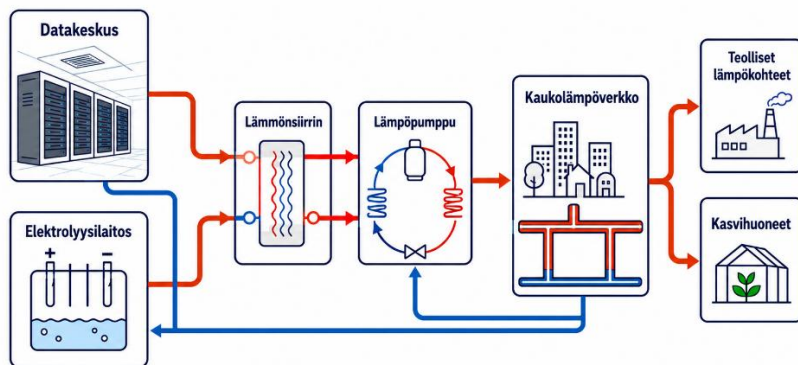




Pohjois-Savon
energia
masterplan -
hanke
1.5.2024 –
7.6.2026

HUKKALÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN

Hukkalämmön hyödyntämisen selvitys Pohjois-Savon
ja Pieksämäen alueelle



Euroopan unionin
osarahoittama



Pohjois-Savon liitto

warkaus
Ihan emmentäinen

NAVITAS
YRITYSPALVELUT
Navitas Kehitys Oy

Sisällys

1 Johdanto.....	3
1.1 Mitä hukkalämpö on ja miksi sitä syntyy	3
1.2 Selvityksen tavoite	4
1.3 Tarkastelualue: Pohjois-Savo ja Pieksämäki	4
1.4 Aineistot, lähteet ja menetelmällinen lähestymistapa.....	5
2 Hukkalämmön hyödyntämisen yleinen kehitys ja tekninen perusta.....	5
2.1 Hukkalämmön lähteet ja lämpötilatasot	5
2.2 Hukkalämmön hyödyntämistavat	6
2.3 Lämmöntalteenotto, lämmönsiirto ja lämpöpumppuratkaisut.....	7
2.4 Kaukolämpöverkot, aluelämpö ja matalalämpöverkot	7
2.5 Hukkalämmön hyödyntäminen teollisissa prosesseissa.....	8
2.6 Hukkalämmön muuntaminen sähköksi.....	8
2.7 Hukkalämpö osana sektori-integraatiota.....	9
2.8 Hankekehityksen, luvituksen ja rakentamisen päävaiheet.....	10
3 Alueellinen lähtötilanne.....	10
3.1 Hukkalämmön hyödyntämisen nykytila Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä ...	10
3.2 Teollisuuden hukkalämpölähteet	11
3.3 Datakeskukset ja ICT-infrastruktura.....	11
3.4 Energiantuotanto, kaukolämpö ja lämpöverkot	11
3.5 Jätevedet, vesihuolto, kylmäjärjestelmät ja kiinteistökohteet	12
3.6 Teolliset lämpökohteet ja mahdollinen kysyntä	12
3.7 Energiainfra, sähköverkko ja lämmönsiirron reunaehdot	12
3.8 Alueidenkäyttö, kaavoitus, ympäristö- ja hyväksyttävyyssreunaehdot.....	13
3.9 Keskeiset alueelliset pullonkaulat ja epävarmuudet	13
4 Hukkalämmön hyödyntämispotentiaali tarkastelualueella	13
4.1 Potentiaalin arviointiperusteet: tekninen ja hyödynnettävissä oleva potentiaali.....	13
4.2 Kaukolämpö, aluelämpö ja teollinen hyödyntäminen.....	14
4.3 Datakeskusten hukkalämmön potentiaali	14

4.4 Hukkalämmön hyödyntäminen sähköksi	15
4.5 Energiatehokkuus, sektori-integraatio ja teknistaloudellinen toteutettavuus	15
4.6 Realistinen potentiaali ja jatkoselvitystarpeet	16
5 Vaikutukset	17
5.1 Vaikutukset alue- ja kuntatalouteen	17
5.2 Työllisyys- ja osaamisvaikutukset	19
5.3 Vaikutukset energiasjärjestelmään, huoltovarmuuteen ja kilpailukykyyn.....	20
5.4 Ympäristö-, ilmasto-, vesistö- ja hyväksyttävyyksvaikutukset.....	21
5.5 Vaikutukset teolliseen uudistumiseen ja kiertotalouden arvoketjuihin	22
6 Riskit ja epävarmuudet	23
7 Johtopäätökset.....	24
7.1 Keskeiset johtopäätökset.....	24
7.2 Realistisimmat kehityssuunnat.....	25
7.3 Alueellisesti kriittisimmät edellytykset.....	26
7.4 Keskeiset riskit ja epävarmuudet	26
7.5 Jatkotoimenpiteet.....	27
Lähdeluettelo.....	28

Taulukko 1. Hukkalämmön keskeiset tekniset käsitteet ja niiden merkitys tarkastelualueella.

Käsite	Selitys	Merkitys Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä
Hukkalämpö / ylijäämälämpö	Prosessissa tai järjestelmässä syntyvä lämpö, jota ei nykyisin hyödynnetä.	Kartoitettava teollisuudesta, energiantuotannosta, kylmäjärjestelmistä, jätevesistä ja mahdollisista datakeskuksista.
Lämpötilataso	Lämpövirran lämpötila suhteessa käyttökohteen tarpeeseen.	Matalalämpöiset lähteet, kuten jätevedet ja datakeskukset, vaativat usein lämpöpumppua.
Lämpöteho	Hetkellinen lämmönsiirron teho, esimerkiksi MW.	Määrittää laitteiden ja putkistojen koon; puuttuu useimmista julkisista alueaineistoista.
Vuotuinen energiamäärä	Vuoden aikana talteen otettava lämpö, esimerkiksi MWh/a tai GWh/a.	Tarvitaan investointien kannattavuuslaskentaan; ei voida arvioida ilman mittauksia.
Ajallinen profiili	Milloin lämpöä syntyy: tasaisesti, kausittain vai jaksoittain.	Datakeskukset voivat olla tasaisia, kylmäprosessit kausittaisia, teollisuus riippuvaista käyttöasteesta.
Vastaanottava lämpökysyntä	Kohde, joka voi käyttää lämpöä oikeassa lämpötilassa ja ajassa.	Kaukolämpö, teollisuus, kuivaamot, kasvihuoneet ja julkiset rakennukset; maksukyky selvitettävä erikseen.
Lämpöpumppaus	Matalalämpöisen lämmön lämpötilan nosto sähköllä.	Keskeinen jätevesi-, datakeskus- ja kylmälaitehukkalämmöissä.
Kaskadikäyttö	Lämmön käyttö useassa lämpötilatasossa peräkkäin.	Sopii teollisuusalueisiin ja datakeskusten ympärille, jos käyttäjiä on useita.
Kaukolämpöverkon vastaanottokyky	Verkon tekninen ja kaupallinen kyky ottaa vastaan ulkopuolista lämpöä.	Edellyttää verkko- ja paluulämpötilatietoja, joita ei kaikilta alueilta ole julkisesti saatavilla.

1 Johdanto

1.1 Mitä hukkalämpö on ja miksi sitä syntyy

Hukkalämmöllä tarkoitetaan lämpöenergiaa, joka syntyy prosessin, laitteen, rakennuksen tai energiantuotannon sivutuotteena eikä nykytilanteessa päädy hyötykäyttöön. Ylijäämälämpöä käytetään usein samassa merkityksessä, mutta käsitteellisesti se korostaa sitä, että lämpö voi olla käyttökelpoinen resurssi, jos sille löytyy teknisesti ja taloudellisesti sopiva vastaanottaja. Sivuvirta puolestaan on laajempi käsite: se voi olla lämpöä, jäähdytysvettä, poistoilmaa, savukaasua, jätevettä, hönkähöyryä, prosessikaasua tai muuta energiaa sisältävää virtaa. Kansallisissa ja teknisissä selvityksissä hukkalämmön lähteiksi tunnistetaan

erityisesti teollisuusprosessit, energiantuotanto, jätevedet, kylmäjärjestelmät, rakennusten jäähdytys ja datakeskukset.

Hukkalämmön hyödyntämiskelpoisuus riippuu neljästä perusasiasta: lämpötilatasosta, lämpö määrästä, jatkuvuudesta ja sijainnista. Matalalämpöinen hukkalämpö, esimerkiksi datakeskusten jäähdytysvesi tai jätevesi, edellyttää usein lämpöpumppausta. Keskilämpöinen hukkalämpö voi soveltua suoraan esilämmitykseen, kuivaukseen tai matalalämpöiseen aluelämpöön. Korkealämpöinen hukkalämpö, kuten savukaasut tai osa teollisuuden prosessilämmöistä, voi soveltua suoraan prosessikäyttöön, kaukolämpöön tai rajatuissa tapauksissa sähköntuotantoon. Alueellisessa tarkastelussa lämpömäärää ei voi päätellä pelkästä toimialasta, vaan se on mitattava kohdekohtaisesti.

1.2 Selvityksen tavoite

Selvityksen tavoitteena on muodostaa käytännöllinen ja kriittinen kokonaiskuva siitä, missä hukkalämpöä voi syntyä Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä, millä edellytyksillä sitä voidaan hyödyntää ja millaisia jatkoselvityksiä investointikelpoisten kohteiden tunnistaminen edellyttää. Tarkastelu palvelee alueellista päätöksentekoa, kuntien ja energiayhtiöiden suunnittelua, yrityskehittämistä, teollisuusalueiden kehittämistä, energiatehokkuuden parantamista, energiaomavaraisuuden vahvistamista sekä teollisten symbioosien tunnistamista.

Keskeinen lähtökohta on erottaa toisistaan tekninen lämpöpotentiaali ja toteutettavissa oleva investointipotentiaali. Hukkalämmön olemassaolo ei yksin riitä hankkeen perustaksi. Tarvitaan tieto lämpövirran lämpötilasta, tehosta, vuotuisesta energiamäärästä, käyttöprofiilista, väliaineesta, sijainnista ja nykyisestä jäähdytysratkaisusta. Lisäksi on selvitettävä vastaanottavan lämpökysynnän ominaisuudet, lämmön siirtomatka, sähköverkon kapasiteetti, lämpöpumppauksen kustannukset sekä kaupallinen sopimusmalli.

1.3 Tarkastelualue: Pohjois-Savo ja Pieksämäki

Tarkastelualue muodostuu Pohjois-Savon maakunnasta ja Pieksämäen kaupungista. Pohjois-Savossa tarkastelu kohdistuu erityisesti Kuopion seutuun, Ylä-Savoon, Varkauden seutuun ja Sisä-Savon kuntiin sekä muihin kuntakeskuksiin, joissa on kaukolämpöverkkoja, teollisuutta, julkisia palvelukeskittymiä tai merkittäviä kylmä- ja jätevesijärjestelmiä. Pieksämäkeä käsitellään erillisenä tarkastelualueen osana, koska se ei kuulu Pohjois-Savoon mutta liittyy energiainfrastruktuurin ja Savon alueen lämpömarkkinoiden näkökulmasta samaan käytännölliseen tarkasteluun.

Pohjois-Savosta on käytettävissä selvästi enemmän aluekohtaista aineistoa kuin Pieksämäestä. Pohjois-Savon teollisuutta, kaukolämpöverkkoja ja yksittäisiä hukkalämpöesimerkkejä koskevaa julkista tietoa on saatavilla. Pieksämäen osalta saatavilla oleva julkinen tieto kattaa erityisesti lämpölaite- ja sähköverkkovastuut. Tarkkoja Pieksämäen hukkalämpövirtoja, lämpökysyntää, kaukolämpöverkon vastaanottokykyä tai teollisia lämpöprofiileja ei julkisista lähteistä voitu varmistaa.

1.4 Aineistot, lähteet ja menetelmällinen lähestymistapa

Tarkastelu perustuu alueellisiin lähteisiin, energiayhtiöiden julkisiin tietoihin, teknologiaselvityksiin, valtakunnallisiin tilasto- ja sääntelylähteisiin sekä tutkimus- ja asiantuntija-aineistoihin. Pohjois-Savon teollisuuden toimialarakennetta koskevana lähteenä käytetään Kuopion kaupungin julkaisemaa teollisuuskatsausta, jossa todetaan, että Pohjois-Savossa teollisuustoiminta on laajaa ja painottuu erityisesti kone-, sähkö- ja metalliteollisuuteen, metsäteollisuuteen sekä elintarviketeollisuuteen.

Energiainfrastruktuurin osalta hyödynnetään Kuopion Energian, Savon Voiman, Pieksämäen kaupungin ja Energiateollisuuden julkisia aineistoja. Datakeskuksia koskevat tiedot perustuvat Kuopion, Iisalmen ja Varkauden julkaisemiin tietoihin sekä datakeskusten hukkalämmön hyödyntämistä koskeviin kansallisiin ja alueellisiin lähteisiin.

Alueen kokonaishukkalämpöpotentiaalista ei tehdä määrällistä arviota, koska käytettävissä ei ole kattavaa, mitattua ja kuntakohtaista aineistoa lämpövirtojen tehoista, lämpötiloista, käyttöprofiileista ja vastaanottavasta kysynnästä. Määrällisiä lukuja käytetään vain silloin, kun ne ovat suoraan lähteistä varmennettavissa. Alueelliset johtopäätökset ovat siksi toteutettavuuden reunaehtoihin perustuvia arvioita, eivät investointipäätöksiä korvaavia laskelmia.

2 Hukkalämmön hyödyntämisen yleinen kehitys ja tekninen perusta

2.1 Hukkalämmön lähteet ja lämpötilatasot

Hukkalämpöä syntyy Pohjois-Savon ja Pieksämäen kaltaisella alueella useista lähteistä. Teollisuuden prosesseissa lämpöä voi syntyä kuivauksessa, höyryjärjestelmissä, savukaasuissa, paineilmajärjestelmissä, pesuissa, jäähdytyksessä, kylmäprosesseissa ja tuotteiden jäähtymisessä. Energiantuotannossa hukkalämpöä voi liittyä savukaasuihin, lauhdutukseen, prosessivesiin ja apujärjestelmiin. Datakeskuksissa lähes kaikki sähkö muuttuu lämmöksi, mutta lämpö on usein matalalämpöistä, erityisesti ilmajäähdytteisissä kohteissa. Datakeskusten hukkalämmön yleiseksi lämpötilatasoksi on kuvattu noin 25–45 °C, ja kaukolämpökäyttö edellyttää yleensä lämpöpumppausta.

Jäähdytys- ja kylmäjärjestelmät ovat alueellisesti kiinnostavia erityisesti elintarvike- ja pakastustoiminnassa. Suonenjoen Pakkasmarjan tapauksessa kylmälaitteiden hukkalämpöä hyödynnetään Savon Voiman kaukolämpöverkossa, mikä osoittaa, että kylmäjärjestelmien lauhdelämpö voi olla käytännössä hyödynnettävä lämpölähde silloin, kun lämpötila, kiinteistön oma käyttö ja kaukolämpöverkon liityntä sopivat yhteen. Jätevesissä lämpötila on matala mutta virtaama voi olla tasainen. Lapinlahden Suoniemen jätevedenpuhdistamolle suunniteltu lämpöpumppuratkaisu on Pohjois-Savon kannalta tärkeä esimerkki siitä, miten jätevesilämpö voidaan muuttaa kaukolämmöksi.

Biokaasu-, vety- ja Power-to-X-prosesseissa syntyvät sivulämmöt voivat tulevaisuudessa olla merkittäviä, mutta tarkastelualueella niiden aluekohtaista toteutuvaa lämpöpotentiaalia ei voida arvioida ilman hankekohtaista aineistoa. Vety- ja datakeskushankkeiden ylijäämlämpöä koskevat asiantuntijaselvitykset korostavat, että suurten paljon sähköä

kuluttavien laitosten ylijäämälämpö täytyy huomioida varhain sijoittumisen, kaavoituksen, jäähdytyksen ja lämmönkäyttökohteiden suunnittelussa.

2.2 Hukkalämmön hyödyntämistavat

Hukkalämmön ensisijainen hyödyntämistapa ei yleensä ole sähköntuotanto, vaan lämmön hyödyntäminen mahdollisimman lähellä sen syntypaikkaa ja alkuperäistä lämpötilatasoa. Yleinen periaate on, että mitä vähemmän lämpöä tarvitsee siirtää, varastoida tai jalostaa, sitä parempi on kokonaisenergiatehokkuus ja taloudellinen kannattavuus. Tämä hyödyntämisjärjestys on esitetty myös useissa hukkalämpöä koskevissa teknologiaselvityksissä.

Ensimmäinen tarkasteltava vaihtoehto on hukkalämmön synnyn vähentäminen ja prosessin energiatehokkuuden parantaminen. Jos lämpöä kuitenkin syntyy, seuraava vaihtoehto on sen hyödyntäminen samassa prosessissa esimerkiksi pesuveden, raaka-aineiden, palamisilman tai tilojen esilämmityksessä.

Mikäli prosessin sisäinen hyödyntäminen ei ole mahdollista, tarkastellaan lämmön käyttöä muissa teollisissa prosesseissa, kaukolämpö- tai aluelämpöverkossa tai muissa lähialueen lämmityskohteissa. Tarvittaessa matalalämpöistä hukkalämpöä voidaan korottaa lämpöpumpulla käyttökohteen vaatimalle lämpötilatasolle tai hyödyntämistä voidaan tasata lämpövaraston avulla. Lisäksi lämpö voidaan käyttää kaskadiperiaatteella, jossa sama lämpövirta hyödynnetään vaihteittain useissa käyttökohteissa korkeasta lämpötilasta matalampiin käyttökohteisiin. Tällöin lämpö voidaan hyödyntää esimerkiksi ensin teollisuusprosessissa, sen jälkeen käyttöveden tai prosessiveden esilämmityksessä ja lopuksi rakennusten tai matalalämpöisen kauko- tai aluelämpöverkon lämmityksessä.

Vasta silloin, kun lämpöä ei voida hyödyntää tarkoituksenmukaisesti lämpönä, voidaan arvioida sähköntuotantoa esimerkiksi ORC-prosessilla. Käytännössä tämä edellyttää yleensä riittävän korkeaa lämpötilatasoa, jatkuvaa lämpövirtaa ja sopivaa käyttökohdetta, minkä vuoksi sähköntuotanto on useimmissa tapauksissa lämpökäyttöä täydentävä erityisratkaisu eikä ensisijainen hyödyntämistapa.

Pohjois-Savossa tämä tarkastelujärjestys on perusteltu, koska alueella on sekä merkittäviä teollisia lämmönlähteitä että useita kaukolämpöverkkoja, jotka mahdollistavat hukkalämmön hyödyntämisen. Pieksämäen osalta vastaava arvio voidaan tehdä vain varauksella, sillä julkisesti saatavilla oleva tieto teollisuuden lämpövirroista ja lämmön kysynnästä on vielä rajallista. Tyypilliset hukkalämmön lähteet, niiden lämpötilatasot, mahdolliset hyödyntämistavat sekä keskeiset alueelliset rajoitteet on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2. Hukkalämmön lähteet, tyypilliset lämpötilatasot, hyödyntämistavat ja rajoitteet

Lähde	Tyypillinen lämpötilataso	Mahdollinen hyödyntäminen	Keskeinen rajoite tarkastelualueella
Teollisuuden prosessit	Matala–korkea	Prosessin sisäinen käyttö, kuivaus, esilämmitys, kaukolämpö	Yrityskohtainen mittaustieto puuttuu.
Energiantuotanto ja savukaasut	Keski–korkea	Savukaasupesurit, esilämmitys, kaukolämpö, rajattu sähköntuotanto	Nykyiset talteenottoratkaisut ja lisäpotentiaali selvitettävä laitoksittain.

Datakeskukset	Usein matala	Lämpöpumppu + kaukolämpö, teollinen matalalämpökäyttö, kasvihuoneet, kuivaus	Hankkeet ovat osin suunnitteluvaiheessa; kesäkuorma ja sijainti ratkaisevat.
Kylmä- ja pakastusjärjestelmät	Matala–keski	Kiinteistön oma käyttö, käyttövesi, kaukolämpö	Kausivaihtelu ja lauhdelämmön lämpötilataso.
Jätevedet	Matala	Lämpöpumppu + kaukolämpö tai aluelämpö	Puhdistamon virtaama, sijainti ja lämpöpumpun sähkönkulutus.
Kauppa ja palvelukiinteistöt	Matala	Kiinteistön sisäinen käyttö, kaksisuuntainen kaukolämpö	Pieni kohdekoko ja sopimusmallit.
Biokaasu, vety ja Power-to-X	Matala–keski, joskus korkea	Prosessien esilämmitys, kaukolämpö, teolliset symbioosit	Toteutuvat kohteet ja lämpöprofiilit epävarmoja.
Julkiset rakennukset, uimahallit, sairaalat	Matala–keski	Lämmöntalteenotto, lämpöpumput, aluelämpö	Kohdekohtaiset energiakatselmukset puuttuvat.

2.3 Lämmöntalteenotto, lämmönsiirto ja lämpöpumppuratkaisut

Hukkalämmön talteenotto edellyttää yleensä lämmönvaihtimia, putkistoja, pumppuja, ohjausjärjestelmiä ja usein myös lämpöpumppua. Lämmönvaihdin siirtää lämpöä kahden erillisen väliaineen välillä niitä sekoittamatta, ja putkisto kuljettaa lämpöenergian syntypaikasta käyttökohteeseen. Koska suuri osa hukkalämmöstä on matalalämpöistä, sen hyödyntäminen edellyttää usein lämpötilan nostamista lämpöpumpulla käyttökohteen vaatimaan tasoon. Lämpöpumpun kannattavuuteen vaikuttavat erityisesti tarvittavan lämpötilan korotuksen suuruus, lämpökerroin (COP), sähkön hinta, vuosittaiset käyttötunnit sekä korvattavan lämmöntuotannon kustannus.

Pohjois-Savon ja Pieksämäen olosuhteissa lämpöpumput ovat keskeinen ratkaisu erityisesti jätevesien, datakeskusten, kylmäjärjestelmien ja suurten kiinteistöjen matalalämpöisen hukkalämmön hyödyntämisessä.

2.4 Kaukolämpöverkot, aluelämpö ja matalalämpöverkot

Kaukolämpöverkko voi olla tehokas vastaanottaja hukkalämmölle, jos lämpölähde sijaitsee lähellä verkkoa, lämpötilataso sopii verkon tarpeisiin, paluulämpötila mahdollistaa tehokkaan syötön ja kysyntää on riittävästi myös kesällä. Kuopion Energian kaukolämpöverkko on yli 500 kilometriä pitkä ja kattaa valtaosan Kuopion keskustasta ulottuen etelässä Hiltulanlahteen ja pohjoisessa Sorsasaloon. Savon Voima vastaa Itä-Suomessa yhteensä 21 kaukolämpöverkostosta ja tuottaa sähköä ja lämpöä yhteistuotantolaitoksilla Joensuussa, Iisalmissa ja Pieksämäellä.

Kaukolämpöverkon olemassaolo ei kuitenkaan tarkoita, että kaikki hukkalämpö voidaan syöttää verkkoon. Verkon lämpötilataso, kesäajan minimikuorma, paluulämpötila, varalämpö, liityntäpaikan sijainti, putkiston mitoitus ja lämmön hinnoittelumalli ratkaisevat toteutettavuuden. Datakeskusten osalta Savonia-ammattikorkeakoulun alueellisessa artikkelissa korostetaan, että yksi suuri datakeskus voi tuottaa enemmän lämpöä kuin

pienet kaupungit tai kunnat pystyvät kaukolämpönä käyttämään, ja kesäajan kaukolämmön tarve on pieni. Tämä huomio on erityisen tärkeä Kuopion, Iisalmen ja Varkauden suunniteltujen datakeskusten arvioinnissa.

2.5 Hukkalämmön hyödyntäminen teollisissa prosesseissa

Teollinen käyttökohde voi olla kaukolämpöä perustellumpi, jos hukkalämmön lämpötilataso, jatkuvuus ja sijainti sopivat suoraan prosessin tarpeeseen. Käyttökohteita voivat olla kuivaukset, pesut, käyttöveden esilämmitys, ilmanvaihdon esilämmitys, raaka-aineiden esilämmitys, tilalämmitys, varastojen lämmitys, kasvihuoneet ja elintarvikeprosessit. Pohjois-Savon teollisuusrakenteessa on tällaisia mahdollisia kytkentäpintoja etenkin metsäteollisuudessa, sahauksessa, elintarvikkeissa, kone- ja metalliteollisuudessa sekä energiatuotteiden valmistuksessa. Kuopion teollisuuskatsaus tunnistaa metsäteollisuuden, sahatavaran, sellu- ja pakkaustuotteet sekä energiantuotantoon liittyvän valmistuksen laajoina alueellisina kokonaisuuksina.

Tarkkoja yrityskohtaisia lämpömääriä tai vastaanottavan prosessilämmön profiileja ei ole käytettävissä. Siksi teollista potentiaalia voidaan pitää laadullisesti kiinnostavana, mutta ei määrällisesti todennettuna.

2.6 Hukkalämmön muuntaminen sähköksi

Hukkalämmön muuntaminen sähköksi on teknisesti mahdollista, mutta useimmissa tapauksissa se on lämmön hyödyntämistä täydentävä ratkaisu. Ensisijaisesti hukkalämpö pyritään hyödyntämään lämpönä, koska matala- ja keskilämpöisen hukkalämmön muuttaminen sähköksi on yleensä hyötysuhteeltaan vaatimattomampaa ja taloudellisesti haastavampaa. Käytettävissä olevat teknologiat eroavat toisistaan merkittävästi kaupallisen kypsyyden, soveltuvuuden, investointitarpeen ja käyttökohteiden osalta (taulukko 3).

ORC (Organic Rankine Cycle) on kaupallisesti kypsä vaihtoehto matala- ja keskilämpöisen hukkalämmön sähköntuotantoon, mutta sen hyötysuhde jää matalissa lämpötiloissa usein rajalliseksi. Kalina-kierto voi soveltua teollisiin erityiskohteisiin, joissa lämpötila on korkeampi ja ammoniakki-vesiseoksen käyttöön liittyvät turvallisuus- ja käyttövaatimukset voidaan hallita. Termosähköiset generaattorit (TEG) ja muut solid-state-ratkaisut ovat rakenteeltaan yksinkertaisia ja lähes huoltovapaita, mutta niiden sähköntuotto on yleensä pieni suhteessa käytettävissä olevaan lämpöenergiaan. Superkriittiseen hiilidioksidiin (sCO_2) perustuvat kierrot ovat lupaavia erityisesti korkeamman lämpötilan sovelluksissa, mutta edellyttävät korkeita paineita, merkittäviä investointeja ja teknistä erityisosaamista. Stirling-moottori on tässä tarkastelussa rajattu kehittyväksi tai täydentäväksi vaihtoehdoksi, sillä nykyisen tutkimus- ja opinnäytetyöaineiston perusteella se ei vielä sovellu hukkalämmön laajamittaiseen kaupalliseen hyödyntämiseen yleisratkaisuna, vaikka teknologista kehityspotentiaalia on. (Taulukko 3.)

Hukkalämmön muuntaminen sähköksi voi olla perusteltua erityisesti silloin, kun tuotettu sähkö voidaan hyödyntää suoraan kohteen omassa prosessissa esimerkiksi jäähdytyksen, pumppauksen, automaation tai palvelininfrastruktuurin sähkönkulutuksen kattamiseen. Tällöin taloudellinen hyöty muodostuu ensisijaisesti vältetystä ostosähköstä sekä mahdollisista siirto- ja tehomaksujen säästöistä eikä pelkästään sähkön markkinahinnasta. Myös tällaisissa tapauksissa sähköntuotantoa tulee kuitenkin verrata vaihtoehtoihin lämmön

hyödyntämistapoihin, sillä erityisesti matalalämpöisen hukkalämmön käyttö lämpönä tai lämpöpumpun avulla on usein energiatehokkaampi ratkaisu.

Pohjois-Savon ja Pieksämäen näkökulmasta hukkalämmön sähköntuotanto voi tulla kyseeseen vain kohteissa, joissa lämpötilataso on riittävän korkea, lämpöä syntyy suuria määriä tasaisesti ympäri vuoden, sähkön arvo on korkea suhteessa investointi- ja käyttökustannuksiin eikä lämmölle ole tarkoituksenmukaisempaa paikallista käyttökohdetta. Datakeskusten, jätevesien ja muiden matalalämpöisten hukkalämpölähteiden osalta ensisijainen ratkaisu on yleensä lämmön hyödyntäminen sellaisenaan tai lämpöpumpun avulla, ellei kohdekohtainen teknistaloudellinen tarkastelu osoita sähköntuotantoa perustellummaksi vaihtoehdoksi.

Taulukko 3. Hukkalämmön hyödyntämisteknologioiden vertailu.

Teknologia	Kypsyys	Soveltuvuus alueelle	Edellytykset	Varaukset
Lämmön-vaihdin	Kypsä	Ensisijainen ratkaisu, jos lämpötilataso riittää.	Lähellä oleva käyttökohde ja puhdas tai erotettavissa oleva väliaine.	Ei nosta lämpötilaa.
Lämpöpumppu	Kypsä	Erittäin keskeinen jätevesissä, datakeskuksissa ja kylmäjärjestelmissä.	Sähköliittymä, riittävä COP, korkeat käyttötunnit.	Herkkä sähkön hinnalle ja lämpötilan nostolle.
Lämpövarasto	Kypsä tai kohdekohtainen	Hyödyllinen kausivaihtelun ja sähkön hinnan hallintaan.	Tilavaraus, varastointitarve, ohjaus.	Lisää investointia.
ORC	Kaupallinen tietyissä kohteissa	Mahdollinen vain riittävän lämpimissä ja tasaisissa virroissa.	Korkea käyttöaika ja riittävä lämpötila.	Ei ensisijainen matalalämmölle.
Kalina	Erikoistapaus	Mahdollinen vain teollisissa erityiskohteissa.	Osaaminen, turvallisuus, suuri lämpövirta.	Ammoniakki ja monimutkaisuus.
TEG / solid-state	Kehittyvä / rajattu	Pienet ja hajautetut erikoiskohteet.	Lämpötilaero ja huoltovapauden arvo.	Pieni sähköntuotto.
SCO₂	Kehittyvä	Tulevaisuuden teollinen erikoisratkaisu.	Korkeampi lämpötila, korkeapaineosaaminen.	Investointi- ja teknologiariski.
Stirling	Kehittyvä / rajattu	Ei perusratkaisu alueellisessa hukkalämpöhyödyntämisessä.	Erikoiskohde ja pilotoitiperuste.	Kaupallinen soveltuvuus hukkalämpöön epävarma.

2.7 Hukkalämpö osana sektori-integraatiota

Hukkalämpö yhdistää sähköjärjestelmän, lämpöjärjestelmän, teollisuuden sähköistymisen, datakeskukset, vedyntuotannon, biokaasun, Power-to-X-prosessit, jäädytyksen ja lämpövarastot. Lämpöpumppu muuttaa matalalämpöisen hukkalämmön käyttökelpoiseksi lämmöksi mutta lisää sähkönkulutusta. Lämpövarasto voi tasata tuotannon ja kysynnän eriaikaisuutta. Datakeskus voi toimia sähköintensiivisenä kuormana, hukkalämmön lähteenä ja mahdollisena kulutusjoustoressurssina, mutta tämä edellyttää sähköverkon, kaukolämmön ja kaupallisten sopimusten yhteistarkastelua.

Valtioneuvoston datakeskuksia koskevassa tiedotteessa korostetaan, että datakeskusten voimakas kasvu voi vaikuttaa sähkön hintoihin erityisesti niukkuustilanteissa, minkä vuoksi datakeskusten osallistuminen sähköjärjestelmän joustoihin on tärkeää.

2.8 Hankekehityksen, luvituksen ja rakentamisen päävaiheet

Hukkalämpöhankkeen kehitys alkaa lämpövirtojen kartoituksesta ja mittauksesta. Seuraavaksi tunnistetaan vastaanottava kysyntä, laaditaan tekninen konsepti, arvioidaan lämpöpumppaus, putkistot, sähköliittymät, tontti- ja tilatarpeet sekä liittyminen kaukolämpöön, aluelämpöön tai teolliseen prosessiin. Tämän jälkeen määritellään liiketoimintamalli, lämmön hinnoittelu, investoinnin omistus, käyttövastuut, varalämpö, käyttövarmuus ja sopimusrakenne.

Luvitus- ja rakentamisvaiheessa tarkastellaan kaavoitusta, maankäyttöä, ympäristövaikutuksia, melua, kylmäaineita, kemikaaleja, ammoniakkia Kalina-ratkaisuissa, korkeapainejärjestelmiä sCO₂-ratkaisuihin, vesistövaikutuksia, putkilinjojen sijoittumista ja paikallista hyväksyttävyyttä. Datakeskuksissa yli 1 MW:n kokonaistehoa koskee hukkalämmön hyödyntämisvelvoite tai kustannus-hyötyanalyysin tarve, jos lämpöä ei hyödynnetä.

3 Alueellinen lähtötilanne

3.1 Hukkalämmön hyödyntämisen nykytila Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä

Pohjois-Savossa on jo toteutuneita tai julkisesti tiedossa olevia hukkalämmön hyödyntämiskohteita. Suonenjoen Pakkasmarjan kylmälaitteiden hukkalämpöä hyödynnetään Savon Voiman kaukolämpöverkossa. Lapinlahdella Savon Voima ja Lapinlahden Vesi ovat julkistaneet jätevedenpuhdistamon hukkalämpöä hyödyntävän lämpöpumppuratkaisun, jonka tavoitteena on tuottaa jopa 70 prosenttia Lapinlahden kaukolämmöstä jäteveden hukkalämmöllä. Näitä voidaan pitää vahvimpina lähdepohjaisina alueellisina esimerkkeinä.

Suunnitteilla olevien datakeskusten osalta tilanne on merkittävä mutta epävarma. Kuopion Mustakorven alueelle suunnitellaan datakeskusta, jonka alustava kokonaiskapasiteetti voi olla noin 250 MW, mutta kyse on suunnitteluvarauksesta ja edellytysten selvittämisestä, ei toteutuneesta laitoksesta. Lisäalassa Helios Nordic Energy Finland Oy suunnittelee datakeskusta Tervämäen alueelle ja on tehnyt kaavoitusaloitteen; kaavoituksen ja YVA-menettelyn yhteydessä arvioidaan alueen soveltuvuus. Varkaudessa on julkistettu datakeskusinvestointi, jonka suunniteltu kapasiteetti on 100 MW ja ensimmäinen vaihe 60 MW, mutta tämänkin osalta hukkalämmön hyödyntäminen edellyttää erillistä teknistä ja kaupallista tarkastelua.

Pieksämäen nykytilasta on saatavilla lähinnä energiainfrastruktuuria koskevaa tietoa, ei kattavaa hukkalämpöinventointia. Pieksämäellä on Savon Voiman yhteistuotantolaitos, mutta laitoksen hukkalämpövirtoja tai niiden lisähyödyntämismahdollisuuksia ei voitu julkisista lähteistä varmistaa.

3.2 Teollisuuden hukkalämpölähteet

Pohjois-Savon teollisuuden vahvoja toimialoja ovat kone-, sähkö- ja metalliteollisuus, metsäteollisuus sekä elintarviketeollisuus. Lisäksi alueella on kaivos- ja kaivannaisteollisuutta, kemianteollisuutta, lääketeollisuutta, rakennustuoteteollisuutta sekä vaate- ja tekstiiliteollisuutta. Hukkalämmön kannalta kiinnostavia toimialoja ovat erityisesti kuivausta, höyryä, kylmää, jäähdytystä tai savukaasulämpöä käyttävät prosessit.

Metsäteollisuudessa ja sahauksessa lämpöä voi liittyä kuivaukseen ja savukaasuihin. Elintarvike- ja pakastustoiminnassa lämpöä syntyy kylmäjärjestelmien lauhdutuksessa. Kone- ja metalliteollisuudessa mahdollisia lähteitä ovat esimerkiksi maalaamot, pesut, kompressorit, hitsaus- ja lämpökäsittelyprosessit sekä tilojen ilmanvaihto.

Yrityskohtaisia lämpömääriä, lämpötiloja ja käyttöprofiileja ei voi päätellä toimialasta. Siksi seuraava vaihe on suurimpien teollisuusalueiden ja laitosten mittauserusteinen inventaario. Pieksämäen osalta teollinen hukkalämpölähdeaineisto on niukkaa, eikä yrityskohtaisia johtopäätöksiä pidä tehdä ilman lisäselvitystä.

3.3 Datakeskukset ja ICT-infrastrukturi

Datakeskusten hukkalämmön vahvuus on jatkuvuus: palvelinkuorma tuottaa lämpöä tasaisesti, mikä voi parantaa lämmön talteenoton käyttöastetta. Heikkous on matala lämpötilataso, joka vaatii usein lämpöpumpun. Datakeskuksen sijainti suhteessa kaukolämpöverkkoon, teolliseen lämpökysyntään, kasvihuoneisiin, kuivaamoihin tai muihin lämpökohteisiin on ratkaiseva. Datakeskuksen hukkalämpöä ei pidä arvioida pelkkänä tuotantotehona, vaan suhteessa siihen, kuinka paljon lämpöä pystytään käyttämään eri vuodenaikoina.

Kuopion, Iisalmen ja Varkauden datakeskushankkeet voivat toteutuessaan muuttaa alueellista hukkalämpökokonaisuutta. Tässä selvityksessä niitä käsitellään suunnitteilla olevina tai kehitteillä olevina kohteina, ei toteutuneina lämpölähteinä. Kuopion Hepomäen suunnitteluvaramuksen yhteydessä on esitetty, että datakeskuksen hukkalämpöä voitaisiin hyödyntää Kuopion kaukolämpöverkossa, mutta tämä on hankekehitysvaiheen arvio, ei vahvistettu toteutus.

3.4 Energiantuotanto, kaukolämpö ja lämpöverkot

Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä kaukolämpöverkot ovat keskeisiä hukkalämmön vastaanottajia. Kuopiossa suuri kaukolämpöverkko antaa periaatteessa paremmat edellytykset useiden lämpölähteiden vastaanottamiseen kuin pienissä verkoissa, mutta myös Kuopiossa verkon lämpötilat, paluulämpötila, liityntäpaikat ja kausivaihtelu on tarkasteltava kohdekohtaisesti. Savon Voiman 21 kaukolämpöverkkoa ja yhteistuotanto Iisalmissa ja Pieksämäellä osoittavat, että alueella on useita lämpöjärjestelmän solmukohtia.

Pieksämäellä lämpölaitosvastuut ovat selvästi tiedossa, mutta kaukolämpöverkon pituutta, lämpötilatasoja, paluulämpötiloja, kesäkuormaa ja hukkalämmön vastaanottokapasiteettia ei voitu varmistaa julkisista lähteistä.

3.5 Jätevedet, vesihuolto, kylmäjärjestelmät ja kiinteistökohteet

Jätevedenpuhdistamot ovat kiinnostavia matalalämpöisiä hukkalämmön lähteitä, koska jätevesivirta voi olla suhteellisen tasainen. Lapinlahden hanke osoittaa, että jätevesilämpö voi olla kaukolämpöjärjestelmässä merkittävä lähde, jos puhdistamo, lämpöpumppu ja kaukolämpöverkko ovat lähellä toisiaan. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että sama ratkaisu on suoraan siirrettävissä kaikkiin kuntiin. Puhdistamon virtaama, lämpötila, puhdistamon prosessirajat, purkuvesistön tila, putkistomatka, lämpöpumpun sähköliittymä ja kaukolämmön kuorma on selvitettävä.

Kylmäjärjestelmien osalta kaupan, elintarviketeollisuuden, pakastamojen, jäähallien ja suurten palvelukiinteistöjen lauhdelämpö on käytännöllinen kohderyhmä. Pakkasmarjan tapaus vahvistaa tämän Pohjois-Savossa. Sairaaloiden, uimahallien ja suurten kiinteistöjen osalta tarkkoja aluekohtaisia lämpömääriä ei ole tässä aineistossa.

3.6 Teolliset lämpökohteet ja mahdollinen kysyntä

Mahdollisia lämmön vastaanottajia ovat teolliset prosessit, kuivaamot, kasvihuoneet, elintarviketehokset, pesulat, tilalämmitys, kaukolämpö, aluelämpö, julkiset rakennukset ja energiayhteisöt. Teknisesti mahdollinen käyttökohde ei vielä ole maksukykyinen kysyntä. Maksukyky syntyy vain, jos hukkalämpö korvaa kalliimpaa tai päästöintensivisempää lämpöä, lisää käyttövarmuutta, parantaa prosessin energiatehokkuutta tai tuottaa liiketoiminnallista lisäarvoa.

Datakeskusten hukkalämmölle on tunnistettu kaukolämmön lisäksi mahdollisia käyttökohdeita kuten kasvihuoneviljely, biomassojen kuivaus, biokaasuprosessit, vesiviljely ja teolliset prosessit. Savonia-ammattikorkeakoulun artikkeli korostaa, että erityisesti suurten datakeskusten kohdalla on etsittävä myös kaukolämmön ulkopuolisia käyttökohdeita, koska kaukolämmön kysyntä voi olla liian pieni tai väärään aikaan.

3.7 Energiainfra, sähköverkko ja lämmönsiirron reunaehdot

Lämpöpumput, sähkökattilat, pumput, ohjausjärjestelmät ja mahdollinen hukkalämmön sähköntuotanto edellyttävät sähköliittymäkapasiteettia. Savon Voima Verkko vastaa yli 121 000 kotitalouden ja yrityksen sähköverkkopalveluista Pohjois-Savon sekä osin Etelä-Savon ja Keski-Suomen alueella, ja verkkoa on noin 28 300 kilometriä. Tämä osoittaa alueellisen sähköverkkotoimijan merkityksen, mutta ei kerro yksittäisen hukkalämpökohteen liityntäkapasiteettia.

Lämmönsiirron kannattavuus heikkenee etäisyyden kasvaessa. Putkiston kustannukset, lämpöhäviöt, virtaama, lämpötilaero ja pumppaus vaikuttavat ratkaisevasti toteutettavuuteen. Pohjois-Savossa pitkät etäisyydet teollisuusalueiden, kuntakeskusten ja mahdollisten uusien datakeskusten välillä voivat muodostua keskeiseksi pullonkaulaksi. Pieksämäellä vastaava arvio edellyttää paikallista karttatarkastelua.

3.8 Alueidenkäyttö, kaavoitus, ympäristö- ja hyväksyttävyyssreunaehdot

Hukkalämpöhankkeet voivat edellyttää lämpöpumppulaitoksia, siirtoputkistoja, energiakeskuksia, varastoja, sähköliittymiä ja rakennus- tai ympäristölupia. Datakeskuksissa kaavoitus, sähkönsiirto, jäähdytysratkaisut, melu, hulevedet, varavoima, turvallisuus ja hukkalämmön hyödyntäminen kytkeytyvät samaan kokonaisuuteen. Lisämissä Tervämäen datakeskuksen soveltuvuutta arvioidaan kaavoituksen ja YVA-menettelyn yhteydessä. Kuopion Mustakorvessa asemakaavoituksen on tarkoitus käynnistyä vuoden 2026 kaavoitusohjelmassa.

Paikallinen hyväksyttävyys edellyttää, että hyödyt ja haitat jakautuvat ymmärrettävästi. Hukkalämmön hyödyntäminen voi vähentää polttoon perustuvaa lämmöntuotantoa ja vesistöjen lämpökuormaa, mutta se voi myös lisätä rakentamista, putkilinjoja, sähkönkulutusta, melua tai liikennettä.

3.9 Keskeiset alueelliset pullonkaulat ja epävarmuudet

Keskeiset pullonkaulat ovat mitatun lämpövirtatiedon puute, lämpötilatasojen mataluus, kausivaihtelu, lämpölähteiden ja lämpökohteiden etäisyydet, putkistokustannukset, sähköverkon liityntäkapasiteetin epävarmuus, kaukolämpöverkkojen vastaanottokyky, sopimusmallien puute, investointiriskit, datakeskushankkeiden toteutumisen epävarmuus ja puutteellinen aluekohtainen aineisto. Pohjois-Savossa yksittäiset toteutuneet esimerkit osoittavat, että hukkalämmön hyödyntäminen on mahdollista, mutta ne eivät vielä muodosta kattavaa alueellista potentiaalilaskelmaa.

4 Hukkalämmön hyödyntämispotentiaali tarkastelualueella

4.1 Potentiaalin arviointiperusteet: tekninen ja hyödynnettävissä oleva potentiaali

Hukkalämmön tekninen potentiaali on suurin siellä, missä lämpöä syntyy paljon, tasaisesti ja riittävän korkeassa lämpötilassa lähellä mahdollista käyttöpaikkaa. Pohjois-Savossa tällaisia kohderyhmiä ovat todennäköisimmin teollisuuden prosessit, kylmä- ja pakastusjärjestelmät, jätevedenpuhdistamot, energiantuotannon sivulämmöt ja tulevat suuret datakeskukset. Tässä yhteydessä sana "todennäköisimmin" tarkoittaa toimialaperusteista laadullista arviota, ei mitattua energiapotentiaalia.

Hyödynnettävissä oleva potentiaali on aina teknistä potentiaalia pienempi. Se edellyttää vastaanottavaa lämpökysyntää, sopivaa lämpötilatasoa, riittävää käyttöaika, lyhyttä siirtomatkaa, investointikelpoista putkistoa, lämpöpumppauksen kannattavuutta, sähköliittymää sekä sopimusta lämmön tuottajan ja ostajan välillä. Kaukolämpöverkko on tärkeä mahdollinen vastaanottaja, mutta se ei yksin ratkaise kesäajan lämpöylijäämää eikä automaattisesti mahdollista matalalämpöisen lämmön vastaanottoa.

Alueellisesti tarkoituksenmukainen etenemistapa on tunnistaa ensin kohteet, joissa hukkalämpö voidaan hyödyntää omassa prosessissa tai samalla teollisuusalueella. Seuraavaksi voidaan tarkastella lyhyitä kaukolämpö- tai aluelämpöliityntöjä. Pitkät siirtolinjat edellyttävät suurta ja vakaata lämpö määrää, jotta investointi voi olla teknistaloudellisesti perusteltu.

Pieksämäen teknistä ja hyödynnettävissä olevaa potentiaalia ei voi arvioida luotettavasti ilman paikallista hukkalämpöinventaaria. Savon Voiman lämpölaitosvastuu ja yhteistuotanto osoittavat energiainfrastruktuurin olemassaolon, mutta eivät vielä osoita hukkalämmön lisähyödyntämis potentiaalia tai verkon vastaanottokykyä.

4.2 Kaukolämpö, aluelämpö ja teollinen hyödyntäminen

Kaukolämpöön kytkeytyvä potentiaali on suurimmillaan Kuopion kaltaisessa suuremmassa verkossa ja Savon Voiman verkkoalueilla, joissa on jo kokemusta hukkalämmön hyödyntämisestä. Kuopion verkon laajuus voi helpottaa useiden lämpölähteiden tarkastelua, mutta käytännön toteutettavuuden ratkaisevat liityntäpisteet, verkon hydraulinen toiminta, lämpötilatasot ja kysynnän kausivaihtelu. Lapinlahden ja Suonenjoen esimerkit osoittavat, että myös pienemmissä verkoissa hukkalämmön rooli voi olla merkittävä, jos lämpölähde sijaitsee lähellä verkkoa ja lämpöprofiili sopii kulutukseen.

Teollinen hyödyntäminen on lupaava kehityssuunta silloin, kun lämpövirta ja käyttökohde sijaitsevat samalla alueella. Pohjois-Savon teollisuusrakenne tukee tällaisten kohteiden etsintää, koska alueella on metsäteollisuutta, sahatavaran valmistusta, elintarviketeollisuutta, metalliteollisuutta ja energiatuotteiden valmistusta. Erityisesti kuivaus, esilämmitys, pesut, tilalämmitys ja kylmäprosessien optimointi ovat tarkastelun arvoisia käyttökohteita.

Teollista kysyntää ei kuitenkaan voi olettaa ilman prosessikohtaista tietoa. Esimerkiksi sahalla syntyvä lämpö ei välttämättä sovi lähellä olevaan teolliseen prosessiin, jos lämpötilataso, käyttöaika, väliaineen puhtaus tai toimitusvarmuus eivät vastaa käyttökohteen vaatimuksia. Pieksämäellä kaukolämpöön ja teolliseen hyödyntämiseen kytkeytyvä potentiaali edellyttää erillistä verkko-, kuormitus- ja lämpölähdeselvitystä.

4.3 Datakeskusten hukkalämmön potentiaali

Datakeskukset ovat tarkastelualueen suurin mahdollinen muutosajuri, mutta niiden potentiaali on myös epävarmin. Kuopion Mustakorven suunniteltu kokonaiskapasiteetti voi alustavasti olla noin 250 MW, Iisalmen Tervamäessä on käynnistetty kaavoitusaloitteeseen perustuva suunnittelu ja Varkaudessa julkistettu datakeskus on suunnitellulta kapasiteetiltaan 100 MW. Nämä luvut kuvaavat datakeskusten sähkötehoa tai suunniteltua kapasiteettia, eivät suoraan hyödynnettävissä olevaa hukkalämpöä.

Datakeskusten hukkalämmön realistinen hyödyntäminen edellyttää, että lämpö saadaan talteen riittävässä lämpötilassa, lämpöpumpulle on käytettävissä sähkökapasiteettia, lähellä on kaukolämpö- tai teollisuuskysyntää ja kesäajan ylijäämälle löytyy käyttöä tai varastointia. Potentiaalia ei tule laskea toteutuvaksi alueelliseksi energiapotentiaaliksi ennen kuin hankkeiden sijainti, jäähdytysratkaisu, lämpötilataso, toteutusaikataulu ja lämmön ostajat ovat varmistuneet.

Järjestelmätason hyöty voi syntyä vain, jos datakeskusten hukkalämpö, sähköverkkoyhteydet, joustot, paikallinen lämpökysyntä ja kaavoitus ratkaistaan samanaikaisesti. Datakeskusten kasvu voi lisätä tarvetta huomioida sähköjärjestelmän joustot, liittymäkapasiteetti ja kulutuspiikkien hallinta jo hankkeiden varhaisessa suunnittelussa.

4.4 Hukkalämmön hyödyntäminen sähköksi

Hukkalämmön sähköntuotanto on tarkastelualueella realistinen vain rajatuissa kohteissa. ORC voi olla mahdollinen, jos lämpötila on riittävä, lämpöä syntyy tasaisesti ja tuotetulle sähkölle on paikallista käyttöä esimerkiksi kohteen omaan prosessiin, jäähdytykseen, pumppaukseen, automaatioon tai muuhun jatkuvaan sähkönkulutukseen. Tällöin hyödyn arvo voi muodostua vältetystä ostosähköstä, siirtomaksuista ja mahdollisista tehomaksuista, ei pelkästään sähkön markkinahinnasta.

Kalina-kierto, sCO₂ ja TEG- tai solid-state-ratkaisut voivat olla erityistapauksia tai pilotteja, eivät alueellinen pääpolku. Stirling-tekniikkaa ei pidä pitää kaupallisena perusratkaisuna matala-asteisen hukkalämmön hyödyntämiseen.

Pohjois-Savossa sähköntuotannon pilotointia voidaan harkita lähinnä korkeamman lämpötilatason teollisissa tai energiantuotannon kohteissa, joissa lämmölle ei ole teknistaloudellisesti parempaa paikallista käyttökohdetta. Datakeskusten, jätevesien ja kylmäjärjestelmien kohdalla lämpönä hyödyntäminen on lähtökohtaisesti ensisijainen tarkastelupolku.

4.5 Energiatehokkuus, sektori-integraatio ja teknistaloudellinen toteutettavuus

Hukkalämmön hyödyntäminen voi vähentää polttoainepohjaista lämmöntuotantoa, tukea sähköistyvää teollisuutta ja lisätä paikallista energiaomavaraisuutta. Lämpöpumput kytkevät lämpöjärjestelmän sähkön hintaan ja sähköverkon kapasiteettiin. Lämpövarastot voivat lisätä joustavuutta, jos lämpöä syntyy ja kulutetaan eri aikaan.

Teknistaloudellisesti vahvimpia ovat kohteet, joissa lämpölähde ja lämpökohde ovat lähellä, lämpöä syntyy tasaisesti, lämpötilan nosto on pieni ja investointi voidaan mitoitaa korkealle käyttöasteelle. Tällaisia voivat olla teollisuuden sisäinen talteenotto, kylmäjärjestelmän lauhdelämmön hyödyntäminen, jätevedenpuhdistamon lämpöpumppu kaukolämpöön sekä datakeskuksen hukkalämpö suureen kaukolämpö- tai teollisuuskohteeseen, jos sijainti on oikea.

Kannattavuusväitettä ei voi tehdä ilman kohdekohtaista laskentaa. Arvioinnissa tarvitaan vähintään investointikustannus, sähkön hinta, lämpöpumpun COP, käyttöaika, lämmön myyntihinta, korvattava tuotanto, huolto- ja varalämpökustannukset, tukimahdollisuudet ja sopimuskausi. Pieksämäellä toteutettavuuden arviointi on tässä vaiheessa selvästi alustavampi kuin Pohjois-Savossa, koska lähtötiedot ovat niukemmat.

4.6 Realistinen potentiaali ja jatkoselvitystarpeet

Pohjois-Savossa on toteutuneita hukkalämmön hyödyntämisesimerkkejä, useita potentiaalisia lämpölähdetyyppejä, merkittävä teollinen toimialapohja, laajoja kaukolämpöverkkoja ja suunnitteilla olevia datakeskuksia. Hukkalämmön ensisijainen käyttöpolku on useimmissa tapauksissa lämpönä hyödyntäminen, usein lämpöpumpulla tuettuna.

Aineiston perusteella ei voida sanoa, kuinka suuri tarkastelualueen kokonaispotentiaali on gigawattitunteina vuodessa. Ei myöskään voida arvioida, mitkä yksittäiset yrityskohteet ovat kannattavia, kuinka paljon kaukolämpöverkot voivat vastaanottaa hukkalämpöä, kuinka datakeskushankkeet lopulta toteutuvat tai kuinka suuri osuus esimerkiksi Pieksämäen lämmöntarpeesta voitaisiin kattaa hukkalämmöllä. Näihin tarvitaan mitattu ja sopimuksellisesti varmennettu kohdeaineisto.

Pohjois-Savon ja Pieksämäen hukkalämmön hyödyntämisen keskeiset edellytykset, rajoitteet ja jatkoselvitystarpeet on koottu taulukkoon 4. Taulukko osoittaa, että Pohjois-Savossa tarkastelua voidaan kohdentaa jo tunnistettuihin toimialoihin, kaukolämpöverkkoihin ja datakeskusskenaarioihin, kun taas Pieksämäellä ensimmäinen vaihe on perustiedon keruu lämpölähteistä, lämpökysynnästä ja verkkojen vastaanottokyvystä.

Taulukko 4. Pohjois-Savon ja Pieksämäen hukkalämmön hyödyntämisen edellytykset, rajoitteet ja huomioitavat tekijät

Osa-alue	Pohjois-Savo: tunnistettu tilanne	Pieksämäki: tunnistettu tilanne / tietotarve	Johtopäätös
Teollinen lähde	Laaja ja toimialoiltaan monipuolinen.	Julkinen aineisto on niukempi; tarvitaan paikallinen lämpölähteinventaario.	Pohjois-Savossa inventaario voidaan kohdentaa toimialakeskittymiin; Pieksämäellä ensimmäinen vaihe on perustiedon keruu.
Kaukolämpöverkot	Kuopion ja Savon Voiman verkot ovat keskeisiä mahdollisia vastaanottajia.	Savon Voima Lämpö vastaa asemakaava-alueesta ja Naarajärvestä; verkon vastaanottokyky edellyttää erillistä selvitystä.	Verkkokohtainen vastaanottokyky, lämpötilatasot ja kausivaihtelu ratkaisevat toteutettavuuden.
Datakeskukset	Kuopio, Iisalmi ja Varkaus ovat suunnittelussa tai kehitteillä.	Tässä tarkastelussa ei ole varmennettua vastaavaa datakeskusaineistoa.	Datakeskukset tulee käsitellä skenaarioina, ei toteutuneena potentiaalina.
Jätevesilämpö	Lapinlahti antaa esimerkin jätevesilämmön hyödyntämisestä.	Puhdistamokohtaiset tiedot puuttuvat.	Jätevesilämpö edellyttää puhdistamokohtaista virtaama-, lämpötila- ja sijaintitarkastelua.
Kylmäjärjestelmät	Pakkasmarja antaa käytännön esimerkin kylmäjärjestelmän hukkalämmön hyödyntämisestä.	Kohdekohtaiset tiedot puuttuvat.	Elintarvike-, kauppa- ja logistiikkakohteet tulisi inventoida erikseen.
Sähköverkko	Savon Voima Verkko on keskeinen alueellinen toimija.	Savon Voima ja Suur-Savon Sähkö toimivat vastuualueittain.	Lämpöpumput, datakeskukset ja sähköistys

			lämmöntuotanto edellyttävät liittymä- ja kapasiteettiselvitystä.
Maankäyttö ja kaavoitus	Datakeskuksissa on jo kaavoitus- ja YVA-kysymyksiä.	Hukkalämpöön liittyvä kaavoitus- ja putkistotieto on puutteellista.	Putkistot, energiakeskukset ja tilavaraukset tulee huomioida varhaisessa suunnittelussa.

5 Vaikutukset

5.1 Vaikutukset alue- ja kuntatalouteen

Hukkalämpöhankkeen alue- ja kuntataloudellinen merkitys syntyy vasta, kun hukkalämpö saadaan hyötykäyttöön. Pelkkä hukkalämmön syntyminen ei vielä tuota taloudellista hyötyä. Hyöty edellyttää talteenottoa, siirtoa, lämmön käyttäjää ja selkeää sopimusmallia.

Vaikutuksia voi syntyä erityisesti neljän mekanismin kautta:

1. investoinneista lämpöpumppuihin, lämmönvaihtimiin, putkistoihin, sähköliittymiin, automaatioon, lämpövarastoihin ja energiakeskuksiin
2. paikallisista suunnittelu-, rakennus-, sähkö-, automaatio-, kunnossapito- ja käyttöpalveluista
3. yritysalueiden vetovoiman kasvusta, jos hukkalämpö houkuttelee lämpöä tarvitsevia toimijoita
4. energiakustannusten vakaudesta, jos hukkalämpö korvaa muuta lämmöntuotantoa tai ostettua energiaa

Hukkalämmön merkitystä kannattaa arvioida ensin vuotuisen energiamäärän kautta. Sama lämpövirta voi olla suuri yksittäiselle kiinteistölle mutta pieni kaukolämpöverkon näkökulmasta. Taulukko 5 havainnollistaa lämmönkulutuksen suuruusluokkia eri käyttökohteissa.

Taulukko 5. Esimerkkejä lämmönkulutuksen suuruusluokista eri käyttökohteissa.

Käyttökohde	Lämmönkulutuksen suuruusluokka
25 asunnon kerrostalo	noin 80 MWh vuodessa
Iso toimistorakennus	noin 400 MWh vuodessa
5 000 m ² elintarviketehdas	noin 1 500–3 000 MWh vuodessa
Keskikokoinen kaupunki	satoja GWh kaukolämpöä vuodessa

Suomen tasolla hyödynnettävissä olevan ylijäämälämmön potentiaaliksi on arvioitu noin 35 TWh vuodessa ja teollisuuden teknisesti hyödynnettävissä olevaksi potentiaaliksi noin 15 TWh vuodessa. Paikallinen hyöty ratkaistaan kuitenkin aina hanketasolla: missä lämpö syntyy, kuka sitä käyttää, mikä on lämpötilataso ja mitä investointeja hyödyntäminen vaatii.

Investoinnit voivat jäädä osin paikallisiksi tuloiksi, jos suunnittelua, rakentamista, sähkö- ja automaatiotöitä, putkiasennuksia, kunnossapitoa tai operointia hankitaan alueen yrityksiltä. Kunnan näkökulmasta merkitystä on myös mahdollisilla kaavoitus-, katu-, putki- ja kunnallisteknisillä tarpeilla.

Investointien suuruus vaihtelee voimakkaasti. Pienessä datakeskusesimerkissä 18 palvelintelineen kohteessa lämpöpumpun investointikustannus oli 60 000 euroa ja kaukolämpöön liittäminen 20 000 euroa, eli yhteensä 80 000 euroa. Samassa tarkastelussa ORC-sähköntuotantoratkaisun investointikustannukseksi arvioitiin 4 464 €/kW ja noin 40 000 euroa tarkastellun nettosähkötehon perusteella. Suuremmassa sähköntuotantoesimerkissä 160 kWe ORC-yksikön laiteinvestointi oli noin 500 000 euroa ja käyttökulut 15 000–30 000 euroa vuodessa. Luvut eivät ole yleisiä kustannusnormeja, mutta ne havainnollistavat investointien kokoluokkaa.

Siirtomatka ratkaisee usein kannattavuuden. Lämmön lähteen ja käyttäjän välinen etäisyys vaikuttaa putkiston rakentamiskustannuksiin, lämpöhäviöihin ja pumppauskustannuksiin. Aineiston mukaan kaukolämpöputkien lämpöhäviöt voivat olla karkeasti 20–60 kW/km, kun verkoston vuoden aikainen keskilämpötila on 65 °C. Rambollin vuoden 2024 arvion mukaan suunnitteilla olevien vetylaitosten ja datakeskusten hukkalämpöä olisi yleisellä tasolla kannattavaa siirtää noin 0,1 km/GWh, jolloin siirtokustannus olisi enintään 5 €/MWh.

Esimerkiksi 10 GWh vuodessa tuottavan lämpövirran suuntaa antava siirtomatka olisi tällä oletuksella noin 1 kilometri. Jos lämpövirta olisi 50 GWh vuodessa, karkea mittakaava olisi noin 5 kilometriä. Arviota ei tule soveltaa mekaanisesti, koska todellinen kannattavuus riippuu muun muassa putkireitistä, maaperästä, lämpötilatasosta, putkikoosta, pumppauksesta, luvituksesta ja olemassa olevasta verkosta.

Laajemmat jäähdytys- ja energiakeskusratkaisut voivat nostaa kustannuksia nopeasti. Kunnan kannalta olennaista on, jäävätkö investoinnit markkinaehtoisille toimijoille vai edellyttävätkö ne kunnan omaa rahoitusta, takausta, maa-aluejärjestelyjä tai muuta mahdollistavaa panostusta. Taulukko 6 kokoaa jäähdytys- ja energiakeskusratkaisujen kustannusten suuruusluokkia. Luvut ovat mittakaava-arvioita, eivät hankekohtaisia kustannusarvioita.

Taulukko 6. Jäähdytys- ja energiakeskusratkaisujen kustannusten suuruusluokkia.

Ratkaisu	Investointikustannus	Käyttökustannus
Ilmajäähdytys	300 000–500 000 €/MW	4 000–8 000 €/MW vuodessa
Läpivirtausjäähdytys	600 000–900 000 €/MW	8 000–12 000 €/MW vuodessa
Haihdotusjäähdytys	900 000–1 300 000 €/MW	15 000–25 000 €/MW vuodessa
Absorptiojäähdytys	1 000 000–1 500 000 €/MW	18 000–30 000 €/MW vuodessa

Toteutuneet kustannukset riippuvat muun muassa tontista, vesilähteistä, sähköliittymästä, putkireiteistä, luvituksesta ja olemassa olevasta infrastruktuurista.

Hukkalämmön suorat vaikutukset liittyvät investointeihin ja palveluihin. Suurempi aluetaloudellinen vaikutus voi syntyä, jos hukkalämpö houkuttelee alueelle uutta tuotannollista toimintaa tai vahvistaa olemassa olevien yritysten kilpailukykyä.

Ruotsin Frövissä 10 hehtaarin kasvihuone käyttää noin 35 GWh ylijäämälämpöä vuodessa ja on luonut 100 työpaikkaa. Apetitin Säskylän tehtaalla neljän jäähdytyslaitoksen ylijäämälämpöä hyödynnetään lämpöpumppujen avulla, ja lämpöpumppujen yhteiskapasiteetti on yli 2 MW. Nämä esimerkit osoittavat, että vaikutus syntyy usein siitä, mitä hukkalämmöllä mahdollistetaan.

Pohjois-Savon ja Pieksämäen kannalta mahdollisia käyttökohteita voivat olla esimerkiksi kasvihuonetuotanto, biomassojen kuivaus, elintarvikeprosessit, kalankasvatus, teolliset pesulat, kiertotalousprosessit tai kaukolämmön tuotannon täydentäminen.

Hukkalämpö voi olla alue- ja kuntataloudellisesti merkittävä resurssi, mutta vain silloin, kun sille on teknisesti ja taloudellisesti toimiva käyttökohde. Arvioinnissa on erotettava varmistettavat vaikutukset, kuten investoinnit ja kunnallistekniikan tarpeet, sekä epävarmat välilliset vaikutukset, kuten työpaikat, verotulot ja uuden liiketoiminnan synty.

Parhaat edellytykset ovat kohteissa, joissa lämpöä syntyy paljon ja tasaisesti, käyttäjä sijaitsee lähellä, lämpötilataso vastaa käyttötarvetta ja vastuut sekä tuotot voidaan sopia selkeällä sopimusmallilla.

5.2 Työllisyys- ja osaamisvaikutukset

Hukkalämmön hyödyntämisen työllisyysvaikutus on erotettava hukkalämpöä tuottavan pääinvestoinnin, kuten datakeskuksen, teollisuuslaitoksen tai vetylaitoksen, työllisyysvaikutuksesta. Hukkalämpöjärjestelmä ei yleensä ole erillinen suurtyöllistäjä, vaan sen vaikutus syntyy energia- ja taloteknisen arvoketjun kautta: suunnittelusta, rakentamisesta, käyttöönnotosta, kunnossapidosta, operoinnista ja lämmön hyödyntämiseen perustuvasta uudesta liiketoiminnasta.

Rakentamisvaiheessa työllisyys kohdistuu erityisesti energia- ja LVIA-suunnitteluun, maarakentamiseen, putkistoihin, lämmönvaihtimiin, lämpöpumppuihin, sähkö- ja automaatiotöihin, mittarointiin, valvomoratkaisuihin sekä käyttöönottoon. Vaikutus on pääosin määräaikainen ja riippuu lämmönsiirron pituudesta, lämpötehosta, lämpötilatasosta, tarvittavista sähköliittymistä, olemassa olevan infrastruktuurin hyödynnettävyydestä ja siitä, toteutetaanko pelkkä talteenotto vai laajempi energiakeskus.

Käyttövaiheessa pysyvämpi työllisyys liittyy kunnossapitoon, operointiin, mittaus- ja raportointipalveluihin, lämpöpumppujen ja lämmönvaihtimien huoltoon, putkistojen ja pumppaamoiden ylläpitoon, automaatioon, energiankäytön optimointiin sekä kaupalliseen lämmönhallintaan. Näiden vaikutusten suuruus on yleensä maltillinen verrattuna varsinaisen datakeskus-, teollisuus- tai vetylaitoshankkeen työllisyyteen, mutta vaikutus voi olla paikallisesti merkittävä, jos palvelut hankitaan alueen yrityksiltä ja osaaminen jää pysyvästi paikalliseen yrityskantaan.

Hukkalämmön suurin työllistävä potentiaali syntyy silloin, kun lämpö mahdollistaa uutta tuotannollista toimintaa. Tällaisia käyttökohteita voivat olla esimerkiksi kasvihuonetuotanto, elintarviketuotanto, biomassojen kuivaus, kalankasvatus, kiertotalousprosessit, teolliset pesulat tai muut matala- ja keskilämpöä hyödyntävät prosessit. Tässä tapauksessa hukkalämpö ei työllistä vain teknisenä energiainfrastruktuurina, vaan se toimii uuden liiketoiminnan sijoittumistekijänä.

Suuruusluokkana voidaan todeta, että yksittäinen hukkalämmön talteenotto- ja siirtojärjestelmä työllistää rakentamisvaiheessa useita suunnittelu-, asennus-, rakennus-, sähkö-, automaatio- ja käyttöönottoimijoita, mutta pysyvä käyttöhenkilöstö jää usein vähäiseksi, jos järjestelmä liitetään olemassa olevaan energiyhtiön tai teollisuuslaitoksen operointiin. Sen sijaan hukkalämmön varaan rakentuva uusi tuotannollinen toiminta voi synnyttää selvästi suurempia pysyviä työpaikkavaikutuksia. Esimerkiksi Ruotsin Frövissä 10 hehtaarin kasvihuone käyttää noin 35 GWh teollista hukkalämpöä vuodessa ja on luonut 100 työpaikkaa. Tämä kuvaa hukkalämmön mahdollistamaa liiketoimintavaikutusta, ei pelkän lämmön talteenottojärjestelmän työllisyysvaikutusta.

Datakeskusten osalta Kuopion ja Iisalmen julkaisuissa esitetyt työpaikka-arviot kuvaavat ensisijaisesti datakeskushankkeiden kokonaisvaikutuksia. Niitä ei tule lukea suoraan hukkalämmön hyödyntämisen työllisyysvaikutuksiksi. Hukkalämmön osuus on arvioitava erikseen sen perusteella, syntykö alueelle lämmön talteenotto-, siirto- ja käyttöinfrastruktuuria sekä sijoittuuko alueelle uusia lämpöä hyödyntäviä yrityksiä.

5.3 Vaikutukset energijärjestelmään, huoltovarmuuteen ja kilpailukykyyn

Hukkalämmön hyödyntäminen voi vahvistaa alueellista energiaomavaraisuutta ja huoltovarmuutta, jos sillä korvataan tuontipolttoaineita, polttoon perustuvaa lämmöntuotantoa tai muuta ostettua energiaa. Vaikutus syntyy kuitenkin vasta silloin, kun hukkalämpö on teknisesti talteen otettavissa, sille on vastaanottava käyttökohde ja hyödyntäminen on taloudellisesti kannattavaa. Hukkalämpö voi hajauttaa lämmönlähteitä ja vähentää riippuvuutta yksittäisistä tuotantomuodoista, mutta se ei poista varalämmön, huoltoseisokkien ja toimitusvarmuuden huomioimisen tarvetta.

Kaukolämpöjärjestelmissä hukkalämpö voi korvata polttoainepohjaista peruskuormaa ja vähentää lämmöntuotannon päästöjä. Samalla se voi muuttaa kaukolämmön tuotantorakennetta ja operointia. Käytännön toteutettavuus riippuu siitä, missä lämpö syntyy, millä lämpötilatasolla se on saatavissa, kuinka tasainen lämpövirta on ja miten se ajoittuu kaukolämmön kysyntään. Jos lämpöä syntyy eniten kesällä, kaukolämmön kysyntä voi olla liian pieni ilman uusia käyttökohteita tai lämpövarastointia. Jos lämpö on matalalämpöistä, tarvitaan yleensä lämpöpumppu. Jos hukkalämpömäärä on suuri suhteessa verkon kysyntään, osa lämmöstä voi jäädä hyödyntämättä ilman laajempaa lämpömarkkinaa, varastointia tai teollisia käyttökohteita.

Jatkoselvityksissä kaukolämpöpotentiaalia tulisi arvioida verkkokohtaisesti. Energiateollisuuden kaukolämpötilastoista on saatavilla yritys- ja paikkakunta-kohtaista tietoa muun muassa tuotannosta, verkon pituudesta, käytetyistä polttoaineista, tuotantokapasiteeteista ja asiakasmääristä. Näitä tietoja voidaan hyödyntää alustavassa arvioinnissa, mutta varsinainen toteutettavuus edellyttää lisäksi tietoa verkon lämpötilastoista, liityntäpisteistä, kausittaisesta kuormasta, paluulämpötiloista ja mahdollisesta vastaanottokyvystä.

Sähköjärjestelmän näkökulmasta hukkalämmön hyödyntäminen kytkeytyy erityisesti lämpöpumppeihin, datakeskuksiin ja kulutusjoustoön. Lämpöpumput lisäävät sähkönkulutusta, mutta voivat myös mahdollistaa joustoa, jos niiden käyttöä voidaan ajoittaa sähkön hinnan, lämpövarastojen ja kaukolämpöverkon tarpeiden mukaan. Tällöin hukkalämmön hyödyntäminen ei ole pelkkä lämpöratkaisu, vaan osa sähkön ja lämmön yhteistä järjestelmäohjausta.

Datakeskukset ovat erityistapaus, koska ne voivat tuottaa merkittäviä määriä matalalämpöistä hukkalämpöä, mutta ovat samalla suuria sähkökuormia. Niiden sähköjärjestelmävaikutukset voivat olla suurempia kuin pelkkä hukkalämmön hyödyntämiskysymys. Datakeskusten yhteydessä on siksi arvioitava samanaikaisesti sähköliittymät, sähköverkon kapasiteetti, mahdolliset joustot, jäähdytysratkaisut, lämmöntalteenotto, lämpöpumppujen sähkönkulutus ja lämmön vastaanottajat. Energiaviraston datakeskusvelvoitteet ja valtakunnallinen datakeskustiekarttatyö korostavat raportoinnin, hukkalämmön hyödyntämisen ja joustojen merkitystä osana datakeskusten energiavaikutusten hallintaa.

Yritysten kilpailukykyyn hukkalämpö voi vaikuttaa, jos se tarjoaa edullisempaa, ennustettavampaa tai vähäpäästöisempää lämpöä kuin vaihtoehtoiset ratkaisut. Tämä voi tukea olemassa olevien yritysten kustannuskilpailukykyä ja parantaa alueen houkuttelevuutta uusille lämpöä tarvitseville toiminnoille. Vaikutus ei kuitenkaan ole automaattinen. Lämpöpumppujen sähkönkulutus, sähkön hinta, tarvittava lämpötilan nosto, varalämmön tarve, investointikustannukset, rahoitusehdot ja sopimusmalli voivat heikentää kannattavuutta. Siksi energiaomavaraisuus-, huoltovarmuus- ja kilpailukykyvaikutukset on arvioitava kohdekohtaisesti eikä niitä tule johtaa suoraan hukkalämmön teknisestä määrästä.

5.4 Ympäristö-, ilmasto-, vesistö- ja hyväksyttävyyssvaikutukset

Hukkalämmön hyödyntämisen ympäristö- ja ilmastovaikutukset syntyvät ensisijaisesti siitä, mitä hukkalämmöllä korvataan. Vaikutus on myönteinen, jos hukkalämpö vähentää polttoainepohjaista tai muuten päästöintensiivistä lämmöntuotantoa, pienentää energiantuotannon polttoaineenkulutusta tai vähentää vesistöön, ilmaan tai jäähdytysjärjestelmiin johdettavaa lämpökuormaa. Pelkkä hukkalämmön olemassaolo ei kuitenkaan vielä tarkoita päästövähennystä, vaan vaikutus riippuu korvattavasta tuotantomuodosta, lämpöpumpun sähkönkulutuksesta, sähkön päästöprofiilista, varalämmön tarpeesta ja järjestelmän käyttöasteesta.

Vesistövaikutusten kannalta hukkalämmön hyödyntäminen voi olla merkityksellistä erityisesti kohteissa, joissa lämpöä johdetaan nykytilanteessa jäähdytysvesien mukana vesistöön. Lapinlahden jätevesilämpöhankkeessa Savon Voima on tuonut esiin Onkiveteen kohdistuvan lämpökuorman vähenemisen sekä polttoon perustuvan lämmöntuotannon vähentymisen. Tällaiset vaikutukset voivat parantaa hankkeen ympäristöperusteluja, mutta ne on arvioitava kohdekohtaisesti suhteessa paikallisiin vesistöolosuhteisiin, virtaamiin, lämpötiloihin ja lupaehtoihin.

Hukkalämpöhankkeilla voi olla myös kielteisiä tai hallintaa edellyttäviä ympäristövaikutuksia. Rakentamisvaiheessa vaikutuksia voi syntyä esimerkiksi putkilinjojen kaivusta, työmaaliikenteestä, melusta, pölystä, tilapäisistä liikennejärjestelyistä ja maankäytön muutoksista. Käyttövaiheessa huomioitavia tekijöitä ovat muun muassa pumppujen ja kompressorien melu, energiakeskusten tilantarve, sähköliittymät, huoltoliikenne sekä mahdolliset vaikutukset kaupunki- tai teollisuusympäristön tekniseen infrastruktuuriin.

Teknologiaratkaisuihin liittyy myös turvallisuus- ja hyväksyttävyysskysymyksiä. Lämpöpumppuratkaisuissa on huomioitava kylmäaineisiin liittyvät ympäristö- ja turvallisuusvaatimukset. ORC-, Kalina- ja sCO₂-ratkaisuissa voi puolestaan korostua työaineisiin, korkeisiin paineisiin tai prosessiturvallisuuteen liittyvä erityisosaaminen. Nämä eivät välttämättä estä hankkeita, mutta ne voivat lisätä suunnittelu-, lupamenettely-, valvonta- ja käyttökustannuksia.

Hyväksyttävyyssvaikutukset riippuvat siitä, miten hanke näyttäytyy paikallisille asukkaille, yrityksille ja viranomaisille. Hukkalämmön hyödyntäminen on yleensä helpommin hyväksyttävää kuin uusi polttolaitos, koska se perustuu jo syntyvän energian hyödyntämiseen. Hyväksyttävyys voi kuitenkin heikentyä, jos hankkeeseen liittyy epäselviä vastuita, näkyviä rakennelmia, putkilinjauksia, melua, vesistövaikutuksia tai epävarmuutta kustannusten jakautumisesta. Siksi ympäristö- ja hyväksyttävyyssvaikutukset tulisi arvioida jo varhaisessa suunnittelussa osana teknistaloudellista tarkastelua, ei vasta lupavaiheessa.

5.5 Vaikutukset teolliseen uudistumiseen ja kiertotalouden arvoketjuihin

Hukkalämpö voi tukea teollista uudistumista silloin, kun se kytkeytyy uuteen tuotannolliseen toimintaan, yritysten väliseen yhteistyöhön tai kiertotalouden arvoketjuihin. Tällöin hukkalämpö ei ole pelkästään energiatehokkuustoimi, vaan osa laajempaa teollista symbioosia, jossa yhden toimijan sivuvirta muuttuu toisen toimijan tuotannontekijäksi. Tällainen kehitys voi vahvistaa alueen investointivalmiutta ja lisätä yritysalueiden vetovoimaa, jos lämpöä tarvitseville toimijoille voidaan tarjota sijainti, infrastruktuuri ja ennakoitava energiaratkaisu.

Pohjois-Savossa mahdollisuudet liittyvät erityisesti teollisuusalueisiin, datakeskusten ympärille mahdollisesti syntyviin lämpöä käyttäviin toimintoihin, biomassojen kuivaukseen, kasvihuonetuotantoon, kylmäketjuihin, elintarvikeprosesseihin ja energiapalveluihin. Hukkalämpö voi tukea myös kiertotalousratkaisuja, joissa lämpöä tarvitaan esimerkiksi materiaalien kuivaukseen, pesuun, hygienisointiin, esilämmitykseen tai prosessien lämpötilanhallintaan. Näissä käyttökohteissa hukkalämmön arvo määräytyy sen mukaan, kuinka hyvin lämpötilataso, käyttöaika, sijainti ja toimitusvarmuus vastaavat prosessin tarpeita.

Datakeskukset voivat muodostaa uudenlaisen teollisen alustan, jos niiden hukkalämpö saadaan kytkettyä lähialueen lämpöä tarvitseviin toimintoihin. Mahdollisia käyttökohteita ovat esimerkiksi kaukolämpö, kasvihuoneet, biomassojen kuivaus, elintarviketuotanto, kalankasvatus tai muut matalalämpöä hyödyntävät prosessit. Potentiaalia ei kuitenkaan pidä tulkita toteutuvaksi vaikutukseksi ennen kuin datakeskusten sijainti, jäähdytysratkaisu, lämpötilataso, lämmön määrä, käyttöaika ja lämmön ostajat ovat tiedossa.

Teollisten symbioosien synty edellyttää muutakin kuin teknisesti hyödynnettävää lämpöä. Tarvitaan sopivat tontit, lyhyet siirtoetäisyydet, investointikelpoinen infrastruktuuri, selkeät vastuut, pitkäaikaiset sopimukset ja riittävä luottamus toimijoiden välillä. Lisäksi lämmön tuottajan ja käyttäjän toiminnan aikajänteiden on sovittava yhteen. Jos lämpöä tuottavan laitoksen toiminta muuttuu tai päättyy, myös lämpöä käyttävän toimijan toimitusvarmuus voi vaarantua.

Kiertotalouden ja teollisen uudistumisen vaikutukset ovat siten mahdollisia, mutta ehdollisia. Niitä ei tule esittää toteutuvina ilman tunnistettuja toimijoita, tontteja, sopimuksia, lämpöprofiileja ja investointipäätöksiä. Realistisin etenemistapa on tunnistaa ensin sellaiset alueet, joissa lämpölähde, mahdollinen käyttäjä, sähkö- ja lämpöinfra sekä maankäyttö voidaan sovittaa yhteen. Tämän jälkeen voidaan arvioida, onko hukkalämmöstä mahdollista rakentaa yksittäistä energiatehokkuustoimea laajempi teollinen tai kiertotaloudellinen arvoketju.

6 Riskit ja epävarmuudet

Hukkalämmön hyödyntämiseen liittyvät riskit ovat pääosin kohdekohtaisia. Tekninen toteutettavuus ei yksin ratkaise hankkeen onnistumista, vaan siihen vaikuttavat myös lämpövirran jatkuvuus, vastaanottava lämpökysyntä, investointikustannukset, sähkön hinta, sopimusmallit, luvitus sekä hankkeiden toteutuminen suunnitellussa laajuudessa. Keskeiset riskit, niiden mahdolliset vaikutukset ja jatkoselvitystarpeet on koottu taulukkoon 7.

1. Lämpövirtojen saatavuus-, mittaus- ja jatkuvuusriski.
Suurin riski on, että lämpövirran määrä, lämpötila tai käyttöaika poikkeaa oletetusta. Teollisuusprosessit voivat muuttua, datakeskusten kuorma voi kehittyä vaihteittain, kylmäjärjestelmien käyttö voi olla kausittaista ja jätevesivirta vaihdella. Ilman vähintään vuodenaikojen vaihtelun kattavaa mittausjaksoa investointipäätöksiä ei voida tehdä luotettavasti.
2. Kysyntä-, sijainti- ja lämmönsiirtoriski.
Lämpöä ei voida hyödyntää ilman lähellä sijaitsevaa käyttökohdetta. Pitkä siirtomatka kasvattaa putkistoinvestointeja, lämpöhäviöitä ja pumppauskustannuksia. Datakeskuksissa riski korostuu, koska suuret lämpömäärät voivat ylittää paikallisen kaukolämmön kysynnän erityisesti kesäaikana.
3. Teknologia-, investointi- ja kustannusriski.
Lämpöpumput ja lämmönvaihtimet ovat kaupallisesti kypsiä ratkaisuja, mutta kohdekohtainen mitoitus ratkaisee niiden kannattavuuden. ORC-, TEG-, sCO₂-, Kalina- ja Stirling-ratkaisut sisältävät enemmän teknologia- ja kannattavuusepävarmuuksia erityisesti matalalämpöisissä kohteissa. Sähköntuotantoratkaisujen riski pienenee, jos tuotettu sähkö voidaan hyödyntää suoraan kohteen omassa prosessissa.
4. Sähkön hinta, lämpöpumppauksen kustannus ja käyttötunnit.
Lämpöpumppuhankkeen kannattavuus riippuu erityisesti sähkön hinnasta, verkkopalvelumaksuista, lämpöpumpun lämpökertoimesta (COP), käyttötunneista ja huoltokustannuksista. Lämpövarasto voi parantaa kannattavuutta mahdollistamalla lämpöpumpun käytön edullisempien sähkötuntien aikana, mutta kasvattaa samalla investointia. Hukkalämmön sähköntuotannossa kannattavuuteen vaikuttaa lisäksi se, voidaanko tuotettu sähkö hyödyntää paikallisesti vai joudutaanko se myymään markkinoille.
5. Markkina-, sopimus- ja liiketoimintamalliriski.
Hukkalämpöhankkeessa on sovittava laitteiden omistuksesta, käytöstä, kunnossapidosta, lämmön toimitusvarmuudesta, varalämmöstä, hinnoittelusta ja tuotantokatkojen vastuista. Jos lämmön tuottajan pääliiketoiminta muuttuu, myös hukkalämmön saatavuus voi muuttua.
6. Sääntely-, kaavoitus-, ympäristö- ja hyväksyttävyyssriski.
Kaavoitus, ympäristö- ja rakentamisluvat, sähköliittymät, kylmäaineisiin ja korkeapainejärjestelmiin liittyvät vaatimukset sekä melu ja putkilinjat voivat vaikuttaa hankkeen toteutusaikatauluun ja kustannuksiin. Lisälmen datakeskushankkeen

kaavoitus- ja YVA-menettely osoittaa, että suurten energiakohteiden toteutettavuus riippuu myös maankäytöstä ja ympäristövaikutuksista.

7. Datakeskus- ja teollisuushankkeisiin liittyvä toteutumisriski. Suunnitellut datakeskus-, teollisuus-, vety-, biokaasu- ja Power-to-X-hankkeet voivat viivästyä, muuttua tai jäädä toteutumatta. Niiden hukkalämpöpotentiaalia ei tule sisällyttää toteutuvaksi potentiaaliksi ennen investointipäätöstä ja riittäviä tietoja toteutusaikataulusta, jäähdytysratkaisusta, lämpötilatasosta ja lämmön vastaanottajasta.

Taulukko 7. Keskeiset riskit, vaikutukset ja jatkoselvitystarpeet

Riski tai epävarmuus	Mahdollinen vaikutus	Jatkoselvitystarve
Lämpövirran määrä ja lämpötila eivät vastaa oletusta	Investointi alimitoituu tai ylimitoituu.	Mittausohjelma vähintään eri vuodenaikoina.
Lämpökysyntää ei ole lähellä	Putkistokustannukset tekevät hankkeen kannattamattomaksi.	Lämpölähde-lämpökohde-kartoitus.
Kaukolämpöverkon vastaanottokyky on rajallinen	Hukkalämpöä ei voida hyödyntää täysimääräisesti.	Verkkohydrauliikka, paluulämpötila ja kesäkuorma.
Sähkön hinta nousee	Lämpöpumpun käyttökustannus kasvaa.	COP-, sähkönhintaa- ja lämpövarastoskenaariot.
Datakeskushanke muuttuu tai viivästyy	Lämpöpotentiaali ei toteudu.	Skenaariot: ei toteudu, vaiheittainen toteutus, täysi toteutus.
Sopimusmalli puuttuu	Lämmön ostaja tai myyjä ei sitoudu investointiin.	Omistus-, hinnoittelu- ja vastuumallien tarkastelu.
Luvitus tai kaavoitus viivästyy	Hankkeen aikataulu ja kustannukset muuttuvat.	Kaavoitus-, ympäristö- ja lupapolun esiselvitys.
Pieksämäen lähtötiedot ovat puutteelliset	Johtopäätökset jäävät yleiselle tasolle.	Pieksämäen erillinen inventaario.

7 Johtopäätökset

7.1 Keskeiset johtopäätökset

Pohjois-Savossa on realistisia edellytyksiä hukkalämmön nykyistä laajempaan hyödyntämiseen, mutta tarkastelualueen kokonaispotentiaalia ei voida arvioida luotettavasti ilman kohdekohtaista mittausaineistoa. Julkinen aineisto mahdollistaa lupaavien kohderyhmien tunnistamisen, mutta ei riitä investointipäätöksiä korvaavaan kannattavuus- tai potentiaalilaskentaan.

Alueella on jo toteutuneita tai julkisesti tiedossa olevia esimerkkejä hukkalämmön hyödyntämisestä. Suonenjoen Pakkasmarjan kylmälaitteiden hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkossa ja Lapinlahden jätevesilämpöön perustuva lämpöpumpppuratkaisu osoittavat, että hukkalämpö voi olla käytännössä hyödynnettävä

resurssi, kun lämpölähde, vastaanottava kysyntä, infrastruktuuri ja toimijamalli kohtaavat. Yksittäisiä esimerkkejä ei kuitenkaan pidä yleistää koko tarkastelualueen määrälliseksi potentiaaliksi.

Hukkalämmön ensisijainen hyödyntämispolku on useimmissa tapauksissa lämmön hyödyntäminen lämpönä, ei sähköntuotantona. Käytännössä tämä tarkoittaa ensin hukkalämmön synnyn vähentämistä ja prosessin sisäistä lämmöntalteenottoa, sen jälkeen hyödyntämistä samalla teollisuusalueella, kylmäjärjestelmien lauhdelämmön käyttöä, jätevesilämpöön perustuvia lämpöpumppuratkaisuja sekä kaukolämpöön tai aluelämpöön kytkeytyviä ratkaisuja. Sähköntuotanto hukkalämmöstä voi olla perusteltua vain rajatuissa kohteissa, joissa lämpötilataso ja käyttöaika ovat riittäviä ja tuotetulle sähkölle on selkeä paikallinen arvo.

Datakeskukset voivat toteutuessaan muuttaa alueellista hukkalämpökokonaisuutta merkittävästi, mutta niiden potentiaali on tässä vaiheessa skenaarinen. Kuopion, Iisalmen ja Varkauden datakeskussuunnitelmia ei tule käsitellä toteutuneena lämpöpotentiaalina ennen investointipäätöksiä, jäähdytysratkaisujen täsmentymistä, lämpötilatasojen varmistumista, sähköliittymäkysymysten ratkaisua ja lämmön vastaanottajien tunnistamista.

Pieksämäen osalta johtopäätökset jäävät selvästi yleisemmälle tasolle kuin Pohjois-Savossa. Energiainfrastruktuurin vastuut ovat tiedossa, mutta julkinen aineisto ei riitä arvioimaan hukkalämpövirtoja, teollista lämpökysyntää, kaukolämpöverkon vastaanottokykyä tai mahdollisia lämpöpumppukohteita. Pieksämäellä ensimmäinen vaihe on erillinen hukkalämpöinventaario.

7.2 Realistisimmat kehityssuunnat

Tarkastelun perusteella realistisimmat kehityssuunnat Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä:

1. teollisuuden sisäinen lämmöntalteenotto ja prosessien esilämmitys
2. kylmä- ja pakastusjärjestelmien lauhdelämmön hyödyntäminen kiinteistöissä, teollisuudessa tai kaukolämmössä
3. jätevedenpuhdistamoiden hukkalämmön hyödyntäminen lämpöpumpuilla
4. kaukolämpöön ja aluelämpöön kytkeytyvät kohteet, joissa lämpölähde sijaitsee lähellä verkkoa
5. teolliset symbioosit, joissa hukkalämpöä voidaan käyttää esimerkiksi kuivauksessa, kasvihuonetuotannossa, elintarviketöissä, kalankasvatuksessa tai muussa matala- ja keskilämpöä tarvitsevassa toiminnassa
6. datakeskusten hukkalämmön hyödyntäminen vain, jos sijainti, lämpötilataso, lämpöpumppaus, sähköliittymä, kesäajan lämpökysyntä ja lämmön ostajat voidaan ratkaista kokonaisuutena.

Hukkalämmön hyödyntämistä ei kannata rakentaa pelkän teoreettisen lämpöpotentiaalin varaan. Toteutettavuus syntyy vasta, kun lämpövirta on mitattu, lämmölle on tunnistettu käyttäjä ja investoinnin tekninen, taloudellinen ja sopimuksellinen rakenne on osoitettu toimivaksi.

7.3 Alueellisesti kriittisimmät edellytykset

Tarkastelualueella kriittisimmät edellytykset ovat lämpölähteiden ja lämpökohteiden läheisyys, lämpövirtojen jatkuvuus, riittävä lämpötilataso, lämpöpumppauksen kannattavuus, sähköverkon liityntäkapasiteetti sekä kaukolämpö- ja aluelämpöverkkojen todellinen vastaanottokyky.

Suurin käytännön pullonkaula on mitatun tiedon puute. Julkinen aineisto ei sisällä riittävästi tietoa lämpövirtojen tehoista, lämpötiloista, vuotuisista energiamääristä, käyttöprofiileista tai vastaanottavien prosessien lämpötarpeesta. Tästä syystä selvityksen perusteella voidaan tunnistaa lupaavia kohderyhmiä, mutta ei tehdä investointipäätöksiä korvaavia kannattavuusarvioita.

Kaukolämpöverkot ovat keskeinen mahdollistaja, mutta eivät automaattinen ratkaisu. Verkon lämpötilataso, paluulämpötila, kesäkuorma, liityntäpaikka, hinnoittelu, varalämpö ja sopimusmalli ratkaisevat, voidaanko hukkalämpöä hyödyntää täysimääräisesti. Erityisesti suurten datakeskusten tapauksessa paikallinen kaukolämmön kysyntä voi jäädä osan vuotta liian pieneksi, jolloin tarvitaan teollisia käyttökohteita, varastointia tai muita lämpöä hyödyntäviä ratkaisuja.

Toteutettavuus ei ole pelkästään teknistaloudellinen kysymys. Hukkalämpöhankkeet voivat edellyttää kaavoitusta, lupia, putkilinjojen sijoittamista, energiakeskuksia, lämpöpumppulaitoksia, sähköliittymiä ja jäähdytysratkaisuja. Siksi paikallinen hyväksyttävyys, ympäristövaikutukset, vesistövaikutukset, melu, rakentamisen aikaiset vaikutukset ja hyötyjen jakautuminen on arvioitava varhaisessa vaiheessa. Tämä korostuu erityisesti suurissa datakeskus- ja teollisuushankkeissa, joissa hukkalämmön hyödyntäminen on osa laajempaa maankäyttö-, energia- ja ympäristökokonaisuutta.

7.4 Keskeiset riskit ja epävarmuudet

1. Hukkalämpöpotentiaalin yliarviointi

Suurin riski on hukkalämpöpotentiaalin yliarviointi ennen lämpövirtojen mittaamista, vastaanottavan lämpökysynnän tunnistamista ja sopimuksellista varmistamista. Lämpövirran määrä, lämpötila ja jatkuvuus voivat poiketa oletetusta. Lisäksi lähellä ei välttämättä ole lämpökohdetta, joka pystyy hyödyntämään lämpöä oikeaan aikaan ja oikealla lämpötilatasolla.

2. Lämmönsiirtoon ja lämpöpumppaukseen liittyvät riskit

Pitkät siirtomatkat, korkeat putkistokustannukset, lämpöhäviöt, pumppauskustannukset, sähköliittymän kapasiteetti, sähkön hinta ja lämpöpumpun lämpökerroin (COP) voivat tehdä teknisesti toteuttamiskelpoisesta hankkeesta taloudellisesti kannattamattoman. Lämpövarasto voi lisätä järjestelmän joustavuutta, mutta kasvattaa samalla investointikustannuksia.

3. Suunniteltujen investointihankkeiden toteutumisriski

Suunnitteilla olevat datakeskus-, teollisuus-, vety-, biokaasu- ja Power-to-X-hankkeet voivat viivästyä, muuttua, pienentyä tai jäädä toteutumatta. Niitä ei tule sisällyttää toteutuvaksi alueelliseksi hukkalämpöpotentiaaliksi ennen kuin investointipäätökset, toteutusaikataulu, tekniset ratkaisut, lämpötilatasot ja lämmön hyödyntämismallit ovat riittävän varmistuneita.

4. Markkina-, sopimus- ja liiketoimintamalliriskit

Hukkalämpöhankkeessa on sovittava laitteiden omistuksesta, käytöstä, kunnossapidosta, lämmön toimitusvarmuudesta, varalämmöstä, hinnoittelusta sekä tuotantokatkoihin liittyvistä vastuista. Epäselvä sopimusmalli voi estää investoinnin toteutumisen, vaikka tekniset edellytykset olisivat olemassa.

5. Luvitus-, kaavoitus-, ympäristö- ja hyväksyttävyyshriskit

Kaavoitus, ympäristö- ja rakentamisluvat, putkilinjat, energiakeskukset, sähköliittymät, kylmäaineet, korkeapainejärjestelmät, melu, vesistövaikutukset sekä rakentamisen aikaiset haitat voivat vaikuttaa hankkeen aikatauluun, kustannuksiin ja toteutettavuuteen. Lisäksi hankkeen hyväksyttävyys edellyttää, että sen hyödyt, haitat, kustannukset ja vastuut ovat selkeästi perusteltuja kunnalle, yrityksille ja alueen asukkaille.

7.5 Jatkotoimenpiteet

Seuraava välttämätön vaihe on alueellinen hukkalämpöinventaario. Siinä tulee tunnistaa suurimmat lämpölähteet, mitata keskeiset lämpövirrat eri vuodenaikoina ja arvioida niiden lämpötila, teho, vuotuinen energiamäärä, käyttöprofiili, sijainti ja nykyinen jäähdytysratkaisu.

Inventaarion rinnalla tulee kartoittaa vastaanottava lämpökysyntä. Tarkasteluun tulee sisällyttää kaukolämpöverkot, teollisuusalueet, elintarvike- ja kuivausprosessit, kasvihuonetuotanto, julkiset palvelukeskittymät, suuret kiinteistöt, jätevesikohteet ja mahdolliset uudet lämpöä hyödyntävät yritystoiminnot.

Jatkoselvityksissä tulee laatia kohdekohtaiset konsepti- ja kannattavuuslaskelmat. Niissä on arvioitava investointikustannukset, lämpöpumppauksen tarve, sähkön hinta, COP, käyttöaika, putkistot, sähköliittymät, varalämpö, lämpövarastot, omistusmalli, lämmön hinnoittelu ja sopimusvastuut.

Päätöksenteon kannalta tärkeintä on siirtyä yleisestä potentiaalipuheesta mitattuihin ja toimijakohtaisiin hankekohteisiin. Hukkalämpö voi olla Pohjois-Savolle ja Pieksämäelle energiaomavaraisuutta, alueellista kilpailukykyä ja teollisia symbiooseja vahvistava resurssi, mutta vain niissä kohteissa, joissa lämpövirta, käyttökohde, infrastruktuuri ja liiketoimintamalli muodostavat toteuttamiskelpoisen kokonaisuuden.

Sisältöä on tuotettu AI-avusteisesti.

Lähdeluettelo

Energiavirasto. Datakeskusten velvoitteet. Linkki: <https://energiavirasto.fi/datakeskukset>

Energiateollisuus ry. 2026. Kaukolämmitys ja -jäähdytys. Linkki: <https://energia.fi/tilastot/kaukolampotilastot/kaukolammitys-ja-jaahdytys/>

Iisalmen kaupunki. 2026. Helios on käynnistänyt datakeskushankkeen suunnittelun Iisalmeen. Linkki: <https://iisalmi.fi/helios-on-kaynnistanyt-datakeskushankkeen-suunnittelun-iisalmeen/>

Kaukolämpö ry / Savon Voima. Savon Voima Oyj:n kaukolämpöverkostot ja yhteistuotantolaitokset. Linkki: <https://kaukolampo.fi/?member=savon-voima-oyj>

Kuopion Energia. Kaukolämpöverkosto. Linkki: <https://www.kuopionenergia.fi/yritys/tuotanto-ja-jakelu/kaukolampoverkosto/>

Kuopion kaupunki. 2025. Mustakorven alueelle suunnitellaan datakeskusta. Linkki: <https://www.kuopio.fi/2025/12/03/mustakorven-alueelle-suunnitellaan-datakeskusta/>

Kuopion kaupunki. 2025. Suunnitteluvaraus Hepomäkeen datakeskushanketta varten – vahvistaisi toteutuessaan alueen elinvoimaa. Linkki: <https://www.kuopio.fi/2025/11/13/suunnitteluvaraus-hepomakeen-datakeskushanketta-varten-vahvistaisi-toteutuessaan-alueen-elinvoimaa/>

Kuopion kaupunki. 2025. Teollisuus Pohjois-Savossa 2025. Linkki: https://www.kuopio.fi/uploads/sites/3/2025/05/teollisuus-pohjois-savossa_final.pdf

Pieksämäen kaupunki. Energiahuolto. Linkki: <https://www.pieksamaki.fi/asukkaat-ja-ymparisto/asuminen/energiahuolto/>

Pihlainen, Ilkka / Boyard Oy; Prizztech Oy. 2020. Teknologiaselvitys: Hukkalämmöstä hyötyenergiaa. Linkki: <https://www.prizz.fi/media/energiaratkaisut/energiaratkaisut-materiaalit/teknologiaselvitys-hukkala-cc-88mmo-cc-88sta-cc-88-hyo-cc-88tyenergiaa.pdf>

Piskonen, Sami. 2022. Matalaenergisien lämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa Stirling-tekniikan avulla. Linkki: <https://www.theseus.fi/handle/10024/745017>

Ramboll / Oriveden kaupunki. 2025. Opas vihreän siirtymän hankkeiden ylijäämälämmön hyödyntämiseen. Linkki: <https://orivesi.fi/wp-content/uploads/2025/11/Julkinen-Loppuraportti-Vihrean-siirtymän-hankkeiden-ylijaamalampojen-hyodyntamisesta-Oriveden-Kaupunki-2025.pdf>

Savonia-ammattikorkeakoulu. 2026. Datakeskusten hukkalämpöjen hyödyntämisen mahdollisuudet. Linkki: <https://www.savonia.fi/artikkelit-pro/datakeskusten-hukkalampon-hyodyntamisen-mahdollisuudet/>

Savon Voima. 2022. Suonenjokelaisen Pakkasmarjan hukkalämmöt siirtyvät Savon Voiman kaukolämpöverkkoon. Linkki: <https://savonvoima.fi/suonenjokelaisen-pakkasmarjan-hukkalammot-siirtyvat-savon-voiman-kaukolampoverkkoon/>

Savon Voima. 2026. Savon Voima investoi Lapinlahdelle jätevedenpuhdistamon hukkalämpöjä hyödyntävään lämpöpumppuun. Linkki: <https://savonvoima.fi/savon-voima-investoi-lapinlahdelle-jatevedenpuhdistamon-hukkalampoja-hyodyntavaan-lampopumppuun/>

Savon Voima. 2026. Savon Voiman kaukolämmön päästöt laskivat viime vuodesta lähes kolmanneksen. Linkki: <https://savonvoima.fi/savon-voiman-kaukolammon-paastot-laskivat-viime-vuodesta-lahes-kolmanneksen/>

Savon Voima. Sähköverkko: verkkopalvelutuotteet kotitalouksille ja pienyrityksille. Linkki: <https://savonvoima.fi/kotitalouksille/sahkoverkko/verkkopalvelutuotteet/>

Valtioneuvosto. 2025. Selvityshenkilö ehdottaa useita toimia korkean lisäarvon datakeskusten saamiseksi Suomeen. Linkki: <https://valtioneuvosto.fi/-/selvityshenkilo-ehdottaa-useita-toimia-korkean-lisaarvon-datakeskusten-saamiseksi-suomeen>

Varkauden kaupunki. Merkittävä datakeskusinvestointi Varkauteen. Linkki: <https://varkaus.fi/fi/sivu/merkittava-datakeskusinvestointi-varkauteen>

Yli-Kojola, Sanna. 2020. Datakeskusten hukkalämmön hyödyntämismahdollisuudet: Organic Rankine -kiertoprosessin ja lämpöpumpun teknoekonominen vertailu. Linkki: <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/121531>