenssiratkaisuun*, jossa:

- ulkovaipparakenteet ovat voimassa olevien rakentamismääräysten vertailuarvojen mukaiset
- kaupan kylmän lauhdetta hyödynnetään suoraan kylmäkoneikon lämmönsiirtimistä
- ratkaisuun sisältyy 2200 m² kokoinen aurinkosähköjärjestelmä (aurinkopaneelien mitoitusperusteena referenssiratkaisussa on, että kaikki aurinkosähkö voidaan hyödyntää rakennuksen sähköverkossa).

Energiaoptimointitarkastelun perusteella esitetään kaksi eri ratkaisua.

Ratkaisu 1, kun hukkalämpöä ei myydä kaukolämpöverkkoon:

- 1,5 miljoonaa euroa pienempi elinkaarikustannusten nettonykyarvo
- 140 000 € suuremmat investointikustannukset
- 77 kWh/m^2 pienempi ostoenergian kulutus
- 54,1 kWh/m^2 pienempi kaukolämmön kulutus
- 22,2 kWh/m^2 pienempi sähköenergian kulutus
- alle kahden vuoden takaisinmaksuaika.

Ratkaisu 2, kun hukkalämpöä myydään kaukolämpöverkkoon:

- Hukkalämmön myynnin kannattavuutta tutkittiin erillistarkasteluilla (ks. luku 3.3), joiden perusteella myynnin todettiin olevan kannattavaa, jos hukkalämmöstä saadaan kilpailukykyinen korvaus. Tarkastelluista hinnoittelumalleista, Fortumin pääkaupunkiseudun hukkalämmön hinnoittelu tarjoaa kilpailukykyisen vaihtoehdon edellä suositellulle ratkaisulle, jossa hukkalämpöä ei myydä kaukolämpöverkkoon.
- Kilpailukykyisellä hukkalämmön hinnoittelulla elinkaarikustannuksissa säästetään edellä mainittua enemmän mutta investointikustannukset kasvavat. Rakennuksen elinkaaren aikana hukkalämmön myynti säästää kuitenkin kokonaisuudessaan enemmän kuin edellä mainittu ratkaisu ilman hukkalämmön myyntiä.
- Hukkalämmön myynti kaukolämpöverkkoon ei ole automaattisesti suositeltava ratkaisu ennen kuin paikallisen kaukolämpötoimittajan hukkalämmön hinnoittelumalli on tiedossa. Johtopäätösten tekeminen hukkalämmön myynnin kannattavuudesta vaatii lisäselvittelyä, joka ottaa huomioon vuodenajoittain muuttuvan hintatason myytävälle lauhteelle.

Ominaisostoenergiankulutuksen laskennassa käytettiin rakennuksen pinta-alan arvoa 12 658 m^2 käytetyn laskentamallin mukaisesti. Tuloksissa on esitetty tarkemmin pienempää investointia painottavat ratkaisut, joilla päästään lähes samoihin elinkaarikustannuksiin kuin suositellussa ratkaisussa, mutta joiden ostoenergiankulutus on suurempi.

2.4.4 Johtopäätökset

Hukkalämmön varastointia geoenergiakenttään tarvitaan tulosten perusteella, jos energiankulutuksen halutaan olevan alle 116 kW/m²/a. Hukkalämmön varastointi geoenergiakenttään on suositeltavaa tehdä energiapaaluihin pohjautuvalla järjestelmällä. Energiapaalujen kannattavuuden edellytys on, että rakennus perustetaan joka tapauksessa paalujen varaan.

Rakennuksen elinkaaren aikana kustannusero energiakaivojen ja energiapaalujen välillä jää valitusta ratkaisusta riippuen kuitenkin pienehköksi, energiapaalujen hyväksi säästöä syntyy 10 000–20 000 €. Alhaisin ostoenergiankulutus saavutetaan energiapaaluilla, energiakaivoihin verrattuna paalukentän korkeammasta lämpötilatasosta johtuen.

Laskentatulosten perusteella energiatehokkaimmissa ratkaisuissa lisälämmönlähteeksi on syytä valita sähkökattila, jos hukkalämmön myyntiä kaukolämpöverkkoon ei suunnitella. Kaukolämmön kilpailukykyä heikentää korkeahko kaukolämmön energiamaksu Turun alueella. Asetelma saattaa kuitenkin muuttua, jos kaukolämpö muuttuu alueella halvemmaksi tulevaisuudessa.

Hukkalämmön myynti kaukolämpöverkkoon on kannattavaa kilpailukykyisellä hukkalämmön myynnin hinnoittelumallilla. Kannattavuus tulee kuitenkin arvioida kohdekohtaisesti energian hinnan (kaukolämpö ja sähkö) perusteella.

Ensisijaisesti kannattava toteutustapa on myydä ilmanvaihdon jäähdytyksestä syntyvää lauhdetta korkeassa lämpötilassa kaukolämpöverkkoon korkean lämpötilan lämpöpumpun avulla. Kaupan kylmän tulistuslämpöä on myös suositeltavaa myydä kaukolämpöverkkoon suoraan kylmäkoneikon kuumakaasulämmönsiirtimen kautta.

2.5 Uusi jätevoimala, Salon Korvenmäki

Voimalaitoksen rakentaminen Salon Korvenmäessä alkoi maaliskuussa 2019. Työmaan viimeinen vaihe päättyy helmikuussa 2021 ja hanke on määrä olla kokonaan valmis loppuvuodesta 2021.

Kuva 24. Kuva Salon Seudun Sanomissa 13.7.2020. Voimalan ulkotyöt ovat lähes valmiit. Kuvaaja Jan Sundman/Salon Seudun Sanomat.

Salon Korvenmäen voimalaitoksen toimijat – LSJH Oy ja Salon Kaukolämpö Oy sekä voimalan operointia varten perustettu yhtiö Lounavoima Oy – kiinnostuivat mahdollisuudesta varastoida polttoprosessin ylijäämälämpöä alueen kallioperään ja näin vähentää varaston lämpöä purettaessa talven huippupakkasilla aiemmin varavoimana käytettyä öljyä.

HUKATON-hankkeen toimeksiantona päätettiin toteuttaa tarkastelu, jossa etsittäisiin sopiva syvyys ja reikäväli kuudelle keskisyvälle energiakaivolle voimalaitoksen tontille.

Tämän kohteen tutkimuksen lähtötiedot, tutkitut ratkaisut ja tulokset on kuvattu tarkemmin Granlund Oy:n raportissa [21].

2.5.1 Mallintamisen perustiedot

Analysointia varten kehitettiin numeerinen malli dynaamisten lämpöanalyysien suorittamiseksi. Simulointiohjelmana toimi COMSOL Multiphysics 5.5, joka sopii erityisesti fysiikan ja tekniikan monimutkaisiin ongelmiin, mukaan lukien lämmönsiirto ja virtaus, kuten myös toisiinsa liittyvät fysikaaliset ongelmat. Lämmönsiirto kallioperässä 3D. Koaksiaaliputkessa lämmönsiirto ja virtaus 1D. Lämmönsiirto koaksiaaliputken ja kallioperän välillä. Tarkastelu on tehty 25 vuoden ajanjaksolla.

Neste	Vesi
Kaivoon menevän veden lämpötila latauksessa	90 °C
Kaivoon menevän veden lämpötila purussa	2 °C
Kollektorin tyyppi	Koaksiaali-vakuumi
Sisäputken halkaisija	76 mm
Kaivon syvyys	2 000 m
Kallioperän lämmönjohtavuus	3 W/mK
Seinämän vahvuus	10 mm
Vakuumiputken lämmönjohtavuus	0.02 W/mK
Ajotapa	4 kk purku
	8 kk lataus
Kaivojen lukumäärä	6 kpl, 2x3
Lämpöpumpun COP	3,5

Kallioperän lämpötila	
Syvyys, m	Lämpötila, C
0	6
-1 000	22
-2 000	39
-3 000	58
-4 000	77

Tarkasteltavia parametrejä olivat:

- kaivojen lukumäärä
- kaivoon syötettävä massavirta
- kaivojen välinen etäisyys

Granlund

Kuva 25. Ekovoimalaitoksen lämpövaraston simuloinnissa käytetyt parametrit.

Investointilaskelmissa on käytetty seuraavia parametreja:

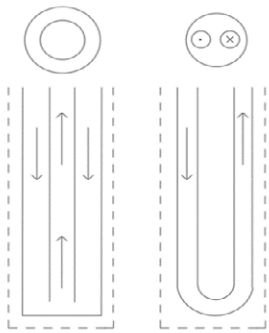
- Yli 34 MW:n tehon tuottamiseen käytetään raskasta polttoöljyä
- Raskaan polttoöljyn hinta 95 €/MWh
- Sähkön hinta 35 €/MWh
- Yhden syväkaivon ja lämpöpumpun hinta ≈ 1 300 000 €
- Business Finlandin energiatuki 35 %
- Investointitarkastelut on tehty 20 vuodelle
- Laskentakorkona käytettiin 3 % ja energian hinnan eskalaationa 2 %
- Hinnat on esitetty ilman arvonlisäveroa

2.5.2 Tutkitut järjestelmät

Ekovoimalaitoksen kaukolämpöteho on 34 MW. Energiavarastosta puretaan lämpöä 1.12.–31.3. välinen aika ja muu aika ladataan. Varastointiratkaisuna on tutkittu kallioon porattavia 2 km syviä lämpökaivoja. Simuloinnilla tutkittiin purku-ja lataustehoja, määritettiin 45 MW:n tehoon tarvittava kaivojen lukumäärä sekä niiden välisiä optimaalisia etäisyyksiä, ja kuinka suuren osuuden huippukuormasta kuusi kaivoa voi korvata.

Keskisyvän lämpökaivon kollektori

Syväkaivo



- Lämmönlähteenä toimii porakaivo, jonka syvyys on 2 000 metriä.
- Keruuputkena toimii U-putken sijasta koaksiaaliputki
  - Muodostuu sisä- ja ulkoputkesta
  - Lämpöä otettaessa ulkoputkea pitkin syötetään vettä ja sisäputkesta pumpataan lämpöpumpuille
  - Lämmön latauksessa virtaussuunta on päinvastainen
  - Ulkoputki on suorassa kosketuksessa kallioperään
  - Keruuaineena toimii vesi
  - Kollektorina voidaan käyttää vakuumiputkea (pieni lämmönjohtavuus) tai muoviputkea

Granlund

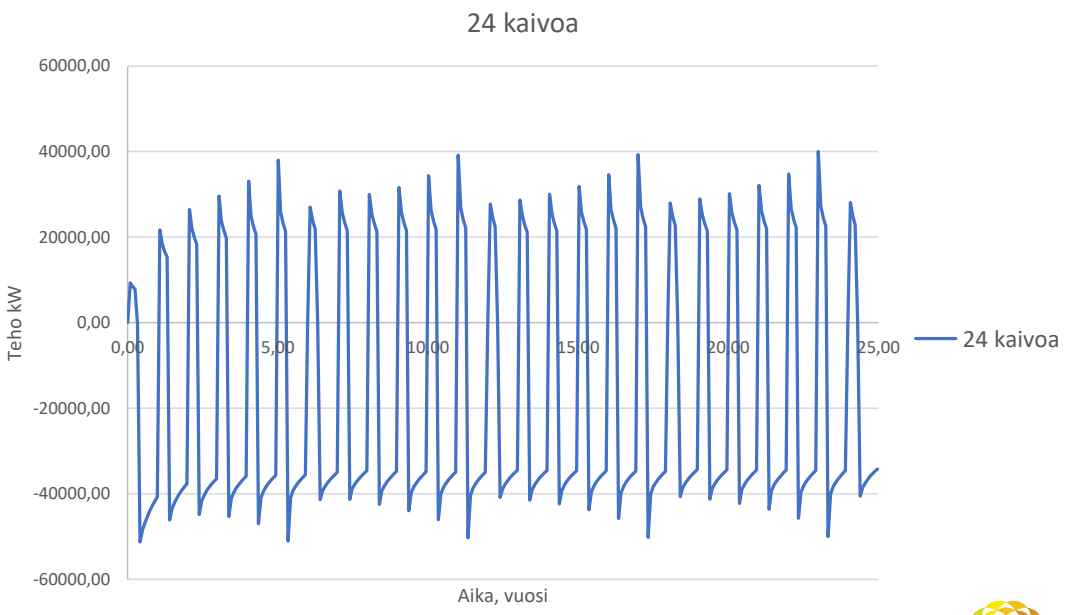
2.5.3 Tulokset

Perustapauksessa kaivosta otetaan energiaa jatkuvasti. Alussa saadaan enemmän tehoa ja energiaa, mutta ajan kuluessa kallio jäähtyy ja teho tippuu. Otetusta tehosta riippuen, lähes tasapainotila saavutetaan 25 vuoden kuluessa. Jos halutaan vähentää kallioperän jäähtymistä, voidaan pitää taukoa energian purkamisesta tai vaihtoehtoisesti ladata lämpöä kaivoon. Massavirran lisäyksellä saadaan enemmän tehoa. Toisaalta massavirtaa ei voida lisätä loputtomiin, koska painehäviöt kasvavat liian suuriksi.

Yhteenveto:

- Kaivojen etäisyyden pitää olla mahdollisimman pieni purkuenergian maksimoimiseksi
- Teoreettista maksimi lataustehoa (34 MW) ja purkutehoa (45 MW) ei saavuteta kuuden kaivon kentällä, vaan kaivoja pitäisi olla yli 20 kpl
- Kuusi kaivoa korvaa noin 50 % Salon kaukolämmön huippukulutuksesta
- Kaivojen etäisyyksien pienentyessä kaivosta saatavan tehon määrä nousee, mutta samalla lataustehon määrä laskee.

- 2 x 3 kaivon ryhmällä ei pystytä lataamaan kaikkea hukkalämpöä toteutettavissa olevalla massavirralla.
  Haluttu latausteho saavutettaisiin n. 22–24 kaivon ryhmällä.



Kuva 26. Hukkalämmön lataamisen teho, jos kenttä muodostuisi 24 energiakaivosta.

Investointilaskelmien osalta saatiin seuraavat tulokset:

- Syväkaivojen takaisinmaksuaika on noin yhdeksän vuotta, jos energiatukea ei huomioida. Energiatuen kanssa takaisinmaksuaika on noin kuusi vuotta.
- Suurin syy lyhyelle takaisinmaksuajalle on nykyinen huippukulutuksen tuotantomuoto ja sen hinta.
- Investointi- ja kannattavuuslaskelmat on tehty kuuden kaivon kentälle – jos määrä pienenee myös säästöt pienenevät, koska kaivojen yhteisvaikutus laskee.
- Kuuden kaivon ryhmä on optimaalisin ratkaisu.

2.5.4 Johtopäätökset

Työssä tutkittiin Salon Korvenmäkeen valmistuvan ekovoimalaitoksen hukkalämpöjen hyödyntämistä ja varastointiratkaisua. Kun energiaa varastoidaan syväkaivoihin, enemmän kuin yhden kaivon ratkaisuissa, kaivojen välinen etäisyys pitää olla mahdollisimman pieni purkuenergian maksimoimiseksi. Kaivojen etäisyyksien pienentyessä kaivosta saatavan tehon määrä nousee, mutta samalla latausteho määrä laskee. Työssä optimaalisin kaivojen etäisyys on 10 metriä toisistaan.

Syvälämpökaivojen optimaalisin määrä on kuuden kaivon ryhmä, jolla pystytään korvaamaan noin 50 % Salon kaukolämmön huippukulutuksesta. Ilman energiatukea kaivojen takaisinmaksuaika on noin yhdeksän vuotta, energiatuen kanssa takaisinmaksuaika on noin kuusi vuotta.

3 Liiketoiminnan näkymät Suomessa

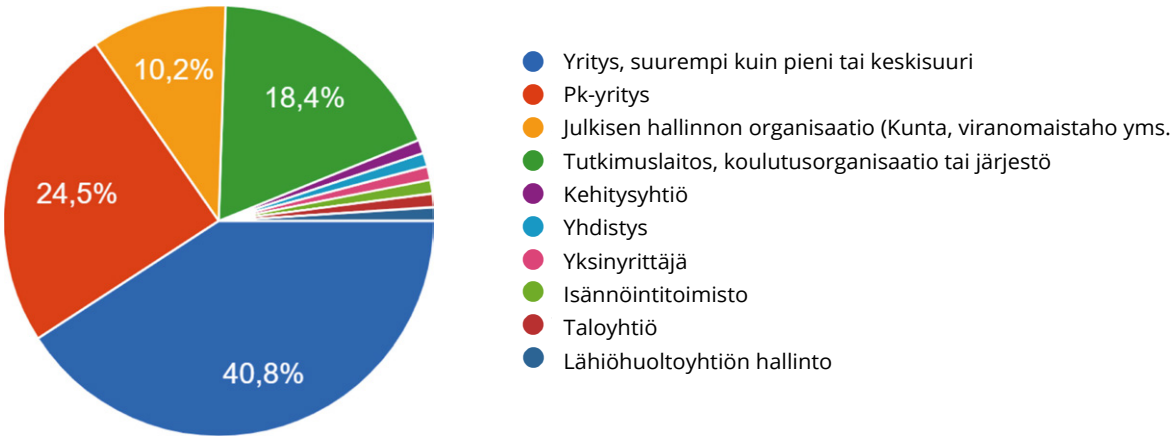
3.1 HUKATON-liiketoimintakysely

HUKATON-hanke toteutti keväällä 2020 kyselyn suomalaisille yrityksille ja asiantuntijaorganisaatioille *hukkalämpöjen hyödyntämisen, lämpöenergian kausivarastoinnin ja kysyntäjouston liiketoiminnan* näkymistä. Kyselypyyntö lähetettiin sähköpostitse valituille alan yrityksille ja toimijoille. Kohderyhmän valinta tehtiin verkkohakujen ja asiantuntijatiedon perusteella, etsien energia-alan eri yrityksiä sekä muita tahoja, joiden toimintaan hukkalämmön voisi arvioida mahdollisesti liittyvän. Mukana oli myös HUKATON-yritysryhmän jäsenyritykset. Kyselyn tarkoitus oli selvittää, mikä on yritysten ajankohtainen näkemys liiketoiminnan näkymistä Suomessa.

Kysely tehtiin Google-forms nettilomakkeen avulla. Kyselyn laati ja toteutti Green Net Finland. Vastaajan oli mahdollista lähettää kyselypyyntö sähköpostilla edelleen, mikäli hän katsoi, että joku muu henkilö organisaatiossa olisi sopivampi vastaamaan kyselyyn. Vastaajien oli myös mahdollista lähettää kyselypyyntö oman organisaationsa ulkopuolelle, mutta jokaiselle kohdeyritykselle lähetettiin vain yksi kyselypyyntö, jotta kohderyhmä edustaisi paremmin koko alaa Suomessa. Kyselyä mainostettiin myös Green Net Finlandin nettisivuilla www.gnf.fi ja Lähienergialiiton uutisissa.

Kysely toteutettiin anonyyminä, jotta saadut vastaukset olisivat avoimia ja riippumattomia. Kyselyssä oli kolme yllä mainittujen aiheiden mukaista osaa. Kyselyn vastausaika oli 1.2. – 6.3.2020 ja siihen tuli yhteensä 98 vastausta. Vastaajien jakauma (kuva 27) osoittaa, että noin 70 % vastaajista oli yritysten edustajia. Vaikka kyselyä mainostettiin vain rajallisesti, suhteellisen korkea vastausmäärä on osoitus aiheen yleisestä kiinnostavuudesta ja ajankohtaisuudesta.

Edustamani organisaatio on:
98 responses

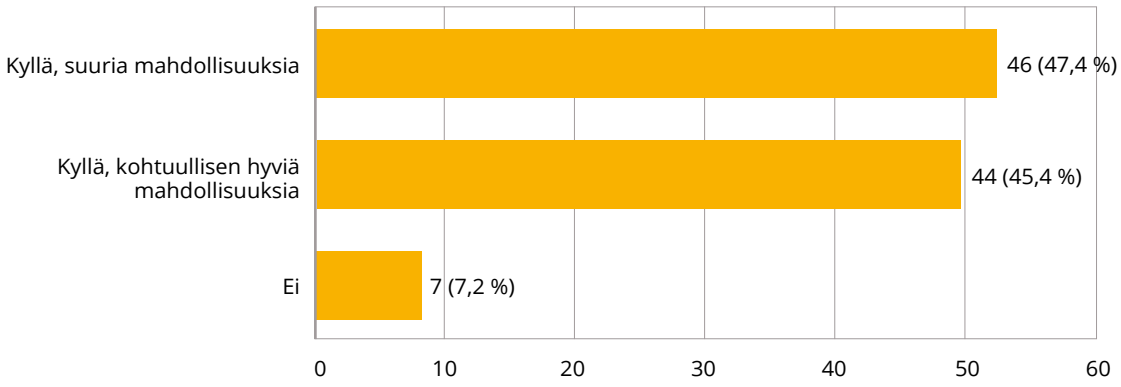


Kuva 27. Vastaajien jakauma organisaatiotyyppien mukaan.

3.1.1 Hukkalämpöjen hyödyntämisen näkymät ja markkinatilanne

Hukkalämpöjen hyödyntämisen osalta vastaajista yli 90 % oli sitä mieltä, että uuden liiketoiminnan mahdollisuudet ovat suuret tai vähintään kohtuullisen hyvät (kuva 28).

Näettekö hukkalämpöjen hyödyntämisen alalla mahdollisuuksia uudelle liiketoiminnalle?
97 responses



Kuva 28. Hukkalämpöjen hyödyntämisen liiketoiminnan yleisnäkymät.

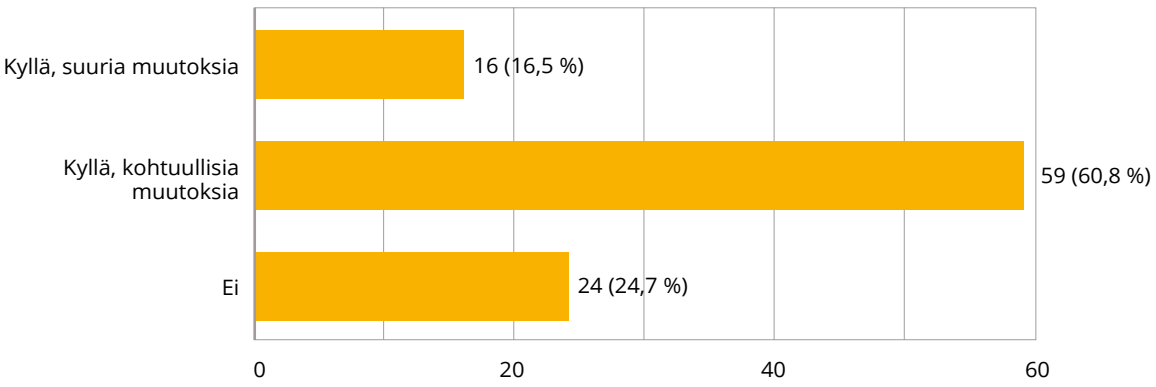
Hukkalämpöjen suhteen kysyttiin myös tarvetta muutoksiin. Tämän kysymyksen perusteena on se, että verotuksen ja regulaation muutokset koetaan haasteeksi uusien teknologioiden, kuten ylijäämälämpöjä hyödyntävän lämpöpumpputeknologian yleistymiselle [22]. Lisäksi regulaatiolla voidaan voimakkaasti ohjata teollisuuden energiamarkkinoita ja investointeja esimerkiksi ilmastovaikutuksiltaan myönteisempään suuntaan, kuten EU:n päästökauppajärjestelmässä tehdään. Regulaatio on käytössä oleva energian tuotannon poliittinen ohjauskeino Suomen energiamarkkinoilla. Suomen hallitusohjelmassa 2020 on kirjattu, että energiantuotannon päästöohjausta lisätään ja nykyistä järjestelmää muutetaan [23]. Uuden liiketoiminnan kasvua voidaan olettaa myös edistävän esimerkiksi se, jos infrastruktuuri pystyy paremmin hyödyntämään hukkalämpöjä – täten infrastruktuuri on otettu kysymyksen aiheeksi.

Vastaajien kanta muutoksen tarpeeseen on, että ainoastaan kohtuullisia muutoksia tarvitaan (kuva 29). Vastaajien kannan voi ymmärtää siten, että hukkalämpöjen hyödyntämisen liiketoiminta on jo nykyisessä regulaation ja verotuksen tilanteessa – eli ilman erityisiä liiketoimintaa edistäviä lisätoimia – houkuttelevaa. Muutoksen tarve nosti esiin erityisesti kolme osa-aluetta:

1. Verotus (77 % vastaajista),
2. Luvat ja sääntely (53 %) ja
3. Valvonta (20 %).

On kuitenkin ymmärrettävää, että mikäli uutta hukkalämpöjen hyödyntämisen liiketoimintaa halutaan lisää, ovat erityisesti nämä kolme osa-aluetta merkityksellisiä. Verotus, kuten eri energiaverot, maksut ja ALV, vaikuttavat suoraan liiketoiminnan kannattavuuteen. Luvat ja sääntely voidaan ymmärtää viranomaistahojen vaatimuksina, joissa hakemisen helppous asiakkaalle sekä lupamaksujen kohtuullisuus ja yhtenäisyys todennäköisesti vaikuttavat investointipäätöksiin. Energia-alalla on lisäksi erityissääntelyä (mm. kaukolämpötoiminnassa ja energiaverkoissa), joka suoraan vaikuttaa nykymarkkinoihin Suomessa. Viranomaiset valvovat esimerkiksi energiainfrastruktuurin ylläpitäjien toimintaa ja muita toimijoita.

Onko liiketoiminnan mahdollistumiseksi tai kasvamiseksi tapahduttava muutoksia Suomen energiamarkkinoilla ja ympäristössämme (infrastruktuurissa, toimintatavoissa, tms.)?
97 responses



Kuva 29. Muutoksen tarve.

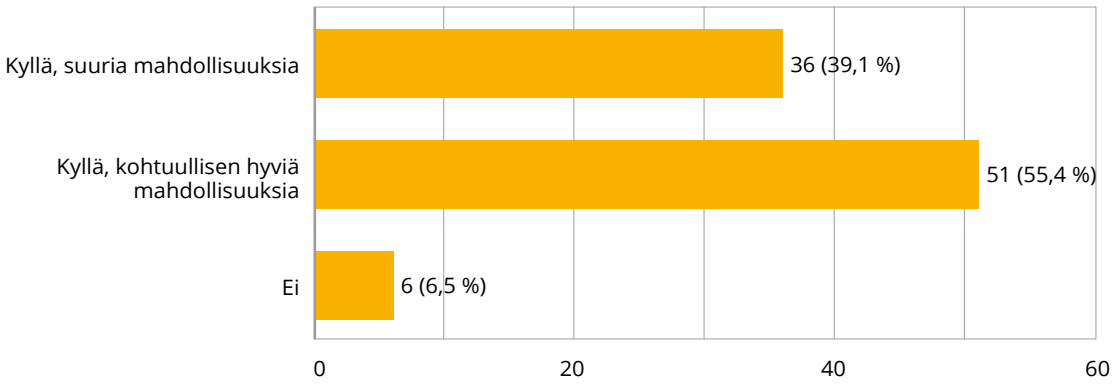
Hukkalämpöjen hyödynnettävyyttä tukee myös tutkimuksen tarvetta koskevan kysymyksen vastaukset. 57 % vastaajista valitsi ”kyllä, jonkin verran” tähän kysymykseen, ja vastauksen ”kyllä paljon” valitsi 24 % ja ”ei” valitsi 21 % vastaajista. Tutkimuksen tarve ei siis liiketoiminnan mahdollistamiseksi ole nykyisin erityisen suurta, vaikka tutkimustyötä pidetään tarpeellisena. Tutkimustyön tarve vähenee, kun aiheen teknologinen valmiustaso (*Technology Readiness Level – TR*L) [24] kasvaa. Hukkalämpöjen hyödyntämisen voidaan vastausten perusteella olettaa pääsääntöisesti olevan suhteellisen korkeaa, eli yli TRL 6 tasoa, jolloin ollaan käytännössä jo melko lähellä tuotteistamista. Energia-ala on kuitenkin monien toimijoiden kokonaisuus ja siihen vaikuttaa suoraan mm. rakennustekniikka, liiketoimintamallit, verkon tekniset ratkaisut ja energian lähteiden tai varastoinnin kapasiteetti ja ominaisuudet. Infrastruktuuri-investoinnit ovat usein suuria ja niiden poistoaika pitkä, jolloin näkyvissä tai mahdollisesti odotettavissa olevat riskit vaikuttavat voimakkaasti eri osapuolten päätöksiin. Siten on ymmärrettävää, että tutkimustyölle nähtiin edelleen melko monipuolista lisätarvetta (ks. luvun loppuosa).

Kyselyn perusteella energia-alan teknisen kehityksen ja uusien liiketoimintamallien odotetaan avaavan uusia mahdollisuuksia kasvulle. Esimerkkeinä nousi esiin älykkäät energiaverkot kuten kehittyneemmät kaukolämpöverkot, jotka tarjoavat mahdollisuuksia kysyntäjoustoon, kaukolämpötoimijoiden liiketoimintamallit, tuntihinnoittelu, kulutushuippujen tasaamisen tarve, kaukolämpöverkkojen mahdollinen avautuminen (vrt. Suomen kaasujakeluverkon muutokset) ja rakennusautomaation kehitys. Kaukolämpöverkkojen omistajien roolia uusien liiketoimintamallien näkijöinä ja edistäjinä tuotiin myös esiin.

Valtaosa vastaajista (97 %) näki hukkalämmön markkinoiden kehityksessä ei lainkaan tai vain vähän riskejä. Yritysten yleinen näkemys on, että hukkalämpöjen hyödyntämisen liiketoiminnassa riskit ovat pieniä.

Kyselyssä käsiteltiin myös lämpöenergian kausivarastointia. Kuvassa 30 on vastaajien näkemys varastoinnin uusista liiketoiminnan mahdollisuuksista Suomessa. Sen mukaan uuden liiketoiminnan mahdollisuuksia pidetään lähes yhtä lupaavina kuin hukkalämmön hyödyntämisessä. Ainoastaan 6,5 % vastaajista ei näe alalla mahdollisuuksia uudelle liiketoiminnalle.

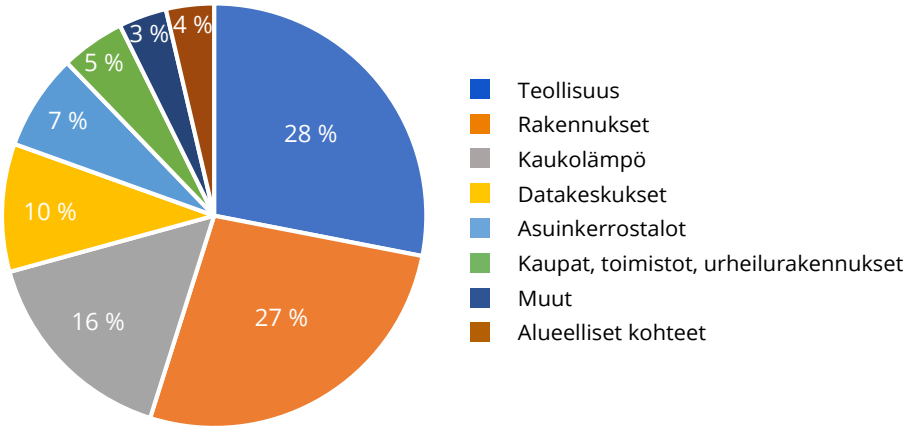
Näettekö lämpöenergian varastoinnin alalla mahdollisuuksia uudelle liiketoiminnalle?
92 responses



Kuva 30. Lämpöenergian varastoinnin liiketoiminnan mahdollisuudet.

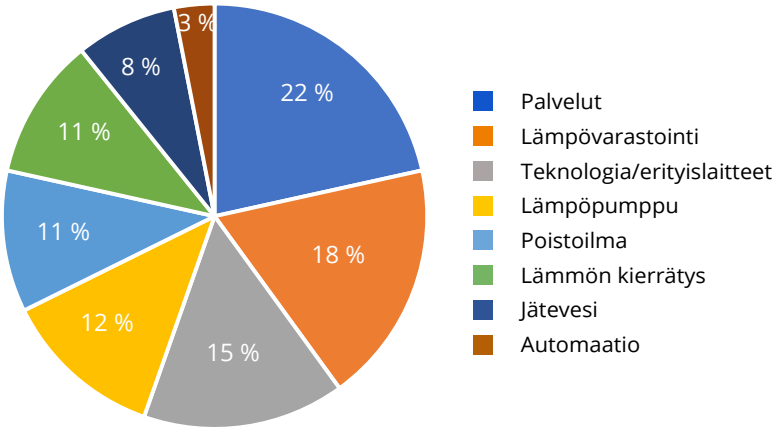
3.1.2 Liiketoiminnan kannalta kiinnostavat kohteet ja sovellukset

Kyselyssä tiedusteltiin myös sitä, missä vastaajat erityisesti näkevät mahdollisuuksia uudelle liiketoiminnalle. Vaikka kyselyä laadittaessa oli tiedossa, että yritykset eivät yleensä anna yksityiskohtaista strategista tietoa liiketoimintasuunnitelmistaan, tuli vastauksia kuitenkin melko runsaasti. Kyselyn tarkoitus oli kartoittaa liiketoiminnan valossa lupaavia kohteita yleisellä tasolla. Yhteenveto tuloksista on esitetty kuvassa 31. Suurin määrä lupaavia kohteita on vastaajien mukaan teollisuudessa ja prosesseissa (28 %), rakennuksissa (27 %) ja kaukolämmön kohteissa (16 %). Muita kyselyssä esiin tulleita lupaavia kohteita ovat datakeskukset (10 %), asuinkerrostalot (7 %) sekä kauppa-, toimisto- ja urheilukohteet (5 %). Alueellisilla kohteilla (4 %) tarkoitetaan tässä esimerkiksi kaavoituksen tai hankekehityksen vaikutuksesta esiin nostettavia alueita. Jos datakeskuksia ei huomioida, on kiinnostavista kohteista yhteensä 39 % rakennuksia.



Kuva 31. Tulokset kohdealueittain.

Vastauksissa mainittujen lupaavien esimerkkikohteiden tuotealueet on koottu kuvaan 32. Suurin potentiaali nähdään palveluissa (22 %), lämpövarastoinnissa (18 %), erityisissä teknologisissa sovelluksissa (15 %) ja lämpöpumppuratkaisuissa (12 %). Esille nostetuista esimerkeistä poistoilmaratkaisuja oli 11 %, lämmön kierrätysratkaisuja 11 %, jätevesiratkaisuja 8 % ja automaatioratkaisuja 3 %.



Kuva 32. Tulokset tuotealueittain.

Erillisistä vastauksista 89 % liittyi hukka- tai ylijäämälämmön hyödyntämiseen ja 11 % lauhdelämpöjen hyödyntämiseen.

Kyselyssä tiedusteltiin yrityksiltä myös tutkimuksen tarvetta nykytilanteessa. 84% vastaajista oli sitä mieltä, että liiketoiminnan mahdollistamiseksi alan tutkimusta tarvitaan vielä paljon tai jonkin verran. Yritysten (ml. teollisuus, ja energialaitokset) ja yliopistojen sekä tutkimuslaitosten yhteistyön tärkeyttä korostettiin vastauksissa. Objektiivista tietoa kaivataan.

Tutkimustyötä, kuten simulointia tai mittauksia (kokeiluja) ehdotettiin hyödynnettäväksi kaukolämpöverkkojen ja lämpöpumppujen hyötyjen, ennustemallien, hybriditoteutusten sekä huipputehojen tasauksen alueella. Myös älykäs verkkojen ohjaus ja matalalämpötila kaukolämpöverkot nousivat tuloksissa esiin. Pilotointia ehdotettiin tehtäväksi myös pienemmissä kaukolämpöyhtiöissä.

3.2 Liiketoimintanäkymät asuinkerrostaloissa ja kauppakeskuksissa

Tämä osio toteutettiin ulkopuolisena asiantuntijatyönä. Työ päätettiin yhdessä projektiryhmän kanssa rajata erityisesti asuinkerrostaloihin ja kauppakeskuksiin. Motivaatio tämän selvityksen tekemiseen on siinä, että vaikka hukkalämpöjen hyödyntämisen edut otsikon mukaisissa rakennustyypeissä on yleisesti tiedossa, ei käytännön toteutuksia kuitenkaan ole nykyisin havaittavissa niin runsaasti kuin ehkä voisi etujen perusteella olettaa. Tarkoitus oli osaltaan pureutua siihen, miksi näin on. Lisäksi ko. rakennustyypit ovat hyvin merkittäviä, koska Suomessa niissä oleva energiansäästö- ja hyödyntämispotentiaali on erittäin suuri. Green Net Finland toimi asiantuntijatyön tilaajana. Selvityksen tekijäksi valikoitui AX-Suunnittelu ja käytännön toteutuksesta vastasi DI Lauri Savolainen, jonka toimittamaan raporttiin tämä luku pohjautuu.

3.2.1 Hukkalämpöenergiat ja rajaukset

Työssä tunnistettiin merkittävimmät hukkaenergiavirrat, hankeosapuolet rooleineen, hankeosapuolten liiketoimintamallit kahdessa rakennustyypissä – asuinkerrostalot ja kauppakeskukset. *Kauppakeskus-kohteilla tarkoitetaan kauppakeskusten lisäksi myös muita ulosvuokrattavia liike-/toimistorakennuksia, kuten teknologiakeskuksia*. Tontin ulkopuoliset toimijat rajattiin aihepiirin ulkopuolelle, jotta työn sisältö vastaisi paremmin käytettävissä olleita resursseja ja tarkastelun kohteena oleva aineisto olisi selkeämmin hahmotettavissa.

Työn tavoitteena oli tunnistaa keskeiset hukkalämpöjen hyödyntämiseen tähtäävien investointien kaatumisen juurisyyt sekä luoda yleisnäkymä hankkeisiin liittyvistä taloudellisista, teknisistä ja toimintamalleihin liittyvistä haasteista. Työhön haastateltiin eri organisaatioissa ja erilaisissa rooleissa olevia henkilöitä, jotka ovat olleet käytännön päätöksenteossa mukana hukkaenergiaan liittyvissä hankkeissa. Haastattelut toteutettiin anonyymisti. Selvityksen ulkopuolelle jätettiin mm. kunnallistekniset järjestelmät, kuten kaukolämpö ja -jäähdytys sekä teollisuuden hukkalämmöt.

Työssä tarkasteltiin seuraavia hukkalämpövirtoja: poistoilma, jätevesi ja kylmäntuotantojärjestelmän lauhdelämpö.

Poistoilma

a. Lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihto

Poistoilman lämpötila vaihtelee ulkoilman lämpötilan mukaan, jos ilmanvaihtojärjestelmä (IV-järjestelmä) on varustettu lämmöntalteenotolla (LTO). Lisäksi poistoilman lämpötilaan vaikuttaa LTO-hyötysuhde. Suuri osa ennen vuotta 10/2003 rakennusluvan saaneissa taloista ei ole varustettu IV-LTO:lla.

Lämpöpumpulla on hyvät toimintaedellytykset koko vuoden toimintajaksolla ja hyödyntämätöntä potentiaalia on Suomessa paikkakunnasta riippumatta runsaasti. Teknisten toteutusten kustannuksia kasvattaa hajautettu IV-järjestelmä sekä IV-järjestelmän ja lämmitysjärjestelmän pitkä etäisyys toisistaan.

LTO-varustetun rakennuksen poistoilman lämpötila vaihtelee ulkoilman lämpötilan mukaan ja LTO:n tyypin mukaan noin. -15 °C... +27 °C. Tehokkaampi LTO viilentää poistoilman kylmemmäksi. Matalammalla poistoilman lämpötilalla poistoilmalämpöpumpulla (PILP) on heikommat toimintaedellytykset.

b. Poistoilmanvaihdolla varustetut rakennukset

Ylivoimaisesti suurin potentiaali tehtävän rajauksen mukaisissa rakennuksissa on poistoilmanvaihdolla varustettujen rakennusten poistoilma. Poistoilman lämmöntalteenottoon sopivaa tekniikkaa on olemassa ja se tunnetaan hyvin. Tämä tunnistettiin myös haastateltavien keskuudessa ja hankkeita on toteutettu menestyksekkäästi. Suurimmaksi ongelmaksi hankkeiden käynnistymiselle todettiin poistoilmanvaihtojärjestelmän hajanaisuus. Investointi vaatii yleensä usean pienen huippuimurin yhdistämistä kanavoinnilla vesikatolla.

Poistoilmanvaihdolla varustetuissa rakennuksissa talteen otetun lämmön käyttö tuloilman lämmittämiseen ei ole mahdollista, koska usein korvausilma on otettu tiloihin ulkoseinässä olevista korvausilmaventtiileistä. Tästä syystä lämpö on tarve syöttää lämmitysverkostoon. Lämmitysverkostoon lämmön syöttäminen edellyttää, että rakennuksen lämmitysverkostosta palaavan veden lämpötila on riittävän matala verrattuna lämpöpumpun tuottamaan veteen. Lämpöpumpun hyötysuhde heikkenee, mitä lämpimämpää vettä on tarve tuottaa. Tämä on toinen hankkeiden toteutumista hankaloittava asia. Verkoston paluulämpötilan tarkastelu on tärkeä osa olemassa olevan rakennuksen lämpöpumppuinvestoinnin kannattavuustarkastelua.

Haastatteluissa ilmeni tarve ohjeistukselle ja opastukselle.

Jätevesi

Jäteveden lämpötila on noin 20 °C ... 25 °C. Lämpötilojen osalta lämpöpumpulla on hyvät toimintaedellytykset. Ongelma on toimivan lämmönsiirrinteknologian yleistyminen sekä jäteveden virtauksen epäsäännöllisyys. Jätevedet ovat lämpötilatasoltaan sellaisia, että lämmön syöttäminen käyttöveden esilämmittämiseen tai rakennuksen lämmitysjärjestelmään on vaikeaa tai mahdotonta suoraa lämmönsiirtimen välityksellä. Lämpöpumpulla lämpötila voidaan nostaa sille tasolle, että sitä voidaan hyödyntää.

Jätevesilämmönsiirtimiä on markkinoilla suhteellisen vähän ja ne ovat erittäin kalliita. Jäteveden virtauksen epäsäännöllisyys edellyttää, että jäteveden LTO-järjestelmässä olisi jonkinlainen varaajasäiliö. Varaajasäiliön sijoittaminen ja jäteveden pohjaviemärin yhdistäminen LTO-järjestelmään vaatii reititysmuutoksia. Ongelma voi silti olla jätevesijärjestelmän hajanaisuus. Järjestelmän kannattavuutta kasvattaa

jäteveden määrä. Normaalisti jätevesi ohjataan pystyviemärien kautta suoraan rakennuksen alla kulkevaan pohjaviemäriin. Reititysmuutokset ovat hankala tehdä olemassa olevaan kiinteistöön, jotta usean pystyviemärin virtaus voitaisiin ohjata yhdelle lämmönsiirtimelle tai lämpöpumpulle. Tämä on merkittävä este jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmien yleistymisessä, vaikka siirrintekniikan ongelmiin löytyisi ratkaisut.

Kylmäntuotantojärjestelmien lauhdelämpö

Kylmälaitteiden lauhdevirtoja on ominaisuuksiltaan monia. Jäähdytystä tarvitaan rakennuksissa huonetiloissa sekä tuloilman jäähdyttämisessä. Tuloilmaa jäähdyttävä laitteisto toimii vain kesän kuumimmilla ulkolämpötiloilla, joten näistä koneista lauhdelämmön hyödyntäminen on erittäin lyhyt jakso esimerkiksi käyttöveden lämmittämiseen. Ilmanvaihdon lauhdelämpö on nykyisellään liian matalaa käytettäväksi esimerkiksi käyttöveden esilämmittämiseen. Lisäksi usein kylmälaite sijaitsee rakennuksen katolla ja lämmönjakohuone kellarissa, jolloin lämmön hyödyntäminen muodostuu putkitöiltään kalliiksi, joka heikentää kannattavuutta. Järjestelmien sijoittelu tulisi huomioida jo rakentamisvaiheessa. Lauhdelämmön talteenottaminen suoraan kylmäainepiiristä vaatisi tehdasvalmisteiseen laitteeseen muutoksia. Suurimmassa osassa laitteista tällaista mahdollisuutta ei ole.

Päivittäistavarakaupassa kaupan kylmälaitteiden lämpöä syntyy ympäri vuoden tasaisesti, joten sen hyödyntäminen rakennuksen lämmittämisessä on yleisempää. Tässä selvityksessä ei keskitytä päivittäistavarakaupan lauhdelämpöjen hyödyntämiseen.

Paikallisjäähdytys tarkoittaa huonetilassa olevia jäähdytyslaitteita. Ne on toteutettu pääosin siten, että laitteisto tuottaa varaajaan tai puskurisäiliöön 7 °C ... 15 °C vettä, jota syötetään huonetilassa olevalle laitteelle kuten jäähdytyspalkille tai puhallinkonvektorille. Laitteilta palaava vesi on noin 12 °C ... 20 °C lämpötilassa. Paikallisjäähdytystä tarvitaan nykyaikaisissa **toimistorakennuksissa** ja **kauppakeskuksissa** osassa tiloista ympäri vuoden pieniä määriä. Tämä jäähdytysverkon paluuvesi on niin kylmää, ettei siitä voida ottaa lämpöä talteen lämmönsiirtimellä suoraan muuta kuin esimerkiksi tuloilman esilämmittämiseen. Yleensä tämä kylmä tuotetaan vapaajäähdytyksellä talviaikaan, joten varsinaista kylmäkoneen lauhdelämpöäkään ei synny lämmityskaudella.

Pääosin comfort-jäähdytyksen lauhdelämpö syntyy silloin, kun ulkolämpötila on yli 18 °C. Tällöin lämpöä olisi saatavilla, mutta samanaikaisesti lämmön käyttökohteet ovat heikot. Lisäksi yleensä ulkopuolelta ostettava lämpöenergia on normaalia edullisempaa samalla jaksolla. Kesäajan ylilämmön parempi hyödyntäminen vaatisi *lämmönkausivarastointia*, joka taas vaatisi lämpöpumppua, joka osaltaan kasvattaa takaisinmaksuaikaa.

Kesäaikana syntyvän lauhdelämmön hyödyntämistä rajoittaa *kohtaanto-ongelma* kysynnän käyttökohteessa ja tuotannon lähteessä välillä (kuva 34). Lisäksi valmiita teknisiä ratkaisuja ei ole saatavilla helposti. Kesäaikana lauhdelämpöä voitaisiin hyödyntää usein vain käyttöveden lämmittämiseen. Niiden syntymistä varmasti heikentää myös kysynnän vähäisyys.

Vanhoissa asuinrakennuksissa jäähdytyslaitteita on suhteellisen vähän. Uudisrakentamisessa suhteellisen pienitehoinen jäähdytys on yleistymään päin, esimerkiksi tuloilman ylilämmön poisto.

3.2.2 Liiketoimintamallit ja kannustintoimet

Palveluliiketoimintamallit

Palvelumallissa palvelun tuottaja suunnittelee ja toteuttaa hankkeen omalla kustannuksellaan. Tilaaja maksaa palvelusta sopimusmallin mukaisesti esimerkiksi säästöön perustuen. Esimerkki tällaisesta mallista on ESCO-malli (lisää ko. malleista luvussa 1.4).

Palvelumallin sopimustekniikka on suhteellisen raskasta ja vaatii erityistä ammattitaitoa. Se kuitenkin mahdollistaa hankkeiden käynnistymisen ilman pääomaa tai pienellä tilaajapuolen pääomalla tai jos on olemassa epävarmuustekijöitä laitteiston toimivuudesta tietyissä olosuhteissa [25].

Kartoita-suunnittele-kilpailuta-rakenna malli

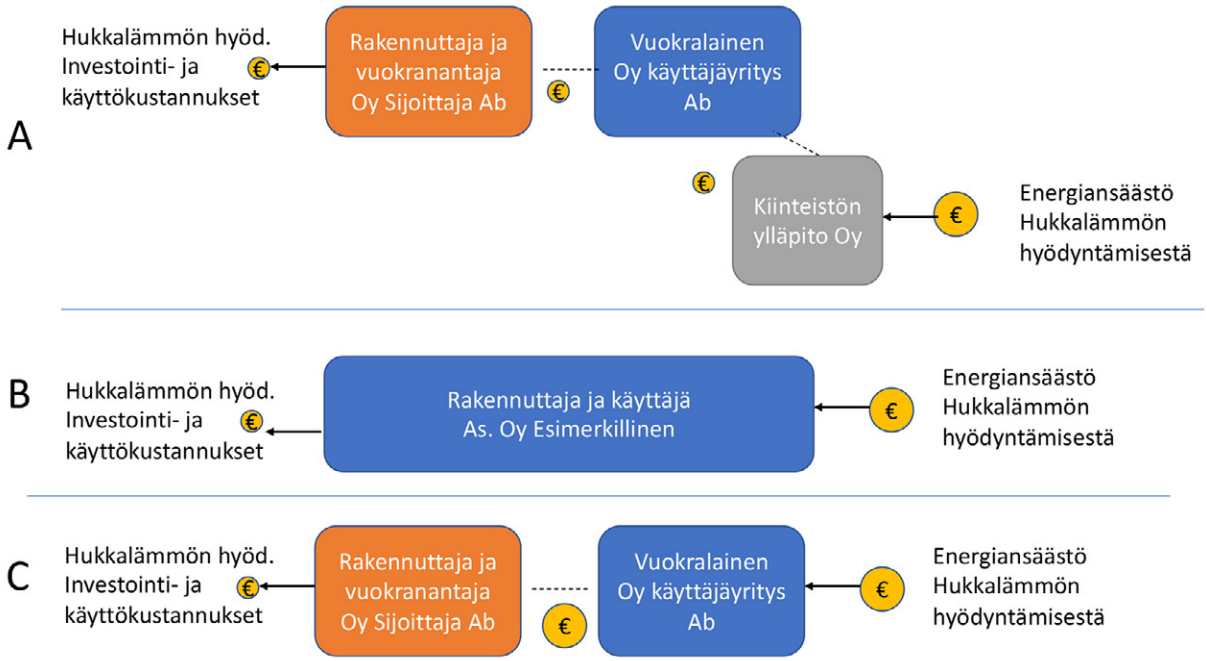
Perinteinen malli, jossa kiinteistön omistaja rahoittaa hankkeen ja saa kaiken taloudellisen hyödyn. Tällöin tilaajapuoli hallitsee hanketta alun lähtötietojen hankinnasta käytönajan huoltotoimintaan. Tämä soveltuu hyvin tilanteeseen, jossa rakennuksen omistaja maksaa energiakustannukset, esimerkiksi vuokra-asuinkerrostalo. Mallissa etua on siitä, jos tilaajapuolella on oma osaaminen hankkeiden läpiviennistä. Hankkeet ovat sopimusteknisesti yksinkertaisia ja sopimustekniikka on yleisesti tunnettua. Tämä hankintatapa soveltuu valtaosaan hankkeista.

3.2.3 Haasteet investointipäätösten tekemiseen

Ristiriita investoinnin ja saatavan hyödyn kesken

a. Vuokralainen ja rakennuksen omistaja

Toimitilarakentamisessa yleistä on, että toimitilan käyttäjä on vuokrasuhteessa ja rakennuksen omistaa jokin muu taho (kuva 33 tapaukset A ja C). Hukkaenergiahankkeet tähtäävät ostetun energian määrän pienentämiseen. Usein tämän selvityksen rajauksen sisällä olevissa rakennuskannassa rakennuksen omistaja omistaa myös energiaa kuluttavat järjestelmät ja vuokralainen maksaa kuluttamansa energian. Tämä on kokonaisuuden kannalta edullinen ja energiansäästöön kannustava toimintamalli (kuva 33, tapaus C). Tämä malli kuitenkin voi lyhyemmissä ja epävakaassa vuokrasuhteessa aiheuttaa vuokralaisen näkökulmasta haluttomuutta investoida energiaa säästäviin järjestelmiin, koska ne ovat kiinteä osa rakennuksen järjestelmiä. Myös rakennuksen omistaja voi olla haluton investoimaan järjestelmiin, jos ei ole varmuutta vuokrasuhteen pitkäaikaisuudesta tai vuokran määrä ei ole neuvoteltavissa uudestaan. Tapauksesta riippuen, energiakustannukset saattaa periä vuokralaiselta myös erillinen kiinteistön ylläpidosta vastaava yhtiö (tapaus A).



Kuva 33. Investointikustannusten ja energiansäästön hyödyn kohdistuminen eri tapauksessa.

b. Perustajaurakoitsija – As Oy Esimerkillinen

Vaihtoehtona edellä esitetylle vuokramallille on kuvan 33 tapaus B, joka vastaa esim. Asunto-osakeyhtiö-muotoista kerrostalo-omistusasumista. Siinä esimerkkikerrostalon "As. Oy Esimerkillinen" omistaja-asukkaat hyötyvät suoraan tehdystä investoinnista alentuneiden energiakustannusten myötä, joka käytännössä ilmenee pienentyneenä yhtiövastikkeena. Investoinnin tekijä on silloin myös hyödyn saaja. Kuva 33 pyrkii yksinkertaistetusti kuvaamaan investointikustannusten ja hyödyn kohdistumista eri osapuolille eräissä esimerkkitapauksissa. Vaikka hyödyn kohdistuminen vaikuttaa olennaisesti eri osapuolten motivaatioon, on syytä huomauttaa, että käytännössä tilanne on monimutkaisempi. Taloudelliseen tuottoon vaikuttavat muutkin tekijät investoinnin elinkaaren aikana, kuten esimerkiksi energian hinnan, vuokratason ja korkotason muutokset sekä investoinnin käyttöikä. Onkin selvää, että investoinnin suunnittelussa kaikki vaikuttavat asiat huomioidaan.

Uudisrakentamisen energiatehokkuutta ohjataan ympäristöministeriön asetuksella, joka asettaa rakennustyypille tietyn minimitason. Tätä parempaan energiatehokkuuteen pyrkimistä ei varsinaisesti kannusta kuluttaja ostokäyttäytymiselläen eikä alueellinen rakentamisen ohjaus. Näin perustajaurakoitsijan on hyvin vaikea perustella energiatehokkuuteen tähtäävää lisäinvestointia liiketoiminnan kannalta.

Ratkaisuna tähän voisi olla alueellinen rakentamisen ohjaus, esimerkiksi kaavoitus.

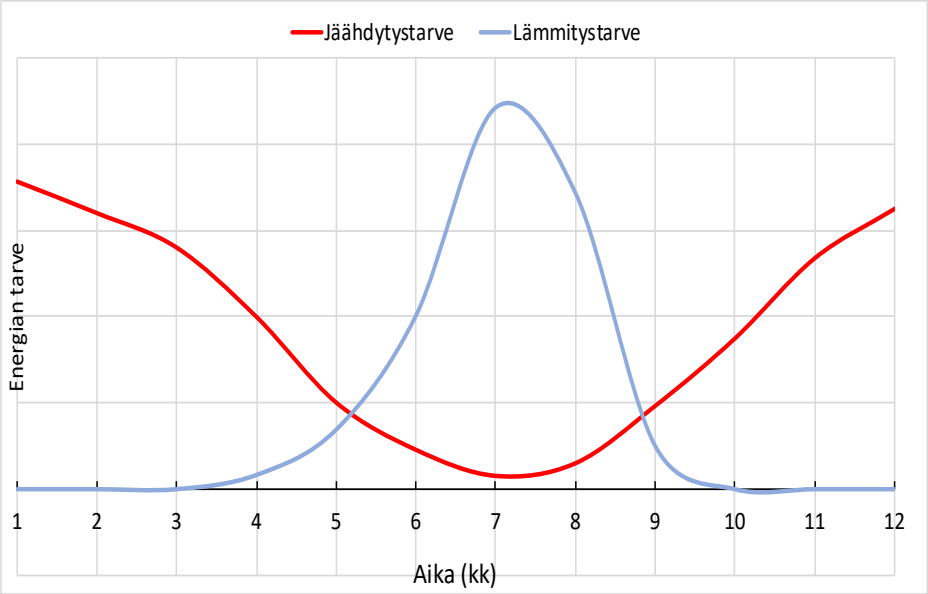
Rakentamismääräykset

Ympäristöministeriön asetus 1010/2017 rakennusten energiatehokkuudesta asettaa vaatimukset rakennusten energiatehokkuudelle. Laskentamenetelmä ei aseta erityisiä vaatimuksia jäteveden lämmöntalteenotolle.

3.2.4 Tekniset haasteet

Kohtaanto-ongelma

Hukkaenergian hyödyntämisen edellytys on, että lämpöenergia saadaan käytettyä tai varastoitua siihen ajan hetkeen, kun lämpöenergiaa tarvitaan. Tämä on kausittaisten hukkaenergioiden merkittävimpiä ongelmia. Esimerkiksi lauhde-energiaa syntyy comfort-jäähdytysjärjestelmissä usein suurimmaksi osaksi vain kesällä (kuva 34), jolloin lämmitysenergiaa tarvitaan vain käyttövedessä. Vaihtoehtona on nostaa lämpöpumpulla lauhteesta otettavan lämpöenergian lämpötilataso niin korkealle, että käyttövettä pystytään lämmittämään sillä. Toinen vaihtoehto on pyrkiä varastoimaan matalalämpötilaista lauhde-energiaa esimerkiksi kausivarastoon. Kausivarastointi ei ole toistaiseksi yleistynyttä teknologiaa asuin- ja toimitilarakentamisessa.



Kuva 34. Lämmitystarpeen ja jäähdytystarpeen vaihtelu eri vuodenaikoina (kohtaanto-ongelma).

Lämpötilatasot matalia, hyödyntäminen vaatii lämpöpumppua

Useimmiten hyödynnetään hukkaenergioista helpoimmin hyödynnettävissä olevat energiavirrat. Siirtämällä hukkalämpö lämmönsiirtimellä hyötykäyttöön saadaan pienennettyä varsinaista ostettavan energian määrää. Tällainen on esimerkiksi ilmanvaihdon lämmöntalteenotto (LTO). LTO-patterin jälkeenkin poistoilmassa on lämpöä, jota voidaan hyödyntää, mutta se edellyttää lämpöpumpun käyttöä. Sama pätee viemärivesien sekä kylmäntuotantolaitteiden LTO:on.

Lämmönsiirrinten koko ja likaantuminen

Erityisesti jätevesistä lämmöntalteenoton suurimpia teknisiä haasteita on lämmönsiirtimiin tarttuva lika, joka heikentää lämmön siirtymistä tai estää täysin virtauksen. Toisaalta on vaikea kehittää tehokas ja kompakti lämmönsiirrin, joka ei likaannu. Yleisesti jätevesien lämmönsiirtimet ovat tästä syystä suurikokoisia. Markkinoilla olevat laitteet ovat lämmönsiirto-ominaisuuksiltaan heikkoja, tai erittäin suurikokoisia tai/ja niistä ei ole riittäviä käytännön kokemuksia, joka hidastaa teknologioiden yleistymistä.

Pieni määrä teknologisesti kypsiä ratkaisuja

Hukkalämpöenergioiden laajamittaista yleistymistä hidastaa vähäinen määrä teknologisesti valmiita ratkaisuja. Teknologia ei ole yleistynyt esimerkiksi uudisrakentamisessa poistoilman lämmöntalteenottoja lukuun ottamatta, vaikka erilaisia ratkaisuja on ollut markkinoilla jo useita vuosikymmeniä.

Konservatiivinen ala vaatii mitattua dataa ja näyttöä toiminnasta

Uusista teknologioista ja ratkaisuista pitäisi saada mitattua dataa todellisista toteutuneista kohteista. Suunnittelualan luottamusta lisäisi, jos kohteista olisi mahdollista saada trendiseurantoja lämpötiloista, virtaamista ja tarkkoja mitoitustietoja sekä mahdollisen lämpöpumpun energiankulutustietoja. Tarkkaa tietoa tarvitaan, jotta yhden kohteen tietoja on mahdollista skaalata muihin hankkeisiin.

Investoinnit kalliita, pitäisi huomioida jo rakennusvaiheessa

Hukkalämpöenergiat ovat teknisesti haastavia hyödyntää, jolloin niiden hyödyntämiseksi vaaditaan kokonaan uusia teknisiä järjestelmiä. Tällaisille järjestelmille harvoin löytyy sopivaa tilaa rakennuksen alimmista tai ylimmistä kerroksista. Lisätilan rakentaminen nostaa osaltaan järjestelmän kustannuksia.

Lisäksi hukkaenergian talteenottopaikka ja käyttöpaikka voi olla rakennuksen eri päissä tai hajautettuna, jolloin tekninen toteutettavuus kärsii.

Poistoilman ja lauhde-energian osalta lämpö syntyy lähes poikkeuksetta rakennuksen katolla ja lämmönjakokeskus sijaitsee rakennuksen alimmissa kerroksissa.

Hukkalämpöenergioiden spektri

Hukkalämpöenergioita on huomattavan erilaisia niin lämpötilatasoltaan, kausivaihtelultaan, sykliltään sekä energiavirraltaan. Yleisin syy LTO-projektin epäonnistumiseen on lähtöolettamat, joita ei ole selvitetty riittävällä tarkkuudella. Lähtötietojen selvittäminen projekteittain voi olla työlästä, joten se saatetaan jättää tekemättä. Tai oletetaan kokemukseen perustuvan tiedon pohjalta jotain.

Energiakustannukset

Hukkaenergiaa hyödyntävät lämmöntuottotavat kilpailevat markkinoilla jo jalansijan saavuttaneiden ja toiminatansa todentaneiden järjestelmien kanssa, kuten esimerkiksi kaukolämpö ja maalämpö tai muut polttoaineita hyödyntävät lämmöntuottotavat. Lisäksi useat kaupungit ovat siirtyneet kesäaikana edullisempaan kaukolämmön hinnoitteluun, joka heikentää jo ennestään heikon kannattavuuden omaavia järjestelmiä.

3.2.5 Yhteenveto tutkimuksen haastatteluista ja keskeisimmät juurisyyt hankkeiden kaatumiselle

- Taloudellisesti kannattavia hankkeita halutaan toteuttaa. Hankkeen lopullisen toteutumisen edellytykset ovat kuitenkin tilaajan tahtotila sekä tekniikan riittävä luotettavuus. Taloudellisen kannattavuuden alue vaihteli organisaation mukaan arviolta 5 ... 20 vuoden välillä.
- Uusien teknologioiden riskit nähdään merkittävänä jarruna teknologioiden yleistymiselle. Täysin avoimia hankkeita tarvitaan, jotta uudet teknologiat yleistyvät riittävän nopeasti. Tämä tarkoittaa toteutuvan kohteen suunnitteluaineiston sekä seurantahankkeen mittausdatan julkistamista. Datan tarkkuus on oltava riittävän tarkkaa. Riittävän tarkalla tarkoitetaan tässä tapauksessa sellaista dataa, jonka perusteella voidaan tehdä realistinen arvio toisen eri kokoisen sekä erilaisen käyttöprofiilin omaavan kohteen kannattavuudesta. Tämä tarkoittaa lämpöä talteen ottavan laitteiston keskeisten massavirtojen, energiavirtojen ja lämpötilojen mittausta ajan suhteen riittävällä tarkkuudella, jos kyse on lämpöenergian talteen ottamisesta ilma- tai vesivirrasta.
- Alalle kaivataan myös lisää koulutusta sekä oppimateriaalia. Epäonnistuneet hankkeet ruokkivat epäluottamusta, joka toisaalta nähdään sitten riskinä investointivaiheessa.

3.2.6 Hankkeiden käynnistymisen mahdollistaminen

Liiketaloudellinen kannattavuus on ehdoton edellytys hukkalämpöenergioiden hyödyntämiseen tähtäävän hankkeen käynnistämiselle. Vaikka teknologia olisi olemassa ja suhteellisen toimintavarmaa, niin hankkeiden käynnistymisen este voi olla, että rahoittaja ei saa taloudellista hyötyä investoinnista (kuva 33). Toisaalta rahallisen hyödyn saaja ei halua tai pysty investoimaan. Syy voi olla sopimustekninen, esimerkiksi vuokralainen, joka maksaa oman energiansa. Myöskään vuokralainen ei välttämättä ole valmis investoimaan laitteistoihin, jotka ovat kiinteä osa rakennuksen talotekniikkaa.

Järjestelmiä saatetaan toteuttaa silti, vaikka investoinnit eivät olisi taloudellisesti houkuttelevia. Tämä voisi olla esimerkiksi silloin, kun korkea energiatehokkuus on asetettu laeissa tai asetuksessa rakentamisen ehdoksi tai kunnallisen tason rakentamisen ohjaus vaatii parempaa tasoa kuin valtakunnallinen minimitaso. Säädökset tulisi asettaa harkiten, jos sillä ohjataan kaupallisesti kestämättömällä pohjalla olevan tekniikan yleistymiseen. Toisaalta säädöstasolla on mahdollista arvioida asioita esimerkiksi erilaisista ympäristönäkökulmista.

Palvelumallit hukkaenergiahankkeissa sisältää samat teknologiset ongelmat, mutta myös lisäksi sopimustekniset haasteet. Näin harvoin pystytään toteuttamaan hanke siten, että palvelutuottajalle, kiinteistön omistajalle ja energian loppukäyttäjälle lopullinen tilanne on teknis-taloudellisesti edullisempi. Näin saatetaan saavuttaa silti pienemmät toiminnan hiilidioksidipäästöt ja tämä voi olla tulevaisuudessa motiivi toteuttaa hankkeita ilman alkupääomaa.

Haastatteluissa kannattavimmat ja haastateltavien kannalta merkityksellisimmät hankkeet olivat suuria hankkeita, joissa energiaa pystyttiin kierrättämään takaisin käyttöön pitkiä aikoja vuorokaudessa. Tämän edellytys on joko riittävän suuri rakennus tai useita erilaisia toimintoja, joiden takia kuormitusta on ympäri vuorokauden. Tämä monissa tapauksissa vaatii, että tarkastelun taseraja ylittää rakennuksen

rajat ja on vähintään korttelin tai alueen tasolla. Tämä on sopimusteknisesti kuitenkin haastava tilanne, jos järjestelmät ylittävät kiinteistöyhtiöiden rajat. Tällöin hyödyn ja kustannusten jako sekä huoltotoiminnan ja vastuiden rajat ovat hankala sopia. Toimivia pilotteja ja sopimusmalleja kaivattaisiin korttelitason aluelämmitys- ja -jäähdytysjärjestelmistä.

3.3 Liiketoimintanäkymät kaupan alan kohteissa ja uudet toimintamallit

Edellä esitetyn rajatun asiantuntijatarkastelun lisäksi on kiinnostavaa hiukan valottaa alan liiketoiminnan viimeaikaista kehitystä Suomessa laajemmin. Hukkalämpöjen hyödyntämiseksi tehtyjen investointien määrä on voimakkaassa kasvussa. Esimerkiksi K-ryhmä on alkanut käyttää ”energiankierrätysjärjestelmää”, jossa viilennyksen sivutuotteena syntyvää lauhdelämpöä ja poistoilman lämpöä käytetään kiinteistön lämmitykseen. Imago-etu ja hiilipäästöjen vähenememinen ovat K-ryhmän mukaan tärkeitä hyötyjä, mutta samalla energiasäästöt ovat merkittäviä. S-ryhmä on myös tänä vuonna asettanut itselleen kunnianhimoisia päästövähennystavoitteita ja osana toimenpiteitään investoi hukkalämpöjen hyödyntämiseen. Kolmantena esimerkkinä on Lidl, jonka Järvenpään jakelukeskuksen ylijäämälämpöä hyödynnetään Fortumin alueellisessa avoimessa kaukolämpöverkossa. Edellä mainittujen investointien on arvioitu käsittävän jopa satoja kaupan alan kiinteistöjä. Investointien kasvu tukee aiemmin esitetyn HUKATON-liiketoimintakyselyn tuloksia, joiden mukaan yritysten näkökulmasta hyödyntämispotentiaalia on paljon jäljellä. Kaikissa näissä kohteissa hyödynnetään suuria määriä lauhdelämpöjä. Silti on kiinnostavaa, että HUKATON-liiketoimintakyselyssä lupaavimmista tuotealueista 89 % liittyi hukka- tai ylijäämälämmön hyödyntämiseen ja 11 % lauhdelämpöjen hyödyntämiseen.

Hukkalämpöjen investointeihin on tullut myös uusia liiketoimintamalleja. Perinteinen malli on se, että rakennuttaja investoi itse – tästä puhuttiin edellä. Uudenlaisia avauksia on viime aikoina myös tehty. St1 on luonut palvelun, jossa he tekevät kohteeseen kartoituksen, laskelmat ja tekevät investoinnin, joka rahoitetaan järjestelmän itse tuottaman energian myynnillä asiakkaalle. Tavoitteena on, että asiakkaan energiakustannukset laskevat heti järjestelmän asennuksen jälkeen. Toinen uusi esimerkki Suomen markkinoilla on Adven. Heidän tuotteensa ja palvelunsa on nimeltään “Energy as a service”. Konseptin mukaan Adven suunnittelee asiakkaan kohteeseen ratkaisun, toteuttaa investoinnin ja rakentaa sen – sekä sen jälkeen tarjoaa asiakkaalle kunnossapitopalvelut. Yrityksen mukaan asiakkaina on mm. kauppakeskus- ja oppilaitoskohteita.

Lämpöenergian uusien kausivarastointiratkaisujen määrä on myös viime aikoina kasvanut voimakkaasti. Näissä investoinneissa investoinnin tekijä myös itse käyttää kausivarastoa. Kausivarastointia näyttävät hyödyntävän erityisesti merkittävät energian käyttäjät omassa kohteessaan sekä toisaalta lämpöenergian ja kaukolämmön tuottajat. On erittäin myönteistä havaita, että kausivarastoinnissa on nyt lähdetty idea-asteelta käytännön toteutuksiin.

4 Yleiset johtopäätökset ja suositukset

4.1 Rakennustyyppikohtaiset johtopäätökset ja suositukset

4.1.1 Asuinkerrostalot

Asuinkerrostalojen poistoilman ja jäteveden lämmöntalteenotto on taloudellisesti kannattavaa 30 vuoden tarkastelujaksolla. Tutkituista energiakorjausratkaisuista elinkaarikustannuksiltaan halvin ratkaisu vanhoissa kiinteistöissä on poistoilmalämpöpumpun asentaminen ja lämpöpumpun hyödyntäminen myös jäteveden LTO:ssa. Kaukolämpöyhtiöiden vaatimukset estävät kiinteistön omistajan näkökulmasta parhaan kytkennän, jossa hukkalämmöillä esilämmitetään patteriverkon vettä ja lämmintä käyttövettä. Tällä kytkennällä päästöt laskisivat 50 % ja elinkaarikustannukset 20 %. Kuitenkin, myös kaukolämmön rinnalle kytkettynä jäteveden ja ilmanvaihdon LTO lämpöpumpuilla voi vähentää kaukolämmön kulutusta 50 % ja CO2-päästöjä 37 %. Elinkaarikustannukset laskisivat tällöin 6 %. Pelkällä poistoilmalämpöpumpulla kustannukset laskisivat 8 %. Kaikkea hukkalämpöä ei saada aina hyödynnettyä, sillä esimerkiksi kesällä kulutus on alhaista. Hukkalämpöjen kausivarastointi voisi edelleen vähentää ulkoisen energian tarvetta. Tämän pystyy toteuttamaan esimerkiksi lataamalla maalämpökaivokenttää hukkalämmöillä. Tämä voisi mahdollistaa täyden irtautumisen kaukolämpöverkosta melko pienelläkin maalämpökentällä.

4.1.2 Uima- ja jäähallit

Jää- ja uimahalleissa voitaisiin käyttää useita erilaisia jätelämmön hyödyntämisratkaisuja, joilla on mahdollista vähentää hallien ostoenergiankulutusta erittäin merkittävästi ja sitä kautta vähentää CO2 päästöjä ja lisäksi saada merkittäviä energiakustannussäästöjä. Yksittäisessä jäähallissa jään jäähdytyksestä syntyvällä

lauhdelämmön hyödyntämisratkaisulla voitaisiin kattaa jäähallin oma lämmitystarve lähes kokonaan sähkönkulutuksen kasvaessa vain vähän. Jäähallin tuottaman lauhdelämmön määrä on niin suuri, että sitä riittäisi hyödynnettäväksi myös muihin tarkoituksiin jäähallin ulkopuolelle, vaikka jäähallin lämmityksessä hyödynnettäisiinkin lauhdelämpöä. Kytkemällä jää- ja uimahallien energiajärjestelmät yhteen jäähallista siirrettävällä lauhdelämmöllä voitaisiin kattaa merkittävä osa uimahallin lämmitystarpeesta. Vaikka jää- ja uimahallien energiajärjestelmät liitettäisiin yhteen ja niissä käytettäisiin tutkittuja hukkalämmön hyödyntämisratkaisuja, jäisi uimahallista vielä jäljelle hukkalämpöä siirrettäväksi muuhun tarkoitukseen esimerkiksi muiden urheiluhallien lämmittämiseen. Jään jäähdytyksestä syntyvän lauhdelämmön hyödyntämistä tulisi vaatia uusissa jäähalleissa ja sen käyttömahdollisuudet tulisi selvittää vanhojen jäähallien energiaremonttien yhteydessä. Jätelämmön hyödyntäminen tulisi ottaa huomioon jo urheilupuistojen kaavoituksen yhteydessä ja koko alueella tapahtuva jätelämmön hyödyntäminen tulisi ottaa huomioon jo yksittäisten hallien suunnitteluvaiheessa.

4.1.3 Kasvihuoneet

Lämpöenergian kausivarastointia kannattaa tarkastella yhtenä vaihtoehtona niissä kasvihuonekohteissa, joihin suunnitellaan jäähdytysjärjestelmää tai joissa sellainen jo on. Jäähdytysjärjestelmään investoitaessa on jo tehty merkittävä osa tarvittavista investoinneista ja näin ollen varastointiosuus olisi toteutettavissa vähäisemmin lisäinvestoinnein.

Suomessa ei tyypillisesti ole kasvihuoneissa käytetty aktiivisia jäähdytysjärjestelmiä. Ylilämpenemistä on rajoitettu lähinnä suojaverhoilla ja avaamalla katonharjalta luukkuja. Ylilämpeneminen lisää kasvien kuivumista ja erilaisia kasvitauteja. Katon tuuletusluukkujen ollessa auki myös kasvua kiihdyttämään annettu hiilidioksidi pääsee karkuun. Pahimmillaan ylilämpeneminen aiheuttaa merkittäviä satomenetyksiä. Ilmaston muuttuessa yhä lämpimämmäksi satomenetykset ja näistä johtuvat tulojen menetykset aiheuttavat enenevissä määrin huolta viljelijöiden keskuudessa. Näistä syistä kiinnostus on kasvanut aktiivisia jäähdytysjärjestelmiä kohtaan, jotka puolestaan lisäävät potentiaalia lämpöenergian varastoinnin toteutuksiin.

Kasvihuoneiden jäähdytysjärjestelmät ja niiden yhteyteen rakennettavat lämpöenergian kausivarastot vaikuttavat siis kannattavilta ratkaisuilta sellaisissa kohteissa, joissa lämmitysjärjestelmän rakentamisen tai uusimisen tarve yhdistyy kesäiseen jäähdytyksen tarpeeseen. Jäähdytyksen tarve on erityisen suuri erilaisten salaattien ja yrttien viljelyssä. Kiinnostus tällaisia järjestelmiä kohtaan on kasvanut ilmaston muuttuessa yhä lämpimämmäksi.

4.1.4 Kauppakeskukset

Raision liikekeskukseen suositeltuja energiaratkaisuja voidaan pääpiirteittäin suositella myös muihin vastaaviin kauppakeskuskohteisiin. Suositeltavaan toteutusratkaisuun sisältyy kohteesta riippumatta kaupan kylmän lauhdelämpöä hyödyntävät lämpöpumput, jotka keräävät lauhdelämmön lisäksi talteen myös muita rakennuksessa syntyviä hukkalämpöjä. Uusissa kauppakeskuskohteissa esimerkiksi hukkalämpöä rakennuksen jäähdytysverkostoista.

Geoenergiakentän hyödyntäminen vastaavanlaisissa kohteissa riippuu paitsi tilaajan tavoitteista, tavoiteltu hiilijalanjälki vs. investointikustannukset, myös kauppakeskuskohteen laajuudesta. Erityisesti suuremmissa kohteissa geoenergian

houkuttelevuus kasvaa, jos tavoitteena on pienentää ostoenergiankulutusta merkittävästi. Järjestelmän mitoituksen kannalta ratkaisevaa on, miten ison osan hypermarketti-tasoinen liiketila muodostaa liikekeskuksen pinta-alasta, eli mikä on hukkalämmön tuotannon ja käyttökohteen kysynnän kohtaanto. Olemassa oleviin kohteisiin, joihin suunnitellaan vastaavanlaista energiajärjestelmää, voi olla suositeltavaa valita vain energiankierrätykseen pohjautuva järjestelmävaihtoehto, koska hukkalämpöjä on uudiskohteisiin verrattuna huomattavasti enemmän saatavilla. Olemassa oleviin kauppakeskuskohteisiin hyvä vaihtoehto ostoenergiankulutuksen pienentämiseksi on valita ilma-vesilämpöpumppu (IVLP) energiankierrätyslämpöpumpun rinnalle.

Hukkalämmön myynnistä tehdyt johtopäätökset ovat yleistettävissä muihin liikekeskuskohteisiin, kunhan hukkalämmön myynnistä saatava korvaus on houkuttelevalla tasolla suhteessa sähköenergian kustannuksiin.

4.1.5 Jätevoimalat

Johtopäätöksenä tuloksista voidaan pitää, että syväkaivot ovat potentiaalinen vaihtoehto kohti hiilineutraalisuutta lämmön tuotannossa. Se sopii niin energiatuotantoon kuin varastointiin. Kun kaivoja suunnitellaan enemmän kuin yhtä kaivoa, pitää ottaa suunnittelussa huomioon kaivojen etäisyydet. Kun hukkalämpöä on runsaasti saatavilla, kuten usein voimalaitoksen tapauksessa, kaivojen etäisyydet toisistaan kannattaa pitää lyhyinä (esimerkiksi 10 m), jotta energiaa saadaan paremmalla hyötysuhteella varastoitua. Jos syväkaivoja käytetään pelkästään lämmöntuottamiseen ja ei juurikaan varastointiin, kaivojen sijainti toisistaan kannattaa pitää suurempana, esimerkiksi vähintään 40 m toisistaan.

4.2 Liiketoiminnan edistäminen

Aiemmin tässä raportissa esitetyt HUKATON-liiketoimintakyselyn tulokset, runsas vastaajien mielenkiinto kyselyä kohtaan sekä *HUKATON-yritysryhmään* ja hankkeen tilaisuuksiin kohdistunut kiinnostus osoittavat, että hukkalämpöjen hyödyntämisen ja lämpöenergian varastoinnin liiketoimintanäkymät ovat yritysten puolelta katsottuna nykyhetkellä erittäin hyvät tai ainakin kohtuulliset. Liiketoiminnan riskit nähdään pieninä.

Odotettavissa, että hukkalämpöjen hyödyntämisen ja lämpöenergian varastoinnin liiketoiminta Suomessa tulee tulevaisuudessa kasvamaan selvästi. Lämpöenergian kausivarastoinnille on olemassa selkeä tarve aiemmin esitetyn kohtaanto-ongelman ratkaisuna. Viime aikoina Suomessa on nähty merkittäviä investointipäätöksiä uusiin energian kausivarastoihin.

Paljon on myös tehtävissä liiketoiminnan ja alan kasvun nopeuttamiseksi. Alan kasvua voidaan kyselyvastausten mukaan nopeuttaa säätelyn ja valvonnan kehittämisen kautta. Näin voidaan poistaa liiketoiminnan kasvun esteitä. Verotuksen vaikutus on liiketoiminnan kannalta merkittävä. Energia-alalla näiden tekijöiden vaikutus on ollut perinteisesti suuri. Säädösten ja regulaation vaikutus tunnistettiin merkitykselliseksi motivaattoriksi. Kuitenkin, säädöksiä pitäisi asettaa vain harkiten, etenkin jos niillä ohjataan kaupallisesti kestämättömällä pohjalla olevan tekniikan yleistymiseen.

Liiketoiminnan näkymiä tutkittiin erityisesti asuinkerrostalo- ja kauppakeskus-tyyppisissä kohteissa. Suurin hyödyntämätön energiapotentiaali on kerrostalokohteiden ilmanvaihdon hukkalämmön talteenottojärjestelmissä, mutta selvityksessä ilmeni myös monia muita hyödyntämismahdollisuuksia.

Yleisesti käytössä olevat liiketoimintamallit hukkalämmön hyödyntämiseksi ovat palvelumalli ja kartoita-suunnittele-kilpailuta-rakenna-malli. Palvelumallit hukkaenergiahankkeissa sisältävät samat teknologiset haasteet kuin jälkimmäiset, mutta sen lisäksi myös sopimustekniset haasteet sekä enemmän osapuolia jakamassa hyötyä. Jotta investointipäätös syntyisi, investointikustannusten ja siitä koituvan hyödyn (joka syntyy esim. alentuneiden energiakustannusten kautta) tulee kohdata koko elinkaari huomioiden. Toisin sanoen, investointipäätöksen tekijän tulee olla hyödyn saaja. Tähän voitaisiin mahdollisesti vaikuttaa sopimusmallien kehittämisellä. Myös investoinnin takaisinmaksuajan tulee olla riittävän nopea. Uusia palvelumalleja on viime aikoina myös tullut markkinoille ja onkin kiinnostavaa nähdä, kuinka ne menestyvät. Teknologinen kehitys ja tehokkuuden paraneminen, energian hinnan nousu ja laitteiden yleistyminen/hintakehitys on parantanut yleisiä edellytyksiä ja tämä kehitys todennäköisesti jatkuu. Haastatteluissa takaisinmaksuajan vaatimukset vaihtelevat organisaation mukaan 5 ja 20 vuoden välillä. Taloudellinen kannattavuus on tärkein kriteeri investoinnin tekemiseen.

Suositukset alan liiketoiminnan edistämiseksi:

- Haastattelujen perusteella nykyisin merkittävimpinä pidetään suuria hankkeita, joissa energiakuormitusta on ympäri vuorokauden, jolloin ylijäämälämpöjä voidaan tehokkaasti hyödyntää. Pienemmissä kohteissa on silti erittäin suuri hyödyntämätön kokonaispotentiaali. Rakennuksen rajat ylittäviin järjestelmiin (esim. korttelit) kaivattiin parempia ratkaisuja, pilotteja ja uusia sopimusmalleja.
- Hukkaenergiahankkeisiin tulee kehittää sopimusmalleja ja pyrkiä edistämään järjestelyjä, joissa investointipäätöksen tekijä on myös hyödyn saaja. Muussa tapauksessa päädytään halvempaan ratkaisuun, jossa hukkaenergiaa ei hyödynnetä. Sama koskee yleensä myös lämpöenergian varastointi-investointeja.
- Tutkimustyön rooli objektiivisen tiedon tuottajana ja innovaatioiden mahdollistajina tunnistettiin selvästi. Erityisesti kaivattiin enemmän yritysten ja korkeakoulujen/tutkimuslaitosten yhteistyötä. Myös innovatiivisten yritysten rooli alan liiketoiminnan kehittymisessä on tärkeä.
- Säädöksien asettamisessa on syytä käyttää huolellista harkintaa, jotta kaupallisesti kestävät tekniset ratkaisut yleistyisivät.
- Hukkalämpöjen hyödyntämisen uusiin teknologioihin koetaan edelleen sisältyvän riskejä, jotka hidastavat niiden käyttöönottoa. Näitä riskejä voitaisiin pienentää tutkimushankkeiden kautta syntyvällä julkisella objektiivisella tiedolla. Erityisesti tarvitaan luotettavaa ja objektiivista tietoa referenssikohteista, jolla voidaan tehdä realistinen arvio erilaisten käyttöprofiilien kohteiden kannattavuudesta. Tämä lisäisi suunnittelualan luottamusta ja edistäisi hukkalämpöjen hyödyntämistä rakennushankkeissa.
- Alan koulutusta ja ajantasaisen oppimateriaalin tuottamista tulee edistää.

5 Lähteet

[1] Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus [verkkojulkaisu]. ISSN=1799-795X. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 24.6.2020]. Saantitapa: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ene__ehk/statfin_ehk_pxt_010.px/.

[2] EU.2018. Direktiivi 2018/2002 energiatehokkuudesta annetun direktiivin 2012/27/EU muuttamisesta. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2002&from=EN. Haettu 6.10.2020

[3] Asumisen energiankulutus 2018. Tilastokeskus. Verkkojulkaisu: https://www.stat.fi/til/asen/2018/asen_2018_2019-11-21_fi.pdf. Haettu 16.10.2020

[4] Biomassan kestävyyskriteerit. Maa- ja metsätalousministeriön verkkosivut: https://mmm.fi/metsat/puun-kaytto/biomassojen-kestavyys. Haettu 15.10.2020

[5] Sähkön ja lämmön tuotanto, Energia >> Sähkön ja lämmön tuotanto >> 12b7 – Kaukolämmön tuotanto Suomessa. Tilastokeskus. Haettu 13.7.2020

[6] Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpide-ohjelma. Verkkojulkaisu. https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisut/HNH-2035-toimenpideohjelma.pdf. Haettu 6.10.2020

[7] Helsingin geoenergiapotentiaali. Kaupunkiympäristön julkaisuja 2019:25. Verkkojulkaisu. https://www.researchgate.net/publication/339241278_Helsingin_geoenergiapotentiaali. Haettu 6.10.2020

[8] LÄMPÖENERGIAN KAUSIVARASTOINTI ohje-ehdotus. Verkkoaineisto: https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5fIPeDhrH/HHdScr75P/RTS_19_38_Lampoenergian_kausivarastointi.pdf. Haettu 5.10.2020

[9] SULPU. Verkkojulkaisu. Lämpöpumppujen merkitys ja tulevaisuus Haettu: 2.10.2020

[10] Janne Hirvonen, Juha Jokisalo ja Risto Kosonen. Numerical analysis of heat recovery options in old Finnish apartment buildings, BuildSim-Nordic 2020, 13.–14.10.2020, https://www.sintefbok.no/book/index/1264/buildsim-nordic_2020_selected_papers

[11] Heka Oy. Avainlukuja. 2019. Saatavilla: https://www.hekaoy.fi/fi/heka/perustietoa/avainlukuja

[12] Janne Koivuniemi. Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama ja lämpötilakriteerit veden mikrobiologisen laadun kannalta kaukolämmitetyissä asuinrakennuksissa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. 2005

[13] Helen Oy, Helenin ohje hybridikytkennästä asiakkaan kaukolämpölaitteiston rinnalle, https://www.helen.fi/globalassets/lampo/ammattilaiset/kaukolampo/kaukolammon_hybridikytkenta_kaukolampolaitteiston_rinnallepdf

[14] Leo Lindroos. Waste heat utilization and smart energy system of combined ice and swimming halls. Diplomityö. Aalto-yliopisto. 2019. Saatavilla: http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201905122958

[15] Xiaolei Yuan, Leo Lindroos, Juha Jokisalo, Risto Kosonen, Yiqun Pan. Study on waste heat recoveries and energy saving in combined energy system of ice and swimming halls in Finland. Energy and Buildings. Hyväksytty julkaistavaksi 13.11.2020. Saatavilla: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110620

[16] Sonja Salo, Aira Hast, Juha Jokisalo, Risto Kosonen, Sanna Syri, Janne Hirvonen ja Kristian Martin. The Impact of Optimal Demand Response Control and Thermal Energy Storage on a District Heating System. Energies,12, (9). 2019. Saatavilla: https://doi.org/10.3390/en12091678

[17] Nordpool (2017) Elspot Prices_2017_Hourly_EUR.xlsx. Dokumentti [Online]. Saatavilla: https://www.nordpoolgroup.com/historical-market-data/

[18] Sami Vallin. Modelling and optimization study on a high temperature borehole thermal energy storage concept driven by power plant waste heat. Diplomityö. Aalto-yliopisto. 2019. Saatavilla: https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/40792/master_Vallin_Sami_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

[19] TEM. Uusiutuvan energian suuret innovatiiviset demonstraatiohankkeet. Hankekuvaukset 20.12.2019 tuetuista hankkeista: https://tem.fi/documents/1410877/15020328/201219_hankekuvaukset_energian_demolaitokset/c3c0b488-2bb7-5196-c1d5-04951959ede9/201219_hankekuvaukset_energian_demolaitokset.pdf.

[20] Niklas Söderholm, Tuomo Niemelä, Essi Kuikka ja Timo Karvinen. Energiaoptimointiraportti, Virtanen Yhtiöt Raision kauppakeskus. HUKATON-hankkeen raportti. 2020. https://gnf.fi/wp-content/uploads/2020/12/Energiaoptimointiraportti-Raision-kauppakeskus_28082020.pdf

[21] Andreas Lund ja Timo Karvinen. Korvenmäen ekovoimalaitoksen hukkalämmön hyödyntäminen ja varastointi. HUKATON-hankkeen raportti. 2020. https://gnf.fi/wp-content/uploads/2020/12/Korvenm%C3%A4en-ekovoimalaitoksen-hukkal%C3%A4mm%C3%B6n-hy%C3%B6dynt%C3%A4minen-ja-varastointi_Raportti-9.7.2020.pdf

[22] Motiva, Esiselvitys, Ylijäämälämmön potentiaali teollisuudessa, 2019, Motiva Oy, Helsinki, 38 s.

[23] Marita Laukkanen, Energian tuotantoon ja energian käyttöön liittyvät yritystuet, TEM, 2020, 55 s.

[24] https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level. Haettu 2.10.2020.

[25] Energiaviisaat kaupungit (EKAT) -hanke, Energiatehokkuuskumppanuusmalleja kaupunkien palvelukiinteistöihin, Raportti, 2020. http://energiaviisaat.fi/wp-content/uploads/2020/03/EKAT2020-Energiatehokkuuskumppanuusmallit.pdf

gnf
Green Net Finland