

Kemin Digipolis

Sähköintensiivisen teollisuuden hyötylämmön mahdollisuuksia Meri-Lapissa

Rev. 4
23.5.2025

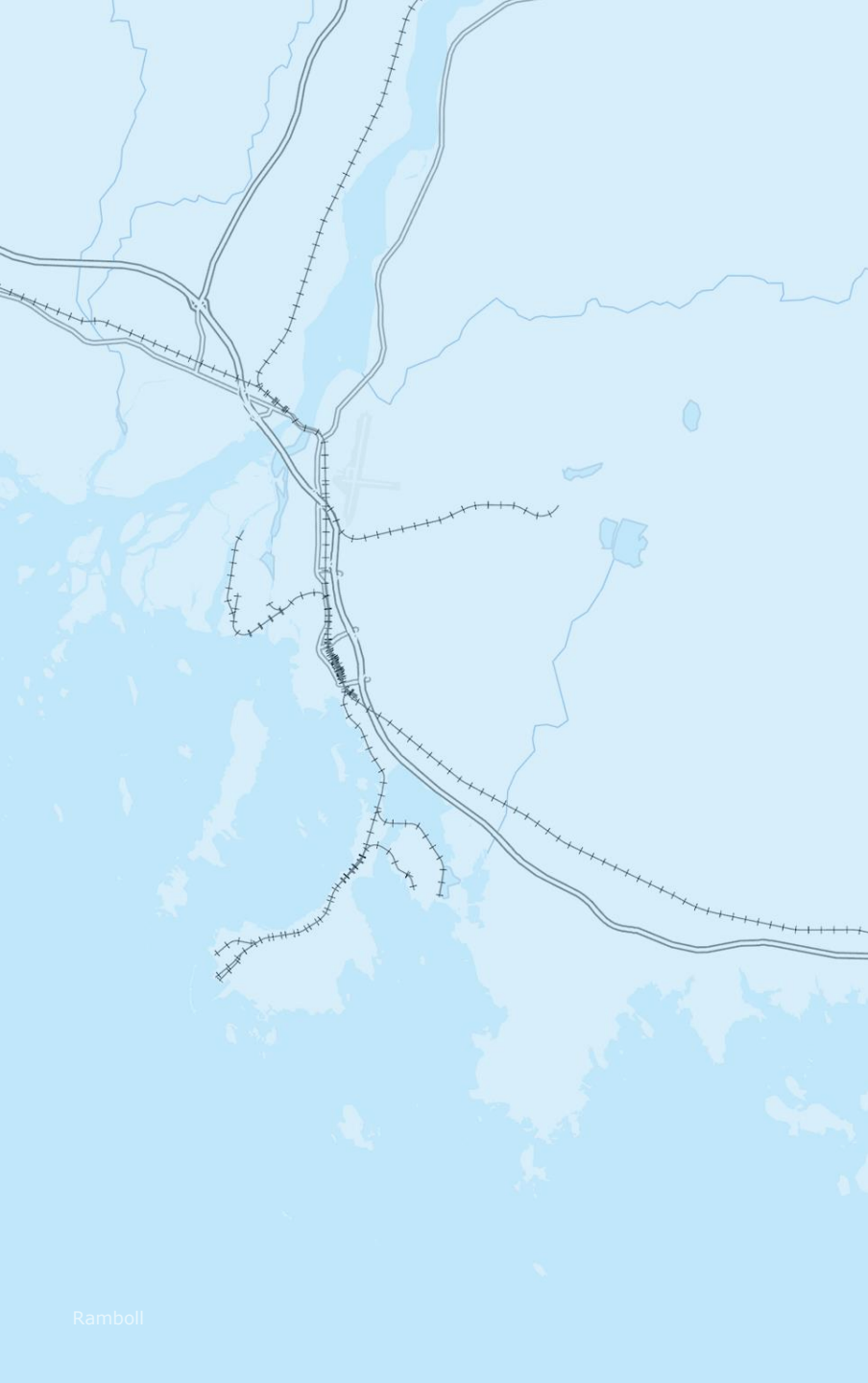
RAMBOLL

Bright ideas.
Sustainable change.



Sisällysluettelo

1	Johdanto
1.1	Meri-Lapin ja lähialueiden energia- ja teollisuushankkeet
1.2	Alueelliset suunnitelmat ja kaavakehitys
2	Hukkalämmön lähteet
2.1	Teollisuuden hukkalämpöpotentiaali
2.2	Vedyn tuotanto ja hukkalämpö
2.3	Datakeskusten lämpöprofiilit ja hyödyntämismahdollisuudet
3	Lämmön hyödyntämisen teknologiat ja ratkaisut
3.1	Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa
3.2	Kaukolämpöön kytkentä ja lämpöpumput
3.3	Matalalämpötilan lämmön suora käyttö ja EaaS-mallit
3.4	Kansainväliset tutkimus- ja esimerkkihankkeet
4	Paikallinen potentiaali ja esimerkkialueet
4.1	Invest In Veitsiluoto – kohteiden tarkastelu
4.2	Alueiden teknistaloudelliset tarkastelut
4.3	Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi
4.4	Etäisyyksien ja kustannusten vaikutukset
5	Yhteenveto ja suositukset
6	Lähteet ja liitteet



1	Johdanto
1.1	Meri-Lapin ja lähialueiden energia- ja teollisuushankkeet
1.2	Alueelliset suunnitelmat ja kaavakehitys
2	Hukkalämmön lähteet
2.1	Teollisuuden hukkalämpöpotentiaali
2.2	Vedyn tuotanto ja hukkalämpö
2.3	Datakeskusten lämpöprofiilit ja hyödyntämismahdollisuudet
3	Lämmön hyödyntämisen teknologiat ja ratkaisut
3.1	Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa
3.2	Kaukolämpöön kytkentä ja lämpöpumput
3.3	Matalalämpötilan lämmön suora käyttö ja EaaS-mallit
3.4	Kansainväliset tutkimus- ja esimerkkihankkeet
4	Paikallinen potentiaali ja esimerkkialueet
4.1	Invest In Veitsiluoto – kohteiden tarkastelu
4.2	Alueiden teknistaloudelliset tarkastelut
4.3	Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi
4.4	Etäisyyksien ja kustannusten vaikutukset
5	Yhteenveto ja suositukset
6	Lähteet ja liitteet

1. Johdanto

Työn tausta ja tavoitteet

Meri-Lapin alueella toimii merkittävää sähköintensiivistä teollisuutta, joka tuottaa huomattavia määriä hukkalämpöä. Tämä lämpö voidaan hyödyntää tehokkaasti kaukolämpöverkossa, teollisissa prosesseissa ja energiatehokkuutta parantavissa ratkaisuissa. Alueen uusiutuvan energian tuotannon, vedyn elektrolyysin ja datakeskusten rooli kasvaa, mikä lisää kiertotalouden ja energiankäytön optimoinnin merkitystä.

Kemi East -alue tarjoaa potentiaalisen sijoituspaikan sähköintensiiviselle teollisuudelle ja energiantuotannolle. Sen läheisyydessä sijaitsevat Fingridin sähköasema, kantaverkon voimajohdot ja mahdollinen vetyputkilinjaus, mutta teollisen toiminnan käynnistäminen edellyttää infrastruktuurin kehittämistä ja kaavamuuoksia.

Tämän työn tavoitteena on analysoida hyötylämmön hyödyntämismahdollisuuksia Meri-Lapissa, erityisesti sen vaikutuksia energiatehokkuuteen, talouteen ja ilmastotavoitteisiin. Lisäksi selvitetään Kemi East -alueen soveltuvuus teollisuus- ja energiainvestoinneille sekä kartoitetaan infrastruktuurin kehittämistarpeet. Työ tarjoaa kokonaiskuvan siitä, miten hyötylämpö, sähköverkot ja energiainfrastruktuuri voivat edistää alueen kestävä kehitystä ja teollista kasvua.

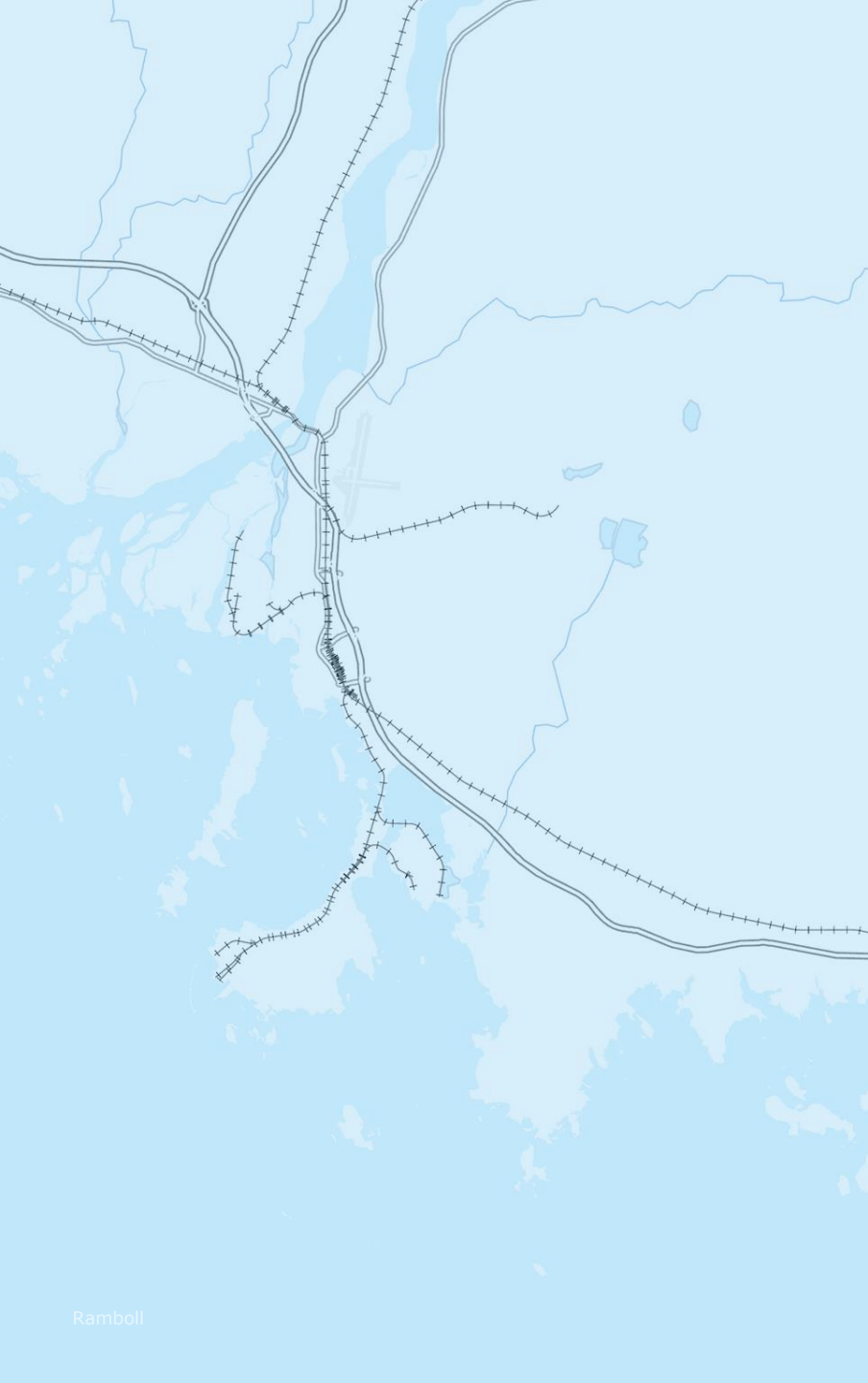
Työn lähtökohdat ja rajaukset

Tämä työ tarkastelee Meri-Lapin alueen sähköintensiivisen teollisuuden, energiainfrastruktuurin ja hukkalämmön hyödyntämisen mahdollisuuksia erityisesti kaupunkikehityksen, energiantuotannon ja teollisuuden tarpeiden näkökulmasta. Tarkastelun keskiössä on Kemi East -alue, jonka infrastruktuuri, kuten Fingridin sähköasema, kantaverkon voimajohdot ja kaavailtu vetyputkilinjaus, luovat potentiaalisen sijoituspaikan teollisuudelle ja energiantuotannolle.

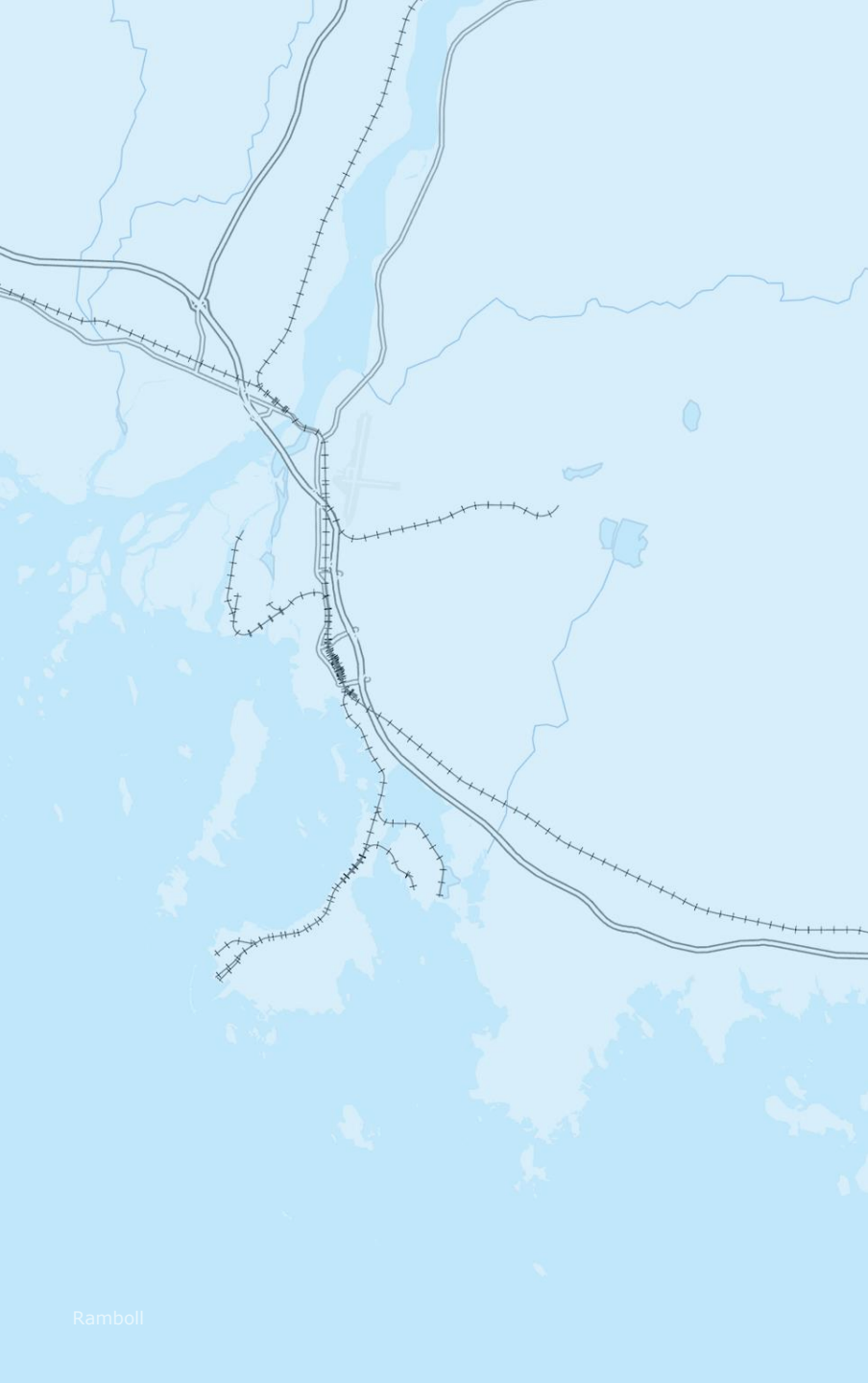
Työ keskittyy suuritehoiseen energiankäyttöön, vedyn tuotantoon ja hukkalämmön hyödyntämiseen, eikä tarkastele pienimuotoisia uusiutuvan energian hankkeita tai yksittäisten yritysten liiketoimintastrategioita.

Maantieteellisesti työ keskittyy Meri-Lapin teollisuus- ja energiainfrastruktuuriin. Ympäristölliset ja yhteiskunnalliset vaikutukset, kuten läheinen asutus, pohjavesialueet ja suojelukohteet, huomioidaan, mutta niiden tarkempi vaikutustarkastelu kuuluu jatkoselvityksiin.

Tavoitteena on tuottaa kokonaiskuva siitä, miten hyötylämpö, energiaverkot ja infrastruktuuri voivat edistää Meri-Lapin alueen teollista ja kaupunkikehitystä, pitäen tarkastelun strategisella ja aluekehityksen tasolla.



1	Johdanto
1.1	Meri-Lapin ja lähialueiden energia- ja teollisuushankkeet
1.2	Alueelliset suunnitelmat ja kaavakehitys
2	Hukkalämmön lähteet
2.1	Teollisuuden hukkalämpöpotentiaali
2.2	Vedyn tuotanto ja hukkalämpö
2.3	Datakeskusten lämpöprofiilit ja hyödyntämismahdollisuudet
3	Lämmön hyödyntämisen teknologiat ja ratkaisut
3.1	Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa
3.2	Kaukolämpöön kytkentä ja lämpöpumput
3.3	Matalalämpötilan lämmön suora käyttö ja EaaS-mallit
3.4	Kansainväliset tutkimus- ja esimerkkihankkeet
4	Paikallinen potentiaali ja esimerkkialueet
4.1	Invest In Veitsiluoto – kohteiden tarkastelu
4.2	Alueiden teknistaloudelliset tarkastelut
4.3	Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi
4.4	Etäisyyksien ja kustannusten vaikutukset
5	Yhteenveto ja suositukset
6	Lähteet ja liitteet



1	Johdanto
1.1	Meri-Lapin ja lähialueiden energia- ja teollisuushankkeet
1.2	Alueelliset suunnitelmat ja kaavakehitys
2	Hukkalämmön lähteet
2.1	Teollisuuden hukkalämpöpotentialiaali
2.2	Vedyn tuotanto ja hukkalämpö
2.3	Datakeskusten lämpöprofiilit ja hyödyntämismahdollisuudet
3	Lämmön hyödyntämisen teknologiat ja ratkaisut
3.1	Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa
3.2	Kaukolämpöön kytkentä ja lämpöpumput
3.3	Matalalämpötilan lämmön suora käyttö ja EaaS-mallit
3.4	Kansainväliset tutkimus- ja esimerkkihankkeet
4	Paikallinen potentiaali ja esimerkkialueet
4.1	Invest In Veitsiluoto – kohteiden tarkastelu
4.2	Alueiden teknistaloudelliset tarkastelut
4.3	Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi
4.4	Etäisyyksien ja kustannusten vaikutukset
5	Yhteenveto ja suositukset
6	Lähteet ja liitteet

Meri-Lapin ja lähialueiden energiainfrastruktuurihankkeet

Veitsiluodon datakeskus

Kemin Veitsiluodossa entisen Stora Enson paperitehtaan tiloihin avataan uusi datakeskus vuoden 2025 alussa. Keskusten sähkönottoteho tulee olemaan 70 MW, mikä mahdollistaa suuren kapasiteetin laskentatehon.

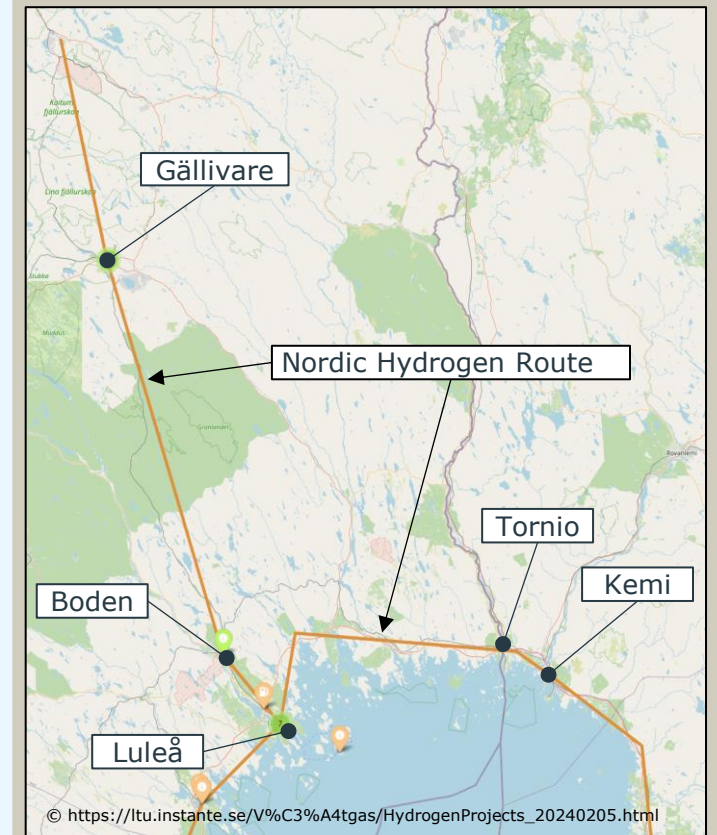
Vetyhankkeet Tornioon Arctio North -alueelle

- **Norwegian Hydrogen:** 20 hehtaarin aluevaraus vedyntuotantolaitokselle. Aluksi laitoksen tuotantokapasiteetti 50–100 MW, ja voitaisiin laajentaa 600 MW–1 GW laitokseksi. Suunniteltu valmistuvan 2026.
- **Verso Energy:** Aluevaraus vedyn ja synteettisen lentopolttoaineen tuotannolle.

Pohjois-Ruotsin vetytaloushankkeet

Pohjois-Ruotsissa on käynnissä useita merkittäviä vetyhankkeita, joiden tavoitteena on vähähiilisen teollisuuden kehittäminen ja vetytalouden vahvistaminen. Merkittävimpiä hankkeita ovat:

- **Nordic Hydrogen Route:** 1000 km pitkä rajat ylittävä vetyinfrastruktuuri, jonka tavoitteena on avoimen vetymarkkinan luominen Perämeren alueelle. Hanke on saanut EU-rahoitusta.
- **H2 Green Steel (Boden):** 700 MW:n elektrolyyserikapasiteetti, tähtää fossiilivapaan teräksen tuotantoon.
- **Hybrit Green Steel (Boden, Luleå):** Käyttää vetyä hiilidioksidivapaan teräksen tuotantoon.
- **Green Wolverine (Luleå):** Vedystä tuotettavan ammoniakkin tuotantolaitos, 600 MWe elektrolyyserikapasiteetti, suunniteltu valmistuvan 2026.
- **BothniaLinkH2 (Luleå):** Vedyntuotantolaitos, suunniteltu valmistuvan 2027, mutta tarkat tehotiedot eivät ole saatavilla.
- **Hybrit Demo (Gällivare):** Vedyn tuotantoon ja rautamalmiteollisuuden tarpeisiin suunniteltu laitos, 500 MWe elektrolyyserikapasiteetti, valmistuu 2025.



Meri-Lapin ja lähialueiden energiainfrastruktuurihankkeet

Vetyhankkeet Norjassa

Bodø'n puhtaan vedyn hanke

Bodøssä, Pohjois-Norjassa, kehitetään puhtaan vedyn tuotantoon keskittyvää hanketta. Hankkeen tavoitteena on rakentaa uusiutuvalla energialla toimiva vedyn tuotantolaitos, jonka elektrolyyserikapasiteetti on 30 MW. Ensimmäinen vaihe on suunniteltu valmistuvan vuoteen 2026 mennessä. Laitos tukee alueellista teollisuutta ja liikennettä, edistään samalla Norjan vihreää siirtymää.

Yaran uusiutuvan vedyn laitos

Porsgrunnissa Norjassa toimii uusiutuvan vedyn ja ammoniakkin pilottilaitos, jonka tavoitteena on korvata maakaasusta saatava vety elektrolyyttisesti tuotetulla vedyllä. Tämä mahdollistaa vähähiilisten lannoitteiden tuotannon, mikä pienentää ruoantuotannon hiilijalanjälkeä merkittävästi.

Norjan vetyst strategia

Norjan hallitus julkaisi kansallisen vetystategian kesäkuussa 2020, jonka tavoitteena on edistää vedyn turvallista käyttöä ja tuotantoa sekä kehittää Norjan vetytaloutta. Strategiassa korostetaan sekä sinisen että vihreän vedyn tuotantoa, hyödyntäen maan runsaita uusiutuvan energian varantoja ja vahvaa energia- sekä meriteollisuuden osaamista.

Hiilidioksidin varastointimahdollisuudet Norjassa

Norjalla on yli 27 vuoden kokemus hiilidioksidin turvallisesta varastoinnista geologisiin muodostumiin merenpohjan alle. Tämä tekee maasta johtavan toimijan hiilidioksidin talteenotto- ja varastointiteknologioissa (CCS).

Northern Lights -hanke

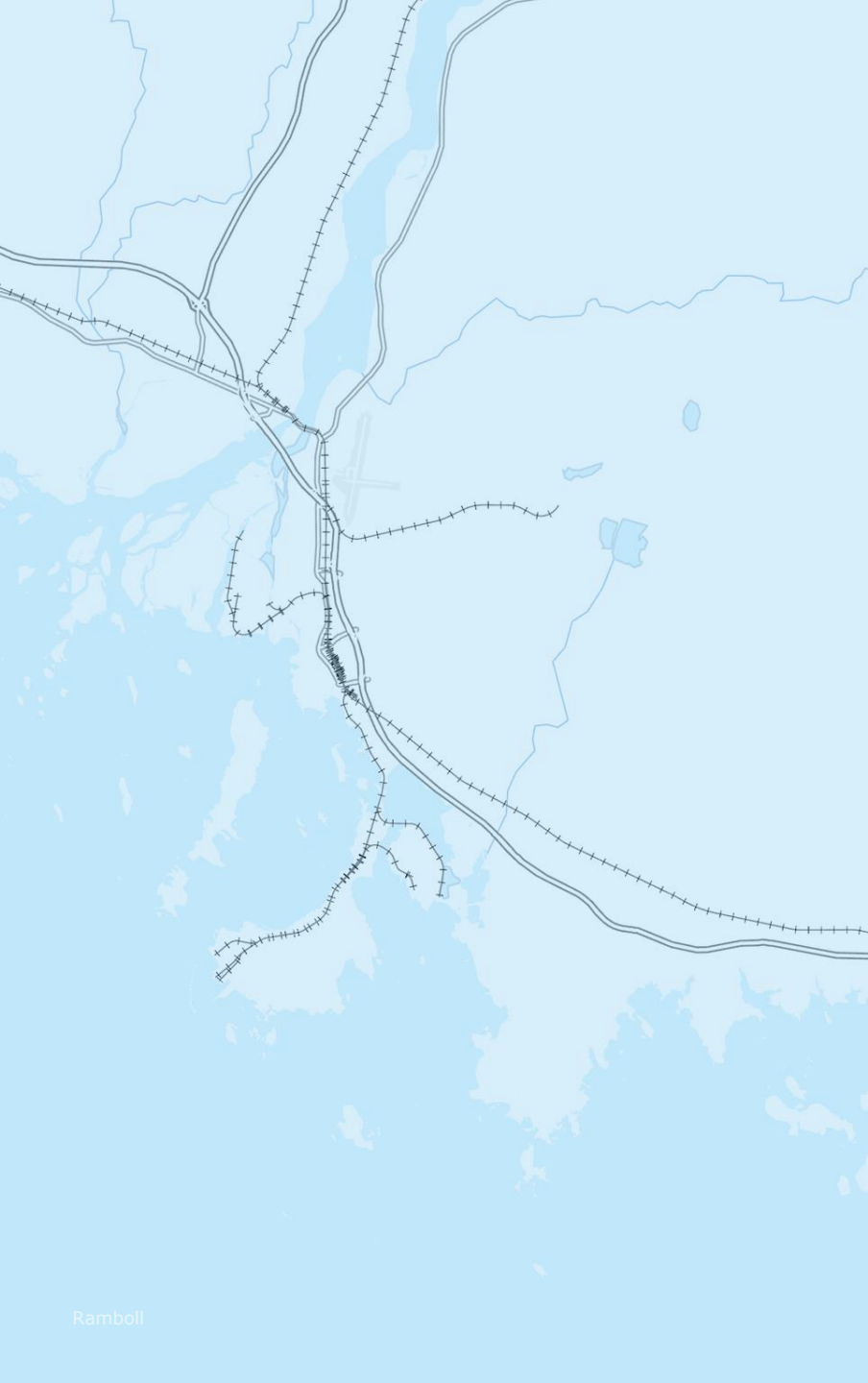
Norjan hallituksen tukema Northern Lights -hanke kehittää infrastruktuuria hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia varten. Hankkeen tavoitteena on mahdollistaa hiilidioksidin turvallinen varastointi Norjan mannerjalustaan, mikä auttaa vähentämään päästöjä sekä Norjassa että muissa Euroopan maissa.

Yhteistyö Suomen kanssa

Suomi ja Norja ovat sopineet yhteistyön käynnistämisestä hiilidioksidin kuljetusta ja varastointia koskien. Koska Suomen maaperä ei mahdollista hiilidioksidin pysyvää varastointia, yhteistyö Norjan kanssa tarjoaa suomalaisille yrityksille mahdollisuuden hyödyntää Norjan varastointimahdollisuuksia.



© <https://greenh.no/en/projects/>



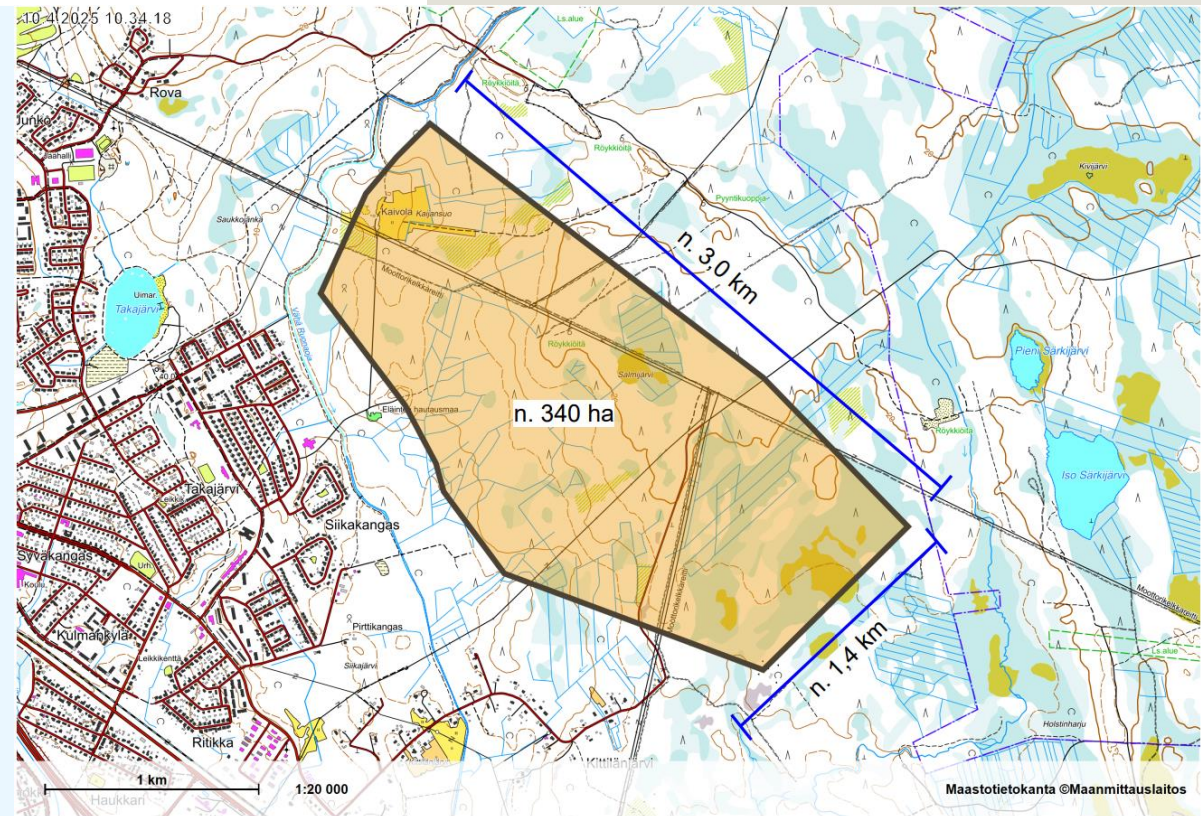
1	Johdanto
1.1	Meri-Lapin ja lähialueiden energia- ja teollisuushankkeet
1.2	Alueelliset suunnitelmat ja kaavakehitys
2	Hukkalämmön lähteet
2.1	Teollisuuden hukkalämpöpotentiaali
2.2	Vedyn tuotanto ja hukkalämpö
2.3	Datakeskusten lämpöprofiilit ja hyödyntämismahdollisuudet
3	Lämmön hyödyntämisen teknologiat ja ratkaisut
3.1	Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa
3.2	Kaukolämpöön kytkentä ja lämpöpumput
3.3	Matalalämpötilan lämmön suora käyttö ja EaaS-mallit
3.4	Kansainväliset tutkimus- ja esimerkkihankkeet
4	Paikallinen potentiaali ja esimerkkialueet
4.1	Invest In Veitsiluoto – kohteiden tarkastelu
4.2	Alueiden teknistaloudelliset tarkastelut
4.3	Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi
4.4	Etäisyyksien ja kustannusten vaikutukset
5	Yhteenveto ja suositukset
6	Lähteet ja liitteet

Kemi East -alueen potentiaali

Kemi East -alue kattaa 351 hehtaaria, ja sen nykyinen maankäyttö koostuu metsästä ja suosta, ilman olemassa olevia rakennuksia. Saavutettavuus on tällä hetkellä kohtalainen, mutta se paranisi huomattavasti, jos yleiskaavassa osoitettu tievaraus toteutuisi.

Alue sijaitsee sähköverkon kannalta edullisesti, sillä Fingridin Kittilänjärven sähköasema on alueen pohjoisosassa, ja kantaverkon 110 kV voimajohto Isohaara-Simojoki kulkee alueen pohjoisreunalla. Lisäksi Kittilänjärven sähköasemalta haarautuu kolme 110 kV voimajohtoa, mikä mahdollistaa sähkönsyötön ja siirron tehokkaasti.

Lähin kaukolämpöverkko sijaitsee noin 1 km länteen Takajärven alueella, ja alueen läheisyydessä on myös kaasuputken mahdollinen linjaus. Dataverkko kulkee valtatie 4 ja rautatien suuntaisesti hieman kauempana alueen länsipuolella. Gasgridin alustavan vetyputken linjauksen läntisempi vaihtoehto kulkee alueen itäosan poikki, mikä tarjoaa mahdollisuuksia vetyteollisuuden sijoittumiselle alueelle.



Kemi East -alueen potentiaali

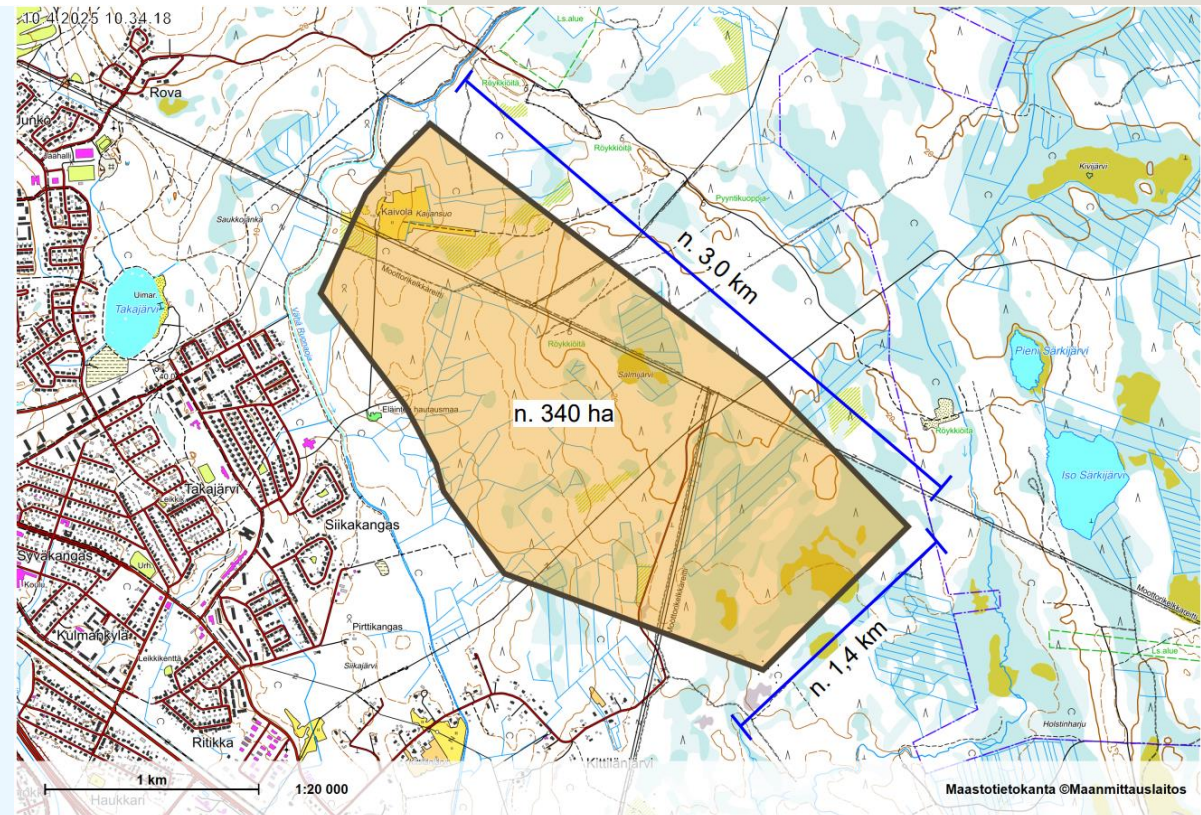
Mahdolliset käyttötarkoitukset:

Alueelle voidaan sijoittaa suurta energiankulutusta vaativaa toimintaa, ja siellä on myös mahdollisuus sähköntuotantoon joko verkkoon tai alueelle sijoittuville toimijoille. Lisäksi alue sopii toiminnalle, jonka tuotantoprosessi vaatii makean veden lähteitä.

Nykyinen yleiskaava ei tue teollisen toiminnan sijoittamista alueelle, joten sen käyttöönotto teollisuuskäyttöön edellyttää yleiskaavan päivittämistä. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös läheinen asutus, pohjavesialue sekä alueella sijaitseva muinaisjäännöskohde.

Alue soveltuu sijaintinsa, saavutettavuutensa ja infrastruktuurinsa puolesta seuraaville laitostyypeille:

- **Aurinkovoima ja siihen liittyvä energiantuotanto**
- **Aurinkokennojen ja akkujen valmistus**
- **Muu teollisuustoiminta**
- **Vedyn elektrolyysi ja sen johdannaiset**
- **Pienydinvoima**



Alueelliset suunnitelmat Asemakaavamuutokset

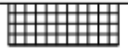
Kemin kaavoituskatsaus 2025

- Alueelle mahdollisesti kaavoitettavat logistiikkakeskukset, teollisuus tai palvelut voivat luoda mahdollisuuksia hukkalämmön hyödyntämiseen.
- T-kem alueelle voi houkutella toimijoita, jotka hyödyntävät alueen energiaressseja
- Lentokentän vieressä voisi olla mahdollisuuksia energiatehokkaille logistiikka- tai tuotantoratkaisuille, joissa hukkalämpöä voidaan hyödyntää.
- Hukkalämmön hyödyntämisen kannalta kiinnostavat asemakaavamuutokset:
 - **Uusi hotelli**
 - **Uusi yläkoulu**
 - **Uusi jätevedenpuhdistamo**
 - **Palvelurakentamisen korttelialueen sekä teollisuusalueen muuttaminen T-Kem alueeksi**
 - **Kiertotalousyrityksen käytössä olevan alueen laajentaminen**
 - **Uusi uimahalli**



Alueelliset suunnitelmat Hotelli

- Asemakaavamuutos on tullut vireille Kemin kaupunginhallituksen 10.2.2025 § 38 hyväksymän kaavoituskatsauksen yhteydessä.
- Asemakaavan muutoksen tavoitteena on mahdollistaa Kemin Matkailu Oy:n hotellihanke LumiLinnan yhteyteen.
- Asemakaavamuutoksen laadinnan kohteena on Mansikkakanpuiston itäpuolelle sijoittuva matkailualue, jolle sijoittuu nykyisellään LumiLinna ja siihen liittyvää matkailutoimintaa.
- [Nähtävillä ja vireillä olevat sekä hyväksytyt kaavat | Kemi](#)

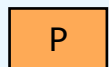
RM	Matkailua palvelevien rakennusten korttelialue
W	Vesialue
VL	Lähivirkistysalue
	Katuaukio



Alueelliset suunnitelmat

Ajoksen teollisuusalue

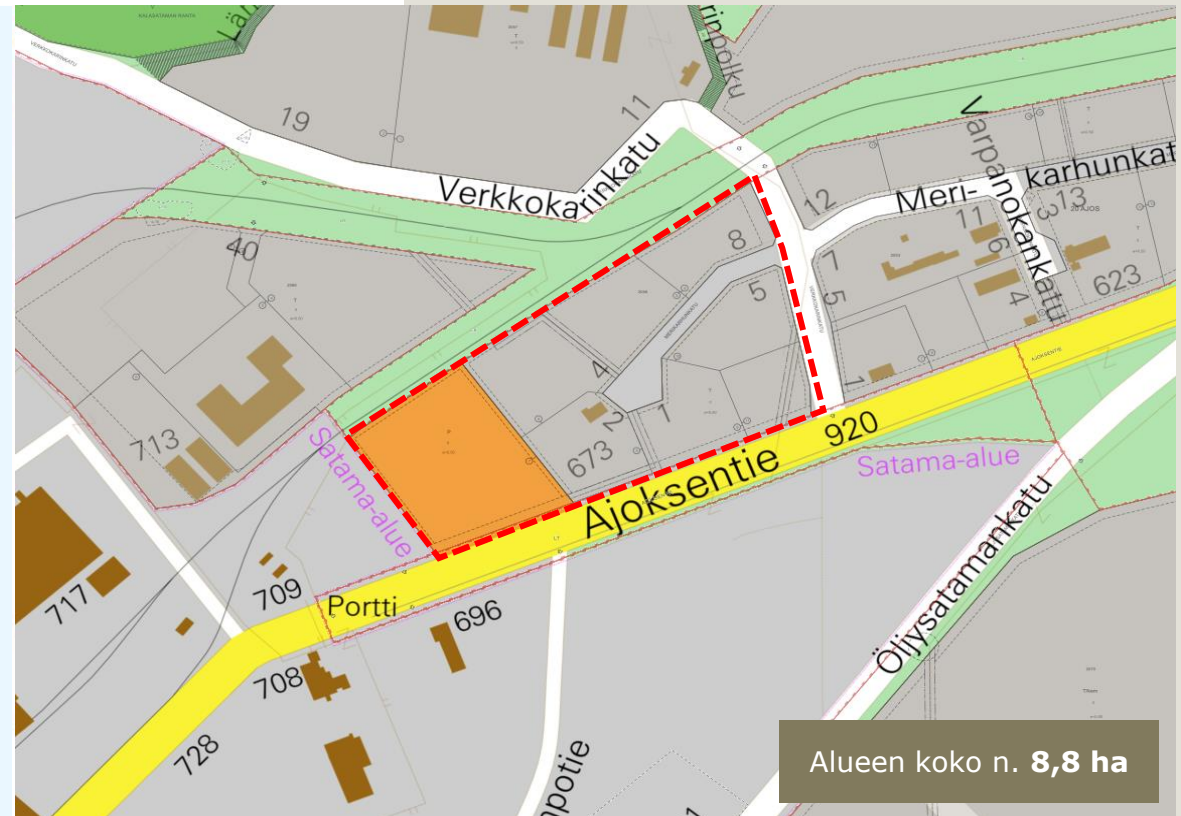
- Ajoksentien päässä oleva palvelurakentamisen korttelialue sekä lähiympäristön teollisuusalue on tavoitteena muuttaa laajemmin tarpeisiin sopivaksi T-kem-korttelialueeksi.
- T-kem: "Teollisuus- ja varastorakennusten korttelialue, jolla on/ jolle saa sijoittaa merkittävän, vaarallisia kemikaaleja valmistavan tai varastoivan laitoksen."



Palvelujen alue



Teollisuus- ja varastoalue

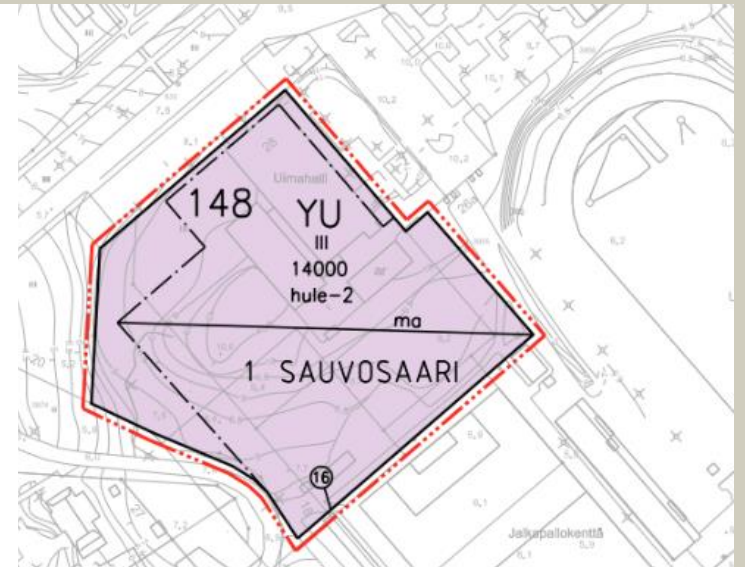


Alueelliset suunnitelmat

Uimahalli

- Kemin uimahalli ei kuulu valtakunnallisesti arvokkaaseen aluekokonaisuuteen, mutta se sijaitsee keskeisellä paikalla Meripuistokadun varressa arvoalueiden laidalla
- Asemakaavassa on varauduttu uimahallirakennuksen laajentamiseen olemassa olevien rakennusten kaakkois- ja lounaispuolille.
- Kemin kaupungin tilapalvelu haki uimahallin vanhalle osalle purkulupaa rakennusvalvonnasta 21.6.2022. Purkulupaa ei voitu myöntää ilman kaavamuutosta, koska uimahalli oli suojeltu asemakaavassa merkinnällä sr-1.
- Suojelumerkinnän poistaminen onnistui, ja purkulupa uimahallille on myönnetty
- [Lainvoima 25.9.2024](#)
- Uuden uimahallin rakentaminen nykyiselle uimahallin tontille on tarkoitus käynnistyä vuoden 2027 aikana ja uuden hallin on määrä valmistua vuoteen 2029 mennessä.
- Uuden uimahallin energiankulutuksen ei odoteta ylittävän nykyisen uimahallin energiantarvetta.

	Urhellutolmintaa palvelevien rakennusten korttialue.
	3 m kaava-alueen rajan ulkopuolella oleva viiva.
	3 m asemakaava-alueen ulkopuolella oleva viiva, jonka sisäpuolelta asemakaavamerkinnot ja määräykset poistetaan.
	Kortteli, kortteli- ja alueen raja.
	Sitovan tonttijäon mukaisen tontin raja ja numero.
	Rakennuskoikeus kerrosalanellömetreinä.
	Roomalainen numero osoittaa rakennusten, rakennuksen tai sen osa suurimman sallitun kerrosluvun.
	Rakennusala.
	Maanlainen tila.
	Korttelin numero.
	Kaupunginosan numero.
	Kaupunginosan nimi.
	Rakennuslupa-asiatkijoihin tulee sisältyä hulevesten (mukaan lukien kattovedet) hallintasuunnitelma.



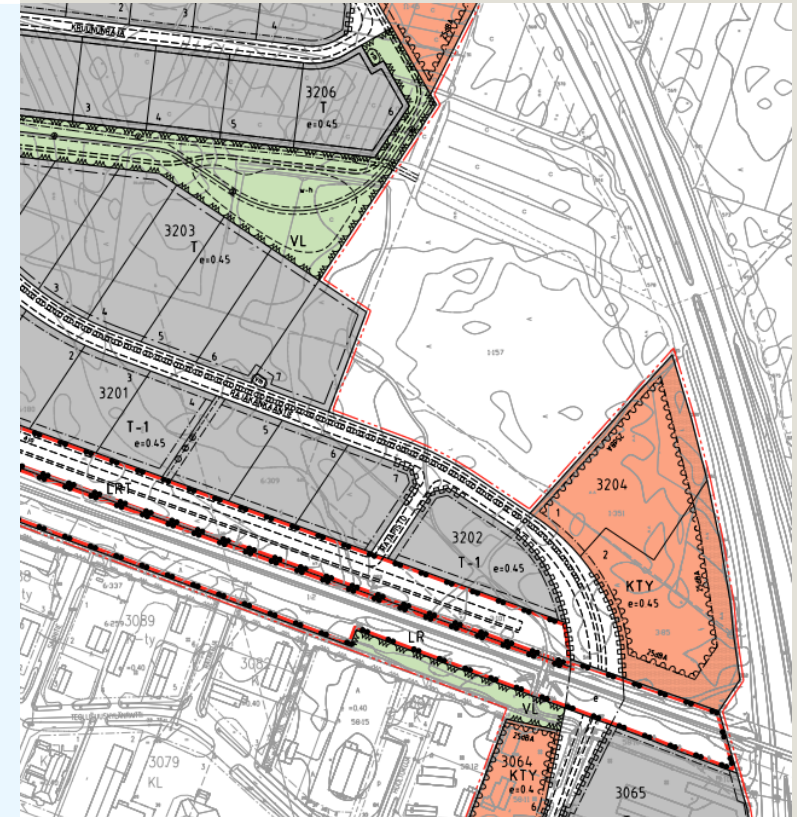
Alueelliset suunnitelmat Lentokenttä

- [Yle: Pienellä Lapin lentokentällä on tärkeä vaikutus isojen yritysten toimintaan](#)
- Tällä hetkellä kentän toiminta on turvattu valtion tuella vuoteen 2026 asti.
- ”Meri-Lapissa on merkittäviä vientiteollisuuden toimijoita. Alueella sijaitsevat esimerkiksi Tornion terästehdas, Kemin biotuotetehdas, Outokummun Kemin-kaivos ja Veitsiluodon saha. Ensisijaisen tärkeää on, että yritys- ja projektijohto pääsee liikkumaan ja lähellä on hyvä lentoasema.”
- [HS: Finavia: Valtion pitäisi lopettaa maakuntalentojen ostaminen](#)
- Vuoden 2025 alussa lentoasemayhtiö Finavia esitti, että Suomen lentoliikenne palautettaisiin markkinaehtoiseksi. Tämä tarkoittaisi valtion maakuntalentojen ostopalveluliikenteen lopettamista. Finavia myös sanoo, että lentoasemaverkostoa voitaisiin optimoida eli karsia aitoa kysyntää vastaavaksi.
- [Lapinkansa: Finavia haluaisi karsia maakuntien lentoasemaverkostoa](#)
- Kemi-Tornion ylläpidosta aiheutuu suhteellisen paljon kustannuksia → Finavian ehdotus on hälyttävä viesti
- [Kemin kaavoituskatsaus 2025](#)
- **Lentokentäntien pohjoispuolen asemakaava** = Asemakaavoittamaton alue otetaan tarkasteltavaksi ja tavoitteena on osoittaa se yleiskaavan mukaisesti palvelujen, teollisuuden sekä yritystoimintojen käyttöön. Asemakaava on valmisteluvaiheessa.



Alueelliset suunnitelmat Rajakankaan yrityspuisto

- Sijaitsee Keminmaalla
- Asemakaavamuutoksia Keminmaalle ei ole vireillä
- Rajakankaan yrityspuisto on Meri-Lapin ytimessä, ja sinne on varattu tilaa liiketoiminnalle
- Tilaa on varattu esim. teollisuusraiteelle
- [Tontit ja yritysalueet - Keminmaa](#)





- 1 Johdanto
 - 1.1 Meri-Lapin ja lähialueiden energia- ja teollisuushankkeet
 - 1.2 Alueelliset suunnitelmat ja kaavakehitys

2 Hukkalämmön lähteet

- 2.1 Teollisuuden hukkalämpöpotentiaali
- 2.2 Vedyn tuotanto ja hukkalämpö
- 2.3 Datakeskusten lämpöprofiilit ja hyödyntämismahdollisuudet
- 3 Lämmön hyödyntämisen teknologiat ja ratkaisut
 - 3.1 Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa
 - 3.2 Kaukolämpöön kytkentä ja lämpöpumput
 - 3.3 Matalalämpötilan lämmön suora käyttö ja EaaS-mallit
 - 3.4 Kansainväliset tutkimus- ja esimerkkihankkeet
- 4 Paikallinen potentiaali ja esimerkkialueet
 - 4.1 Invest In Veitsiluoto – kohteiden tarkastelu
 - 4.2 Alueiden teknistaloudelliset tarkastelut
 - 4.3 Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi
 - 4.4 Etäisyyksien ja kustannusten vaikutukset
- 5 Yhteenveto ja suositukset
- 6 Lähteet ja liitteet



1	Johdanto
1.1	Meri-Lapin ja lähialueiden energia- ja teollisuushankkeet
1.2	Alueelliset suunnitelmat ja kaavakehitys
2	Hukkalämmön lähteet
2.1	Teollisuuden hukkalämpöpotentiaali
2.2	Vedyn tuotanto ja hukkalämpö
2.3	Datakeskusten lämpöprofiilit ja hyödyntämismahdollisuudet
3	Lämmön hyödyntämisen teknologiat ja ratkaisut
3.1	Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa
3.2	Kaukolämpöön kytkentä ja lämpöpumput
3.3	Matalalämpötilan lämmön suora käyttö ja EaaS-mallit
3.4	Kansainväliset tutkimus- ja esimerkkihankkeet
4	Paikallinen potentiaali ja esimerkkialueet
4.1	Invest In Veitsiluoto – kohteiden tarkastelu
4.2	Alueiden teknistaloudelliset tarkastelut
4.3	Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi
4.4	Etäisyyksien ja kustannusten vaikutukset
5	Yhteenveto ja suositukset
6	Lähteet ja liitteet

Hukkalämmön hyödyntäminen

Teollisuudessa voi syntyä tuotantoprosessien yhteydessä ylimääräistä hukkalämpöä, jota ei suoraan sellaisenaan hyödynnetä osana prosessia ja joka vapautuu ympäristöön ilman talteenottoa

Teollisuuslaitoksen hukkalämpö

Hukkalämmön muodostuminen mm. palamisprosessit, koneiden ja laitteiden toiminta, jäähdytysjärjestelmät, kemialliset prosessit

Ottamalla hukkalämpö talteen, voidaan sitä hyödyntää muissa teollisuuden prosesseissa, elinkeinoelämän tai asumisen tarpeissa. Erityisesti suurten teollisuuslaitosten myötä voi syntyä alueellisesti huomattava määrä hukkalämpöä, josta muut toimijat voivat synergisesti hyötyä.

Ohessa on esitetty esimerkkejä hukkalämmön hyödyntämismahdollisuuksia eri sektoreilla. Hukkalämpö muodostuu teollisuuslaitoksissa muun muassa palamisprosesseista, koneiden ja laitteiden toiminnasta, jäähdytysjärjestelmistä sekä kemiallisista prosesseista. Tämä ylimääräinen lämpö voidaan ottaa talteen ja käyttää uudelleen monilla eri aloilla, kuten teollisuudessa, energiantuotannossa, matkailussa ja asumisessa.

Teollisuuden hukkalämpö voi palvella monia eri toimialoja, ja sen hyödyntäminen voi vähentää primäärienergian tarvetta, pienentää hiilijalanjälkeä ja parantaa energiatehokkuutta laajasti yhteiskunnassa

Metsäteollisuus

Käyttökohteita: Materiaalien kuivaus, tilojen lämmitys, tuotantoprosessien esilämmitys, muut tuotantoprosessit

Elintarviketeollisuus

Käyttökohteita: kasvihuoneiden lämmitys, kasvatustilojen ja -altaiden lämmitys (hyönteiset, sienet, kalat, levät), bioreaktoriviljely, materiaalien kuivaus

Muu valmistava teollisuus

Käyttökohteita: Tilojen lämmitys, tuotantoprosessien esilämmitys, muut tuotantoprosessit

Energiateollisuus

Käyttökohteita: Uusiutuvan energian tuotanto, energian varastointi, tuotantoprosessien esilämmitys

Matkailu

Käyttökohteita: Tilojen ja käyttöveden lämmitys, kylpylät ja uimahallit

Asuminen

Käyttökohteita: Tilojen lämmitys



1	Johdanto
1.1	Meri-Lapin ja lähialueiden energia- ja teollisuushankkeet
1.2	Alueelliset suunnitelmat ja kaavakehitys
2	Hukkalämmön lähteet
2.1	Teollisuuden hukkalämpöpotentiaali
2.2	Vedyn tuotanto ja hukkalämpö
2.3	Datakeskusten lämpöprofiilit ja hyödyntämismahdollisuudet
3	Lämmön hyödyntämisen teknologiat ja ratkaisut
3.1	Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa
3.2	Kaukolämpöön kytkentä ja lämpöpumput
3.3	Matalalämpötilan lämmön suora käyttö ja EaaS-mallit
3.4	Kansainväliset tutkimus- ja esimerkkihankkeet
4	Paikallinen potentiaali ja esimerkkialueet
4.1	Invest In Veitsiluoto – kohteiden tarkastelu
4.2	Alueiden teknistaloudelliset tarkastelut
4.3	Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi
4.4	Etäisyyksien ja kustannusten vaikutukset
5	Yhteenveto ja suositukset
6	Lähteet ja liitteet

Elektrolyyseri

Elektrolyyseri on laite, jossa tapahtuu elektrolyysi eli veden halkaiseminen vedyksi ja hapeksi sähköenergialla

Yleisimmät Suomessa suunnitteilla olevat elektrolyyseri teknologiat

Alkalielektrolyysi (AEL)

- Kypsin ja markkinaosuutta eniten vallannut teknologia
- Prosessilämpötila: 60-80 °C
- Operointipaine: 30 bar

Protoninvaihtomembraani-elektrolyysi (PEM)

- Markkinaosuutta nopeasti vallannut teknologia
- Kehitysaste lähenee valmistumista
- Prosessilämpötila: 50-80 °C
- Operointipaine: 30-40 bar

Kiinteäoksidi-elektrolyysi (SOEC)

- Vielä varhaisessa kaupallistamis- ja pilotointivaiheessa
- Lupaava mutta vielä kehittyvä teknologia
- Prosessilämpötila: 600-850 °C
- Operointipaine: 1-5 bar

Case Luulaja1

Tutkimus Luulajaan sijoitettavan elektrolyyserin hukkalämmöstä:

100 MW AEL → 310 630 MWh
hukkalämpöä vuodessa

100 MW PEM → 203 060 MWh
hukkalämpöä vuodessa



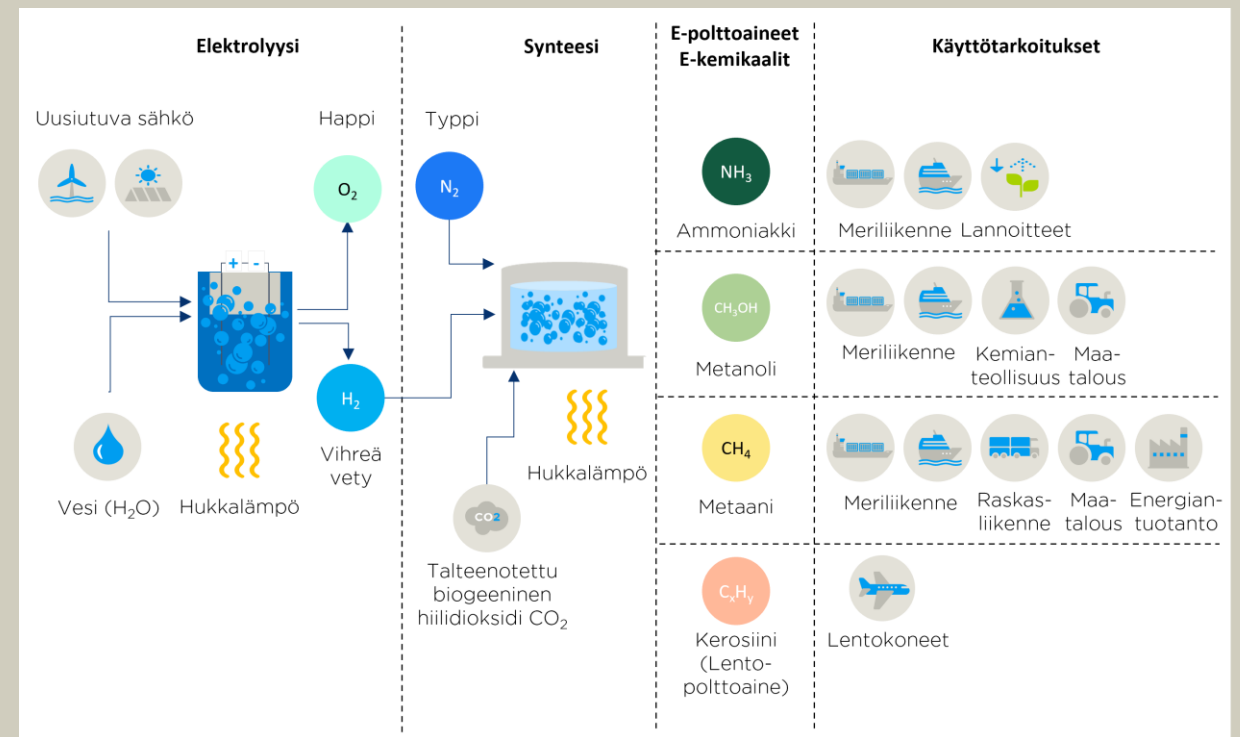
PEM kuluttaa noin 21 % vähemmän vettä verrattuna AEL, sillä PEM muuttaa sähköä tehokkaammin vedyksi, jonka seurauksen myös hukkalämpöä syntyy vähemmän.

Lähteet: 1<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1670187/FULLTEXT01.pdf>

2Elektrolyysiteknologioiden edit ja haitat, Juuso Klemi opinnäytetyö

Elektrolyysi – Vedyn jatkojalostaminen

- Elektrolyysillä tuotettu vety voidaan käyttää sellaisenaan tai jatkojalostaa.
- Jalostusprosessissa on eri syötteitä jalosteesta riippuen – esimerkiksi ammoniakintuotanto vaatii syötteen typpikaasua, metanolin- ja metaanintuotanto vaatii hiilidioksidia.
- Jalostamalla vetyä, mahdollisten käyttötarkoitusten määrä kasvaa. Vety ja sen jalosteet ovat hyödyllisiä mm. liikennepolttoaineena, kemian- ja prosessiteollisuudessa, lannoitetuotannossa ja sähköntuotannossa säätövoimakomponenttina.
- Säätövoima-ajatus perustuu uusiutuvan sähköntuotannon vaihteluun: vetyä tuotetaan uusiutuvalla ylijäämä sähköllä, ja vedyllä tuotetaan sähköä, kun uusiutuvaa sähköntuotantoa ei ole tarpeeksi.
- Prosessin eri vaiheissa syntyy hukkalämpöä, jota voidaan hyödyntää teollisuuden tai kaukolämmön tarpeisiin. Toinen merkittävä sivutuote on elektrolyysin happi, jonka mahdollisia käyttökohteita ovat prosessiteollisuus ja elintarviketeollisuus.



Milloin vety ja synteettiset polttoaineet määritellään uusiutuvaksi energiaksi?

RFNBO kriteeristö

RFNBO-polttoaineiden täytyy täyttää kolme kriteeriä:

1. käytöstä tulisi saavuttaa vähintään 70 % kasvihuonekaasupäästövähennys
 2. Hiilidioksidi (CO_2) on peräisin sallitusta lähteestä
 3. Käytetty sähkö täyttää uusiutuvan sähkön kriteerit
- Kaikki tuotantolaitoksen tuottama vihreä vety ja RFNBO-polttoaineet lasketaan uusiutuviksi jos:
 1. Uusiutuva sähköntuotanto on kytketty suoraan tuotantolaitokseen ja
 1. Uusiutuvan energian tuotantolaitos aloittaa toiminnan samaa aikaa tai jälkeen kun polttoaineen tuotantolaitos (aikaisintaan 36 kk)
 2. Uusiutuvan energian tuotantolaitos ei ole yhteydessä verkkoon
 2. Tai käytetään verkkosähköä, mutta voidaan osoittaa verkkosähkön olevan uusiutuvaa ja se täyttää delegoidun asetuksen säännöt. Keskeisimpiä kriteerejä:
 - Täydentävyys/lisäisyysperiaate: uusiutuvan energian tuotannon käyttöönotto < 36kk ennen RFNBO:n tuotantoa ja PPA-sopimus
 - Verkkosähkön päästöintensiteetti < 65 g $\text{CO}_2\text{eq}/\text{kWh}$ + PPA + maantieteellinen & ajallinen korrelaatio + taseselvitykset
 - Yli 90 % verkkosähköstä on uusiutuvaa.
 - Jos verkkosähkö ei täytä asetuksen kriteerejä, vain osa tuotantolaitoksen vedystä ja polttoaineesta katsotaan uusiutuvaksi.
 - Suomen verkkosähkön tuotannon uskotaan jäävän tulevaisuudessa alle päästörajoituksen.

EU:n ohjaus

Elektrolyysillä valmistettu vety ei aina täytä uusiutuvan vedyn määritelmää. Vedyn luokitteluun pohjautuu uusiutuvan energian direktiiviin RED III sekä sen täydentäviin delegoituihin asetuksiin

EU:n kesäkuussa 2023 hyväksymä delegoitu asetus:

- Määrittelee ehdot milloin vety, vetypohjaiset tai muut energiakuljettimet voivat lukeutua ei-biologista alkuperää olevaksi uusiutuvaksi polttoaineeksi (RFNBOs)
- Mikä määritellään uusiutuvaksi energiaksi

Säännösten valmistelu on vielä kesken EU-tasolla, joten seuraavat kriteerit voivat muuttua.

RFNBO-polttoaineille asetetut kriteerit voidaan jakaa karkeasti kolmeen osaan.



Elektrolyysarit

Lämpötilan vaikutus

PEM-elektrolyysiin

PEM-elektrolyysi toimii tehokkaammin korkeammissa lämpötiloissa, sillä entropian muutos on vähäinen, mikä parantaa sen vakautta ja suorituskykyä. Liian korkea lämpötila voi kuitenkin kuivattaa elektrolyysin kalvon, mikä heikentää protonien kulkua anodilta katodille ja siten kennon hyötysuhdetta. Märkä protoninvaihtokalvo onkin ratkaiseva tehokkaan protonien siirtymisen kannalta.

Lämpötilan nousu nopeuttaa sähkökemiallista reaktiota ja parantaa hyötysuhdetta, mutta lisää samalla vuotovirtoja ja voi aiheuttaa vedyn siirtymistä katodipuolelle, mikä vahingoittaa bipolaarilevyjä, katalyyttiä ja tiivisteitä. Jatkuva käyttö korkeissa lämpötiloissa lyhentää kennon käyttöikää. Suorituskyky riippuu muun muassa rakenteesta, komponenttien suunnittelusta, kemiallisesta koostumuksesta ja käyttöolosuhteista.

AEL-elektrolyysiin

Paineella ei ole merkittävää vaikutusta vedyn virtausnopeuteen, kennon jännitteeseen, kennoston tehoon tai järjestelmän hyötysuhteeseen. Sen sijaan korkeampi lämpötila parantaa sähkökemiallista hyötysuhdetta, mikä näkyy matalampina jännitteinä ja pienempinä tehontarpeina, vähentäen energiakustannuksia ja parantaen energiatehokkuutta.

Lämpötilan nostolla on kuitenkin rajoitteita. Elektrodien hapettuminen ja passivoituminen heikentävät suorituskykyä, ja liian korkea lämpötila voi alentaa veden aktiivisuutta elektrolyyttiliuoksessa, mikä kuivattaa sitä liiallisesti. Näiden rajoitteiden hallinta on tärkeää elektrolyysin optimaaliselle toiminnalle.

Optimointi

Elektrolyysin lämpötilan optimointi on tärkeää laitoksen tehokkuuden ja kannattavuuden kannalta. Oikea lämpötila tehostaa vedyn tuotantoa, mutta siihen vaikuttavat monet tekijät.

Vaikutukset tuotantoprosessiin:

Korkeampi lämpötila voi parantaa sähkökemiallista hyötysuhdetta, alentaa kennon jännitettä ja pienentää energiankulutusta. Toisaalta liian korkea lämpö voi vaurioittaa elektrodeja ja heikentää elektrolyytin ominaisuuksia, mikä heikentää suorituskykyä.

Kannattavuus:

Vaikka korkeampi lämpötila voi parantaa hyötysuhdetta ja pienentää energiakustannuksia, se voi myös lisätä materiaalien kulumista ja huoltokustannuksia. Optimointi vaatii tasapainoa teknisten ja taloudellisten tekijöiden välillä.

Vaikuttavat tekijät:

- Elektrolyysin tyyppi (esim. AEL, PEM) reagoi eri tavoin lämpötilaan.
- Käyttöolosuhteet, kuten paine, virtausnopeus ja elektrolyytin koostumus, vaikuttavat optimointiin.
- Taloudelliset seikat, kuten energia-, materiaali- ja huoltokustannukset, ohjaavat päätöksiä.

Lähteet:

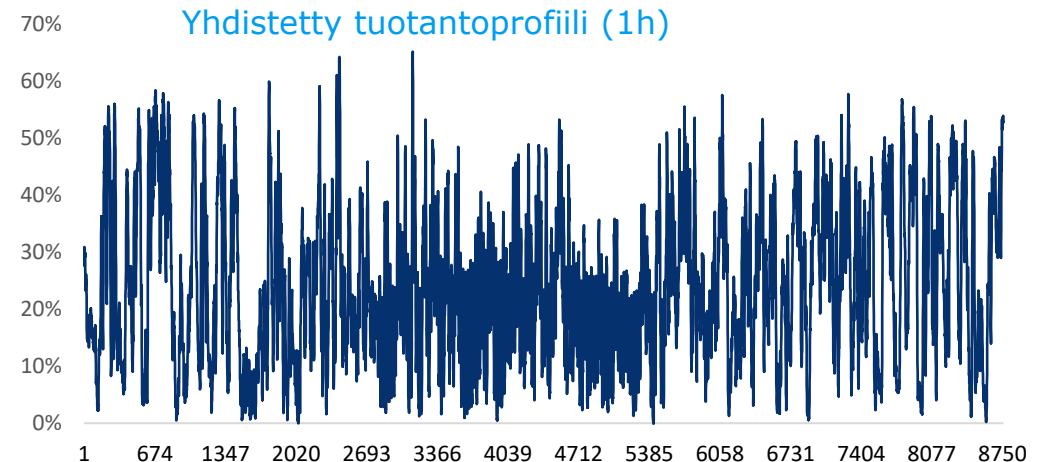
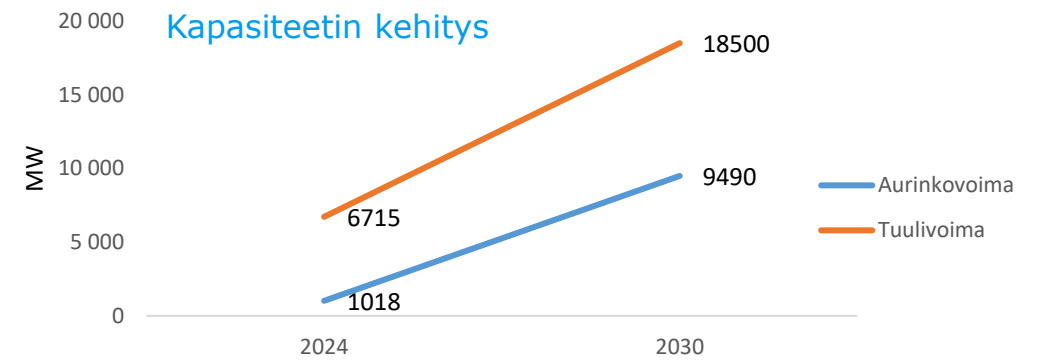
Ganley, J.C. (2009). High temperature and pressure alkaline electrolysis. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.02.083>
Azuan, M., Yahaya, N.Z., Melinda, A. & Umar, M.W. (2019). Effect of temperature on performance of advanced alkaline electrolyzer. <https://www.sci-int.com/pdf/637054513794717651.pdf>
Vuorinen, L. (2019). Kannattavuusmalli datakeskuksen hukkalämmön hyödyntämiseen kaukolämpöverkossa. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201902043985>

Elektrolyysit - Lämpötila

Lämpötilan vaikutus

- **Elektrolyysin hukkalämpö**
Hukkalämmön määrä riippuu käyttötilasta ja ajotavasta. Vihreän vedyn tuotanto vaihtelee uusiutuvan energian, kuten tuuli- ja aurinkovoiman, saatavuuden mukaan. Jatkuva nimellisteholla toiminta tuottaa tasaista lämpöä, kun taas sähkön hinnan mukaan optimoitu käyttö vaihtelevampaa. Suomessa pieni sähköntuotannon päästökerroin vähentää tarvetta tarkkaan uusiutuvan energian seurantaan.
- **Hukkalämpöön vaikuttavat tekijät:**
 - Vuosittaiset käyttötunnit ja tuotantoteho
 - Huoltoseisokit
 - Tuulivoiman vaihtelut
 - Käyttötilat:
 - **ON:** Normaali käyttö (5–100 %)
 - **STANDBY:** Ei tuotantoa, mutta lämpö ja paine ylläpidetään
 - **OFF:** Sammutus, lämpötila laskee ympäristön tasolle
- Elektrolyysin kuormansietokyky, käynnistysajat ja valmiustilan häviöt vaikuttavat joustavuuteen ja energiatehokkuuteen.
- Hyvin ylläpidetty laitos voi toimia jatkuvasti, mutta kennoston kulumisen edellyttää säännöllisiä huoltokatkoja. Huollon tarve riippuu järjestelmän koosta ja teknologiasta, ja seisokit voivat liittyä esim. kennoston vaihtoon tai puhdistusprosesseihin.

Aurinko- ja tuulivoiman kapasiteetti & yhdistetty tuotantoprofiili





1	Johdanto
1.1	Meri-Lapin ja lähialueiden energia- ja teollisuushankkeet
1.2	Alueelliset suunnitelmat ja kaavakehitys
2	Hukkalämmön lähteet
2.1	Teollisuuden hukkalämpöpotentiaali
2.2	Vedyn tuotanto ja hukkalämpö
2.3	Datakeskusten lämpöprofiilit ja hyödyntämismahdollisuudet
3	Lämmön hyödyntämisen teknologiat ja ratkaisut
3.1	Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa
3.2	Kaukolämpöön kytkentä ja lämpöpumput
3.3	Matalalämpötilan lämmön suora käyttö ja EaaS-mallit
3.4	Kansainväliset tutkimus- ja esimerkkihankkeet
4	Paikallinen potentiaali ja esimerkkialueet
4.1	Invest In Veitsiluoto – kohteiden tarkastelu
4.2	Alueiden teknistaloudelliset tarkastelut
4.3	Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi
4.4	Etäisyyksien ja kustannusten vaikutukset
5	Yhteenveto ja suositukset
6	Lähteet ja liitteet

Datakeskus

Suuritehoinen tietojenkäsittelylaitos, jossa säilytetään, käsitellään ja jaetaan suuria määriä digitaalisia tietoja ja palveluita.

- Datakeskusten määrä on kasvanut voimakkaasti digitalisaation, pilvipalveluiden, tekoälyn ja suoratoistopalveluiden yleistymisen myötä, sillä ne vaativat suuria määriä laskentatehoa ja tallennuskapasiteettia.
- Syntyvän hukkalämmön ominaisuuksiin vaikuttaa se, miten IT-laitteita datakeskuksessa jäähdytetään ja mistä kohdasta keskusta lämpö otetaan talteen. Paras lämmöntalteenottoa paikka riippuu sekä laitteiden jäähdytystavasta että jäähdytyksen tuotantomuodosta.
- Perinteinen ilmajäähdytys ei enää riitä tehokkaammille datakeskuksille, jonka takia nestejäähdytys on noussut suosituimmaksi vaihtoehdoksi. Nestejäähdytyksen tuottama hukkalämpö voidaan myös varastoida muuta käyttöä varten.

Taulukko: Datakeskuksen hukkalämmön ominaisuudet

Jäähdytysmuoto	Palvelimien jäähdytysaine	Hukkalämmön talteenottoa paikka	Hukkalämmön lämpötila
Ilmajäähdytys	ilma	Palautusilma palvelimien jälkeen	35 – 45 °C
		Palautusilma ilmastointilaitteen paluupuolella	25 – 40 °C
		Ilmastointikoneen jäähdytinneste	10 – 20 °C
Nestejäähdytys (yksifaasinen)	vesi	Jäähdytinväsi palvelimien jälkeen	22 – 65 °C
Nestejäähdytys (kaksifaasinen)	jäähdytinneste	Jäähdytinneste/kaasu palvelimien jälkeen	62 – 80 °C
		Ensisijaista jäähdytinkiertoa jäähdyttävävesi	45 – 90 °C

Rajoituksia hukkalämmön hyödyntämiselle asettaa kaukolämpöverkon tehontarve, joka voi olla pienempi kuin hukkalämmön teho ajoittain tai koko ajan. Datakeskuksella tuleekin olla täysmitoitettu jäähdytysjärjestelmä, joka hoitaa jäähdytyksen, kun lämpöä ei voida siirtää kaukolämpöverkkoon.

Tehontarve on kymmenistä kilowateista satoihin megawatteihin. Hukkalämmön määrä voi olla vaihtelevaa tai tasaista riippuen datakeskuksen tarkoituksesta.



Veitsiluodon alueelle avataan 70 megawatin suuruinen datakeskus vuoden 2025 alussa. Kuva: Yle, Antti Ullakko, 7.11.2024.

Datakeskustyytit

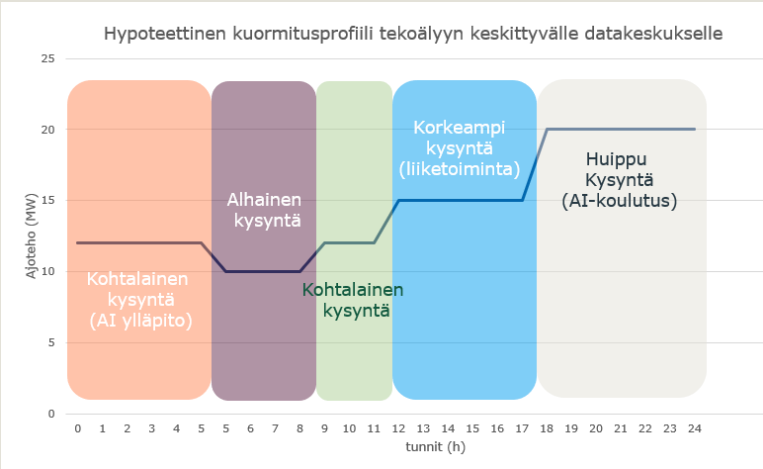
Datakeskustyyppi	Käyttötarkoitus	Käyttöaste	Teholuokka (MW)	Esimerkkejä Suomessa / mahdollisia tulevia hankkeita
Kryptovaluutan louhintakeskus	Bitcoinin ja muiden kryptojen louhinta	Tasainen	10-100	BitTEK (Kemi), Northern Data (Kajaani)
Yritysdatakeskus	Yrityksen omat IT-palvelut	Vaihtelee	0,1-5	Yritysten omat keskukset (pankit, vakuutusyhtiöt, teleoperaattorit...)
Pilvikeskus	Julkisten pilvipalveluiden tarjoaminen (esim. Google Cloud)	Vaihtelee	20-100+	Google (Hamina), Microsoft tulossa (Espoo/Kirkkonummi)
Colocation	Yritykset vuokraavat palvelinkapasiteettia ja tilaa	Vaihtelee	2-50	Equinix (Helsinki), Ficolo (Helsinki, Pori, Tampere)
Hyperscale	Suurten teknologiayhtiöiden jättimäiset palvelincentrat (hakukone, suoratoisto, some)	Tasainen	20-100+	Google (Hamina), Microsoft (rakenteilla)
Korkean suorituskyvyn laskentakeskus (HPC)	Tekoäly, tieteellinen laskenta, simulointi, koneoppiminen	Vaihtelee		CSC LUMI (Kajaani)
Edge	Nopea tietoliikenne, 5G, IoT, reaaliaikainen data-analytiikka	Vaihtelee	0,1-1	Ei vielä Suomessa, mutta potentiaalia esim. 5G-verkon laajentuessa



Kun käyttöaste on vaihteleva, datakeskus on käytössä esim. asiakkaiden tarpeen tai dataliikenteen kuormituksen mukaan.



Esimerkki tekoäly datakeskuksen kuormitusprofiilista päivän aikana. Datakeskus voi ajoittaa tekoälyn koulutustehtävät yöaikaan, jolloin sähkö on halvempaa. Paikallinen sähköverkko saattaa kokea äkillisen kysynnän kasvun näinä tunteina.²



¹Crypto mining and data center fast facts: <https://scienceforgeorgia.org/wp-content/uploads/2024/02/Crypto-and-Data-One-Pager.pdf>
² <https://theconversation.com/how-utilities-are-working-to-meet-ai-data-centers-voracious-appetite-for-electricity-240196>
Ramboll
Tuotantoprofiili: <https://nzero.com/article/how-data-centers-can-scale-sustainably-to-meet-demand/>



1	Johdanto
1.1	Meri-Lapin ja lähialueiden energia- ja teollisuushankkeet
1.2	Alueelliset suunnitelmat ja kaavakehitys
2	Hukkalämmön lähteet
2.1	Teollisuuden hukkalämpöpotentiaali
2.2	Vedyn tuotanto ja hukkalämpö
2.3	Datakeskusten lämpöprofiilit ja hyödyntämismahdollisuudet
3	Lämmön hyödyntämisen teknologiat ja ratkaisut
3.1	Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa
3.2	Kaukolämpöön kytkentä ja lämpöpumput
3.3	Matalalämpötilan lämmön suora käyttö ja EaaS-mallit
3.4	Kansainväliset tutkimus- ja esimerkkihankkeet
4	Paikallinen potentiaali ja esimerkkialueet
4.1	Invest In Veitsiluoto – kohteiden tarkastelu
4.2	Alueiden teknistaloudelliset tarkastelut
4.3	Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi
4.4	Etäisyyksien ja kustannusten vaikutukset
5	Yhteenveto ja suositukset
6	Lähteet ja liitteet



1	Johdanto
1.1	Meri-Lapin ja lähialueiden energia- ja teollisuushankkeet
1.2	Alueelliset suunnitelmat ja kaavakehitys
2	Hukkalämmön lähteet
2.1	Teollisuuden hukkalämpöpotentiaali
2.2	Vedyn tuotanto ja hukkalämpö
2.3	Datakeskusten lämpöprofiilit ja hyödyntämismahdollisuudet
3	Lämmön hyödyntämisen teknologiat ja ratkaisut
3.1	Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa
3.2	Kaukolämpöön kytkentä ja lämpöpumput
3.3	Matalalämpötilan lämmön suora käyttö ja EaaS-mallit
3.4	Kansainväliset tutkimus- ja esimerkkihankkeet
4	Paikallinen potentiaali ja esimerkkialueet
4.1	Invest In Veitsiluoto – kohteiden tarkastelu
4.2	Alueiden teknistaloudelliset tarkastelut
4.3	Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi
4.4	Etäisyyksien ja kustannusten vaikutukset
5	Yhteenveto ja suositukset
6	Lähteet ja liitteet

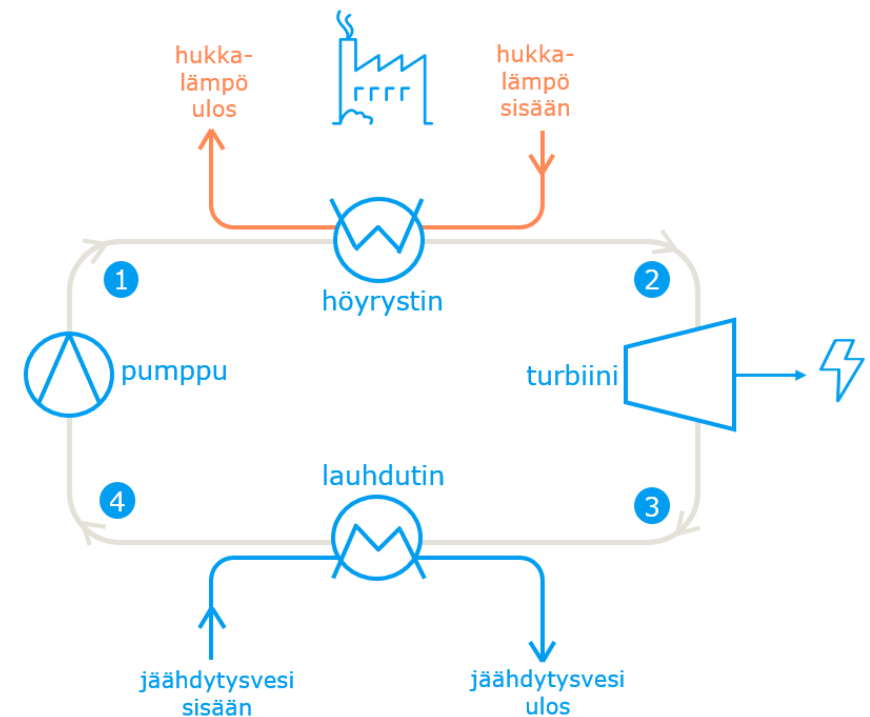
Organic Rankine Cycle - Tekniikka

Orgaanisella kiertoaineen tekniikalla voidaan hyödyntää matalalämpöistä hukkalämpöä sähköntuotannossa

Kuvaus

- Organic Rankine Cycle (ORC) on perinteisen Rankine-prosessin kaltainen, mutta käyttää veden sijasta kiertoaineena orgaanista ainetta, joka höyrystyy matalammissa lämpötiloissa. Tämä mahdollistaa hukkalämpöjen käytön sähköntuotannossa turbiinin kautta matalammissa lämpötiloissa
- Toimintasuositukset
 - Lämpötilan tulisi olla yli 100 °C (yleisesti 150-350 °C). Korkea lämpötila parantaa hyötysuhdetta
 - Kylmä lämpönielu
 - Alle 100 °C lämpötilassa vaaditaan enemmän hukkalämpöä ja suurempi laitteisto, mikä heikentää hyötysuhdetta ja nostaa kustannuksia
- ORC-prosessin pääkomponentit ja tehtävä
 - Pumppu: *paineen nosto*
 - Höyrystin: *kiertoaineen höyrystys*
 - Turbiini: *sähköntuotanto*
 - Lauhdutin: *kiertoaineen nesteeksi muuttaminen*
- Prosessiin voidaan lisätä regeneraattori parantamaan hyötysuhdetta
- Orgaanisen kiertoaineen edut
 - Yksinkertaistaa laitoksen rakennetta
 - Mahdollistaa pienemmät yksikkökoot ja hajautetun sähköntuotannon
 - Vältetään kostean höyryn aiheuttamat ongelmat turbiinissa
 - Parantaa toimintavarmuutta

Prosessikaavio



Organic Rankine Cycle – Hyötysuhde & kannattavuustekijät

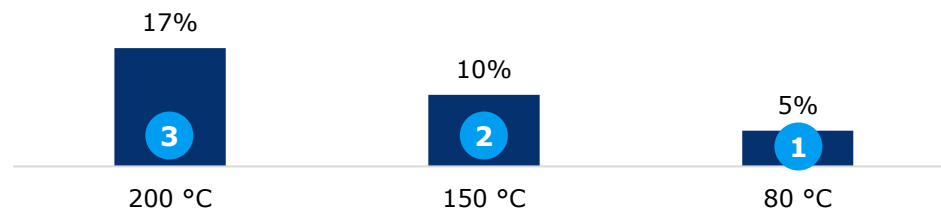
Teknologian hyötysuhde on voimakkaasti sidottu hukkalämmön lämpötilaan

Kannattavuuteen ja hyötysuhteeseen vaikuttavat tekijät

- **Kannattavuus:** ORC-prosessin toimivuuden kannalta, prosessi tarvitsee myös kylmän lämpönielun. Suuri siirrettävä teho, matala lämpötila ja pienet lämpötilaerot jäähdytysvirtauksessa johtavat suuriin virtauksiin ja tätä kautta suhteellisen suuriin pumppauskustannuksiin
- **Kannattavuus:** Jotta matalalämpötilaisen hukkalämmön hyödyntäminen ORC-prosessissa sähköntuotantoon olisi kannattavaa, tarvitaan seuraavia asioita:
 - Hukkalämmön tulisi olla käytännössä ilmaista
 - Hukkalämpöä tulee olla saatavilla jatkuvasti ja sen kapasiteetin riittävän suuri, jotta ORC-laitokselle saadaan korkea huipunkäyttöaika
 - Tarvitaan kylmä lämpönielu, esim. merivesi tai ilmajäähdytys, jota on saatavilla riittävästi
 - Pumppausetäisyydet eivät saa olla kohtuuttoman pitkiä
 - Sähkön hinnan tulee olla riittävän korkealla tasolla
- **Hyötysuhde:** Kun hukkalämpö on matalalämpötilainen lämmönlähde, saavutettavat sähköntuottohyötysuhteet ovat yleensä alhaisia, usein alle 10 %. Hyötysuhde on voimakkaasti riippuvainen lämmönlähteen lämpötilasta ja lämmönlähteen ja lämpönielun lämpötilaerosta
- **Hyötysuhde:** Prosessin suurin teoreettisesti mahdollinen hyötysuhde (Carnot-hyötysuhde) saadaan prosessin kylmän ja kuumen puolen lämpötilojen kautta. Käytännössä hyötysuhteet ORC-prosesseissa ovat parhaimmillaan n. 45 %:a teoreettisesti maksimihyötysuhteesta.

Hyötysuhde esimerkkilämpötilatasoille hukkalämpölähteiden mukaan

- 1 80 °C: **PEM elektrolyyserin** hukkalämmön tyypillinen lämpötila
- 2 150 °C: **E-SAF valmistuksesta** syntyvän hukkalämmön lämpötila
- 3 200 °C: **SOEC elektrolyyserin** hukkalämmön mahdollinen lämpötila



Esimerkkivertailu PEM ja SOEC elektrolyysereistä, oletuskoko 10 MW

Teknologia	Käyttölämpötila	Hukkalämmön kokonaismäärä	Hukkalämmön lämpötila
SOEC	700-800°C	~0,5-1,5 MW	100-300°C
PEM	50-80°C	~3,5-4,5 MW	50-80°C

Merkittävin ero elektrolyysereiden välillä on niiden käyttölämpötila. Vaikka SOEC:n käyttölämpötila on todella korkea, ei se tarkoita suoraan että myös hukkalämmön lämpötila on yhtä korkea. SOEC-laitteisto kierrättää suuren osan lämmöstä sisäisesti höyryn esilämmitykseen ja kennoston ylläpitoon, jolloin ulospäin ”ylimääräisenä” jäävä hukkalämpö on vähäisempää ja lämpötila matalampaa kuin käyttölämpötila.

Organic Rankine Cycle – Kustannukset

Kustannuksiin vaikuttaa hukkalämmön lämpötila.

Investoinnit – CAPEX

- ORC-järjestelmän investointikustannukset koostuvat seuraavista osuuksista:
 - Laitteisto: turbiini, generaattori, lämmönvaihtimet, ohjausjärjestelmät
 - EPC: Suunnittelu, asennus ja käyttöönotto
 - Muut rakennustekniset työt (sijoitus, perustukset, putkistot)
- Investointikustannuksissa on saavutettavissa teholuokan mukaan mittakaavaetuja
 - Pienemmissä järjestelmissä (alle 1 MWe) investointi on arviolta 2000–5000 €/kW
 - Suuremmille järjestelmille (yli 1 MWe) hinta on arviolta 1000–2000 €/kW
 - EPC kustannus on 20–30 % kokonaisinvestoinnista
 - Muut mahdolliset rakennustekniset työ 10–20 %
- Investointiin vaikuttaa myös hyödynnettävän hukkalämpötilan lämpötila. Matalimmilla lämpötiloilla vaaditaan fyysisesti suurempia osia kuten suuremman lämmönvaihtimen sekä pumpput
 - Matalimmilla lämpötiloilla on tyypillisesti myös alhaisempi paine-ero, joka tarkoittaa suurempaa tai monimutkaisempaa turbiinia

Käyttökustannukset – OPEX

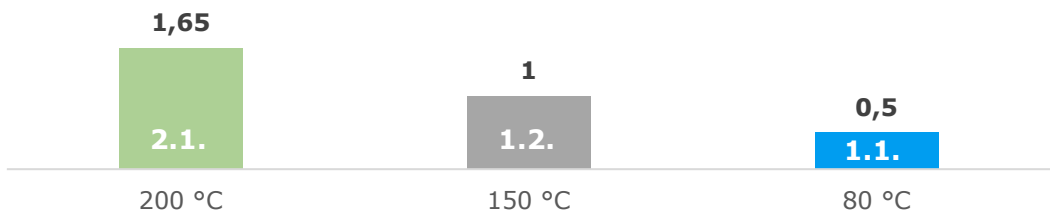
- ORC-järjestelmän käyttökustannukset koostuvat seuraavista osuuksista:
 - Huolto- ja ylläpitokulut (mm. osien vaihdot ja työvoima)
 - Väliaineen uusiminen ja lisäykset
 - Järjestelmän käyttämä apusähkö (pumput, jäähdytys- ja ilmanvaihtojärjestelmät)
- ORC teknologiana on yksinkertainen ja helppo käyttää, eikä niiden käyttö vaadi paikallista operaattoria. Prosessia ohjataan automaatiolla, jolloin laitteisto on mahdollista sijoittaa syrjäisiin paikkoihin
- Lisäksi laitteisto vaatii vähän huoltotoimenpiteitä, eikä laitteiston ylläpitoon liity isoja laitevaihtoja (turbiinissa ei tapahdu eroosiota tai korroosiota).
- Tämän lisäksi laitteisto on nopea käynnistää tai sammuttaa, kiertoaineen käyttö ei vaadi erilaisia kemikaaleja kuten tavallisissa voimalaitoksissa, eikä kiertoainetta itsessään tarvitse lisätä kuin pieniä määriä
- Tyypillisesti OPEX kustannukset ORC-prosessissa ovat noin 2-5 % investointikustannuksista

Organic Rankine Cycle – Sähköntuotanto

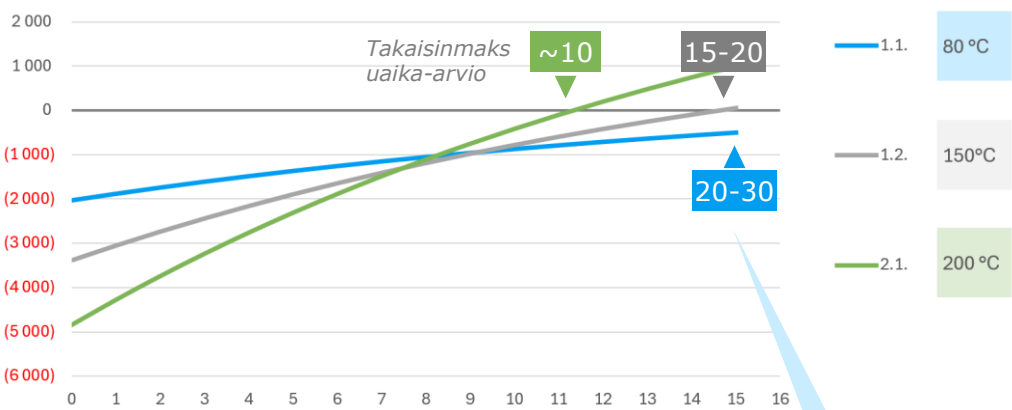
Mitä korkeampi lämpötila, sen kannattavampaa sähköntuotanto on ORC teknologialla

Sähköntuotanto ja takaisinmaksuaika

Sähköntuotanto (MWe) eri toimintalämpötiloilla



Nettonykyarvo (EUR) ja takaisinmaksuaika eri toimintalämpötiloilla



Matalan lämpötilan (80 °C) ORC-järjestelmän hyötysuhde on matalampi, sähköntuotto vähäisempää ja laitteet suurempia, kuin muissa vaihtoehdoissa

Laskennan oletukset ja avioitunut vuosittaiset säästöt

Taulukko Kustannuslaskennan oletukset

Lämpötilataso	CAPEX, Laitteet	CAPEX, EPC	CAPEX, Muut	OPEX
80°C	4 000 €/kW	25 % laite CAPEX:n päälle	15 % edellisistä	2 % CAPEX:sta
150°C	2 500 €/kW	25 % laite CAPEX:n päälle	15 % edellisistä	2 % CAPEX:sta
200°C	2 000 €/kW	35 % laite CAPEX:n päälle	15 % edellisistä	2 % CAPEX:sta

Taulukko Saavutetut säästöt & tuotot

Lämpötilataso	Siirtomaksut, €	Sähkönhinta, €	Tuotto & säästö yhteensä, €
80°C	22 500	201 500	224 000
150°C	45 000	403 000	448 100
200°C	74 300	665 000	739 000

Muut lämmöstä sähköksi tekniikat

Tekniikka	Periaate	Käyttökohteet	Hyödynnettävä lämpötila-alue	Valmiusaste	Käytössä Suomessa
Höyryturbiinit	Lämpö höyrystää vettä, turbiini pyörii	Voimalaitokset, ydinvoimalat, geoterminen energia	> 150 °C	Korkea	Kyllä
Termoelektrinen generaattori (TEG)	Lämpötilaero synnyttää sähkövirran	Avaruusalukset, teollisuuden hukkalämpö	> 150 °C	Keskitaso	Ei
ORC (Organic Rankine Cycle)	Matala-asteisen lämmön hyödyntäminen	Hukkalämmön talteenotto, geoterminen energia	50-150 °C	Korkea	Kyllä
Kalina-kierto	Ammoniakkiseoksen käyttö parantaa hyötysuhdetta	Matalan lämpötilan voimalat	100-350 °C ¹	Keskitaso	Ei
Termoioninen muunnos	Elektronien liike lämmön vaikutuksesta	Tutkimusvaiheessa	> 1000 °C	Matala	Ei
Pyroelektrinen muunnos	Materiaalin sähköinen polarisaatio	Tulevaisuuden sovellukset	Vaihtelee materiaalin mukaan	Matala	Ei
Hiekka-akku	Lämmön varastointi hiekkaan	Lämpövarasto yhdistetty sähkö- ja kaukolämpöverkkoihin	Ydin 500 °C Reunat 150-200 °C	Keskitaso	Kyllä

¹Crypto Kalina cycle power systems in waste heat recovery applications, <https://www.globalcement.com/magazine/articles/721-kalina-cycle-power-systems-in-waste-heat-recovery-applications>



1	Johdanto
1.1	Meri-Lapin ja lähialueiden energia- ja teollisuushankkeet
1.2	Alueelliset suunnitelmat ja kaavakehitys
2	Hukkalämmön lähteet
2.1	Teollisuuden hukkalämpöpotentiaali
2.2	Vedyn tuotanto ja hukkalämpö
2.3	Datakeskusten lämpöprofiilit ja hyödyntämismahdollisuudet
3	Lämmön hyödyntämisen teknologiat ja ratkaisut
3.1	Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa
3.2	Kaukolämpöön kytkentä ja lämpöpumput
3.3	Matalalämpötilan lämmön suora käyttö ja EaaS-mallit
3.4	Kansainväliset tutkimus- ja esimerkkihankkeet
4	Paikallinen potentiaali ja esimerkkialueet
4.1	Invest In Veitsiluoto – kohteiden tarkastelu
4.2	Alueiden teknistaloudelliset tarkastelut
4.3	Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi
4.4	Etäisyyksien ja kustannusten vaikutukset
5	Yhteenveto ja suositukset
6	Lähteet ja liitteet

2.1 Hukkalämmön liittäminen kaukolämpöverkkoon

Edellytykset ja hyödyt

Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkossa edellyttää esimerkiksi lämpöpumppua, sillä teollisuuden ja datakeskusten tuottaman hukkalämmön lämpötila on usein liian matala suoraan hyödynnettäväksi. Lämpöpumppu nostaa lämpötilan sopivalle tasolle, jolloin lämpö voidaan syöttää joko kaukolämpöverkon meno- tai paluupuolelle.

Taloudelliset hyödyt ja kustannukset:

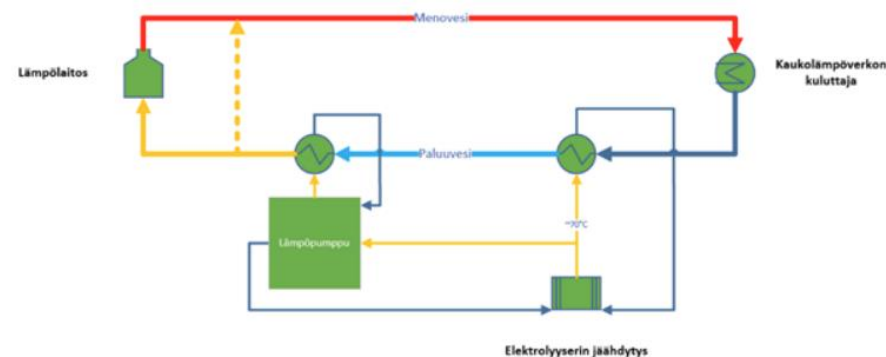
- Säästöjä syntyy, jos hukkalämmön avulla voidaan vähentää kaukolämmön tuotantoa ja samalla datakeskuksen jäähdytystarvetta.
- Lisäkustannuksia voi aiheutua kaukolämpöverkon laajentamisesta, lämpöpumppujen hankinnasta ja asennuksesta sekä mahdollisista siirtoputkistoista.

Sijainnin merkitys:

Hukkalämmön lähteen tulisi sijaita lähellä kaukolämpöverkon käyttäjiä, jotta siirtohäviöt ja investointikustannukset pysyvät alhaisina.

Kaukolämpöverkkoon liittäminen voi olla erityisen kannattavaa kaupunkialueilla, joissa on korkea lämmöntarve ja kehittynyt infrastruktuuri.

Havainnekuva



Kuva esittää elektrolyysin liittämistä kaukolämpöverkkoon, jossa hukkalämpöä voidaan hyödyntää kahdella tavalla: suoralla lämmityksellä ja lämpöpumpun avulla.

Elektrolyysin hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkossa voidaan toteuttaa joko suoralla lämmityksellä tai lämpöpumpun avulla. Elektrolyysiprosessi tuottaa hukkalämpöä, joka siirretään kaukolämpöverkon paluuveteen joko suoraan, jos lämpötila on riittävä, tai lämpöpumpun kautta, jos lämpötilaa täytyy nostaa. Lämpöpumppu ottaa vastaan elektrolyysin jäähdytysvedestä matalalämpöisen lämmön ja nostaa sen esimerkiksi 70 °C:een, jotta se voidaan syöttää kaukolämpöverkkoon.

Kaukolämpöverkon paluuvesi, joka on jäähtynyt kuluttajilta palatessaan, voidaan esilämmittää hukkalämmöllä, mikä vähentää lisälämmityksen tarvetta. Lopulta lämpöpumpun tai suoran lämmityksen kautta siirretty lämpö siirtyy kaukolämpöverkon menoveteen, joka jaetaan kuluttajille. Lämpölaitos täydentää lämmöntuotantoa, kun hukkalämmön määrä ei riitä kattamaan koko kysyntää.

Tämä ratkaisu parantaa kaukolämmön energiatehokkuutta, vähentää primäärienergian tarvetta ja mahdollistaa matalalämpöisten hukkalämpöjen hyödyntämisen, mikä tukee päästöjen vähentämistä ja kaukolämpöjärjestelmien kestävyyttä.



1	Johdanto
1.1	Meri-Lapin ja lähialueiden energia- ja teollisuushankkeet
1.2	Alueelliset suunnitelmat ja kaavakehitys
2	Hukkalämmön lähteet
2.1	Teollisuuden hukkalämpöpotentiaali
2.2	Vedyn tuotanto ja hukkalämpö
2.3	Datakeskusten lämpöprofiilit ja hyödyntämismahdollisuudet
3	Lämmön hyödyntämisen teknologiat ja ratkaisut
3.1	Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa
3.2	Kaukolämpöön kytkentä ja lämpöpumput
3.3	Matalalämpötilan lämmön suora käyttö ja EaaS-mallit
3.4	Kansainväliset tutkimus- ja esimerkkihankkeet
4	Paikallinen potentiaali ja esimerkkialueet
4.1	Invest In Veitsiluoto – kohteiden tarkastelu
4.2	Alueiden teknistaloudelliset tarkastelut
4.3	Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi
4.4	Etäisyyksien ja kustannusten vaikutukset
5	Yhteenveto ja suositukset
6	Lähteet ja liitteet

Teollisuuden lämpö – Energia palveluna (EaaS)

- Teollisuusyrityksissä energianhallinta jää usein toissijaiseksi ydintoimintojen rinnalla. Energia palveluna (EaaS) tarjoaa teollisuusyrityksille merkittäviä etuja, joita ovat esimerkiksi
 - Energiatehokkuuden optimointi
 - Alkuinvestointien pieneminen
 - Uusimman teknologian hyödyntämisen mahdollistaminen
 - Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen
- EaaS-mallin yleistymiseen vaikuttavia syitä ovat mm.
 - Teknologian kehitys
 - Kasvavat vaatimukset energiatehokkuudelle
 - Uusiutuvaan energiaan siirtyminen
- Uusiutuvien energialähteiden lisääntyminen ja hintojen vaihtelut ovat monimutkaistaneet energianhallintaa. Näiden tekijöiden takia teollisuusyritykset etsivät nyt yksinkertaisempia ja kustannustehokkaampia energiaratkaisuja ulkoistamisen avulla.
- Vaikka EaaS tarjoaa huomattavia etuja, se ei välttämättä sovellu kaikille teollisuudenaloille. Toimialoilla, joilla energian laatu ja toimitusvarmuus ovat kriittisiä tuotannolle, energianhallinnan ulkoistaminen voidaan kokea enemmän riskinä kuin hyötynä.

Energy-as-a-Service (EaaS)

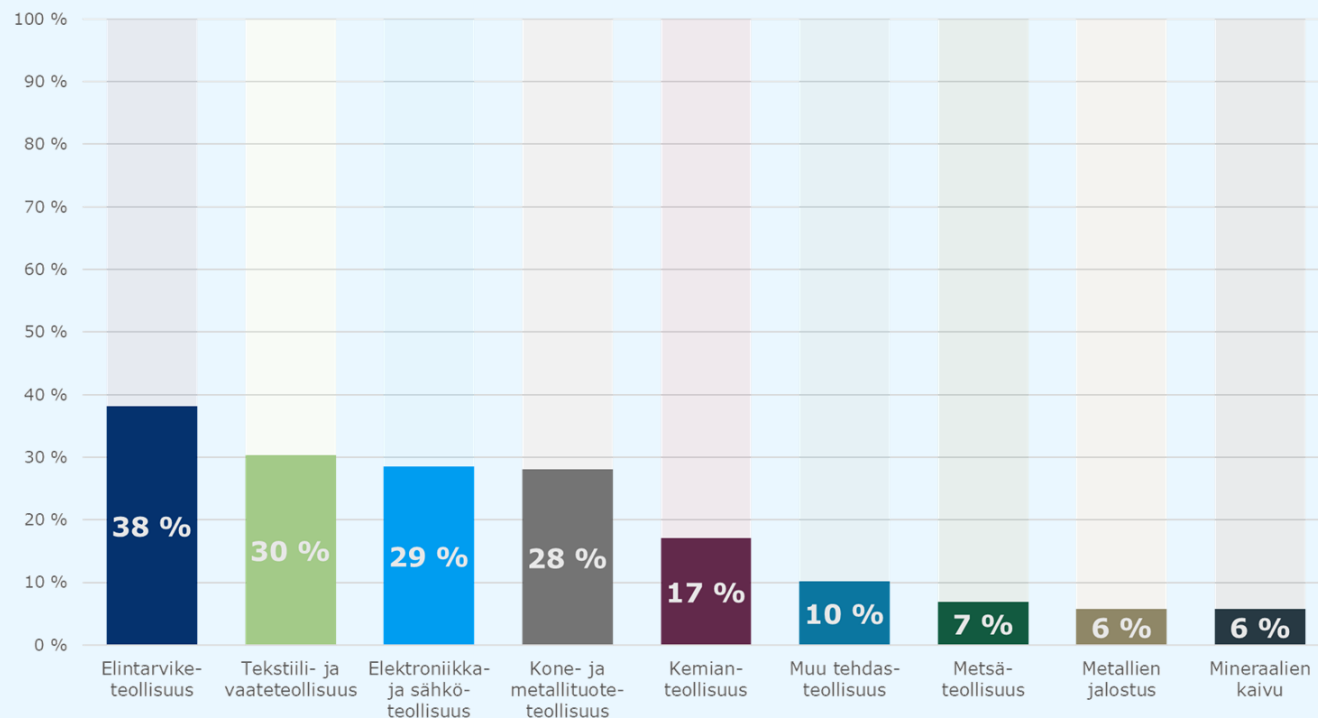
EaaS on palvelumalli, jossa teollisuusyritykset hankkivat tarvitsemaansa energiaa, kuten lämpöä ja höyryä, ulkoistetusti sen sijaan, että tuottaisivat sen itse.

Yritys maksaa vain käytetystä energiasta, eikä vastaa itse energian tuotannosta ja siihen liittyvistä kustannuksista.

EaaS-malli voi tarjota teollisuusyrityksille useita etuja, mutta tietyillä teollisuuden aloilla ulkoistaminen voidaan nähdä riskinä.

Teollisuuden lämpö – Ulkoistusaste

Hankitun lämmön osuus energian kokonaiskulutuksesta eri teollisuudenaloilla 2023



Lähde: Tilastokeskus, teollisuuden energiankäyttö 2023 <https://stat.fi/tilasto/tene>

Lämmönhankinnan ulkoistaminen

Teollisuudenalat, jotka jo nyt hankkivat suuren osan lämmöstään ulkopuolelta, ovat todennäköisesti valmiimpia hyödyntämään myös muilta toimijoilta saatavaa hukkalämpöä osana lämmönhankintaansa.

Teollisuudenalat, joilla ostetun lämmön osuus on pieni, voivat olla haluttomampia ulkoistamaan lämmönhankintaansa, koska ne tuottavat suurimman osan energiastaan itse. Tällaisilla teollisuudenaloilla lämmön laatu ja toimitusvarmuus ovat usein kriittisiä tuotantoprosesseille.

Teollisuuden lämpö

Matalalämpötilaisen hukkalämmön hyödyntämiseen sopivat erityisen hyvin toimijat, jotka eivät itse käytä korkeampia lämpötiloja prosesseissaan – esimerkiksi kasvihuoneet ja vesiviljelylaitokset



Elintarviketeollisuus on yksi merkittävimmistä matalalämpötilaisen lämmön hyödyntäjistä. Elintarviketeollisuudessa käytetystä lämmöstä jopa yli puolet on lämpötilaltaan alle 100 °C.^{1,2} Matalalämpötilaista lämpöä voidaan hyödyntää elintarviketeollisuudessa mm.

- pastöroinnissa (60–90 °C)
- pesussa (60–90 °C)
- kuivausprosesseissa (30–90 °C)



Tekstiiliteollisuus voi hyödyntää matalalämpötilaista lämpöä esimerkiksi valkaisu- ja värjäysprosesseissa. Näissä prosesseissa veden lämmitys voidaan hoitaa matalalämpötilaisella hukkalämmöllä, mikä parantaa energiankäytön tehokkuutta.

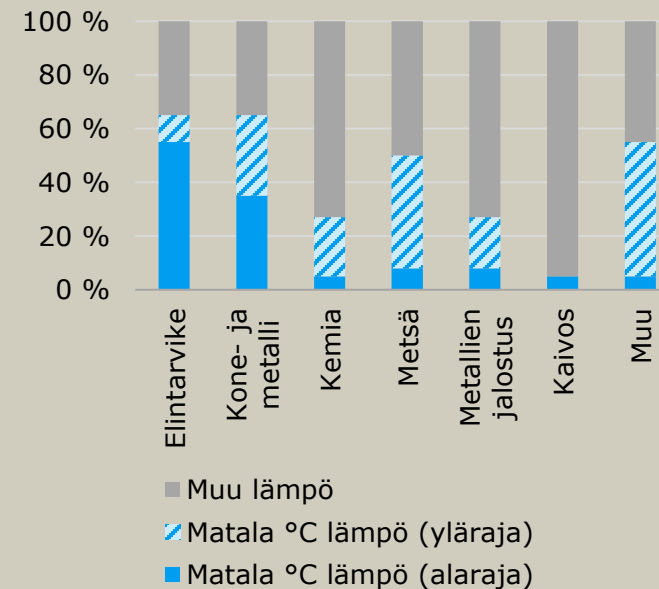


Kemianteollisuudessa ja paperiteollisuudessa käytetään usein alle 100 °C lämmitys- ja prosessilämpötiloja. Kemianteollisuus ja paperiteollisuus eivät kuitenkaan ole todennäköisimpiä hukkalämmön ostajia, sillä ne tuottavat suuren osan tarvitsemastaan energiasta itse. Näillä aloilla lämmönhankinnan ulkoistaminen voi olla vähemmän houkuttelevaa, koska tuotantoprosessit edellyttävät tarkkaa lämpötilanhallintaa ja korkeaa lämmön toimitusvarmuutta.

Kaikilla näillä teollisuudenaloilla on myös prosesseja, jotka hyödyntävät korkeampia lämpötiloja. Tästä johtuen teollisuusyrityksillä on yleensä jo mahdollisuus hyödyntää omaa hukkalämpöään, mikä voi vähentää niiden kiinnostusta ulkopuolisen matalalämpöisen hukkalämmön hyödyntämiseen

Matalalämpötilaista hukkalämpöä voidaan silti prosessista riippuen hyödyntää esim. syöttöveden, raaka-aineiden tai ilman esilämmittämiseen

Matalalämpötilaisen lämmön (< 100 °C) osuus lämmön kokonaiskulutuksesta eri teollisuuden aloilla: 1,2



¹ Rehfeldt, M., Rohde, C., Fleiter, T. & Toro, F. (2018). A bottom-up estimation of heating and cooling demand in the European industry.

² Vannoni, C., Battisti, R. & Drigo, S. (2008). Potential for solar heat in industrial processes.

Esimerkkejä – Kasvihuone ja vesiviljely

Kasvihuone - RegEnergy Frövi

Frövin kaupungissa, Ruotsissa, viljellään tomaatteja 10 hehtaarin kasvihuoneessa.¹

Kasvihuone tuottaa vuosittain yli 8 000 tonnia tomaatteja, mikä vastaa noin 10 % Ruotsin tomatinkulutuksesta.

Kasvihuoneen lämmitykseen käytetään viereisen Billerudin paperitehtaan hukkalämpöä. Lämpö siirretään suljetussa kierrossa, jossa menolämpötila kasvihuoneille on 43 °C ja paluulämpötila on 21 °C.²

Kasvihuoneen lämmittämiseen käytetään noin 35 GWh hukkalämpöä vuodessa.

Kasvihuoneen pinta-ala:
10 ha

Tomaatteja tuotetaan:
8 000 t/a

Hukkalämmön kulutus:
35 GWh/a

Vesiviljely - Hima Seafood

Hima Seafoodin kalankasvattamo on ensimmäinen suuri (30 000 m²) maalla sijaitseva taimenkasvattamo Norjassa. Kasvattamossa tuotetaan 9 000 tonnia taimenia vuodessa.³

Kalat tarvitsevat 14 °C lämpötilan, joka saadaan datakeskuksen hukkalämpöä hyödyntämällä. Viljely perustuu kiertovesijärjestelmään (Recirculating Aquaculture System, RAS), joka puhdistaa veden ennen käyttöä ja sen jälkeen. Kalat kasvatetaan ilman antibiootteja ja stressitekijöitä, mikä parantaa niiden hyvinvointia.

Kalankasvatuksessa syntyneet jätteet kierrätetään orgaaniseksi lannoitteeksi, jota tuotetaan 4500 tonnia vuodessa.

Kalankasvattamon investoinnin suuruus oli 213 miljoonaa euroa (NOK 2,5 miljardia).

Kalankasvattamon pinta-ala:
3 ha

Taimenia tuotetaan:
9 000 t/a

Lannoitetta tuotetaan:
4 500 t/a

¹ From Paper to Pomodoro. <https://wa3rm.com/projects/regenergy-frovi/>

² From waste heat to juicy tomatoes: The story of RegEnergy in Frövi. <https://selectedgroup.gi/reg-energy-news-from-waste-to-juicy-tomatoes-the-story-of-reg-energy-in-frovi>

³ Land-based trout farm will use data center waste heat. <https://greenmountain.no/land-based-trout-farm-will-use-data-center-waste-heat/>

⁴ Hima Seafood. <https://himaseafood.com/>

Direct Air Capture – Teknologia

Teknologiakuvaus

Hiilidioksidin suora talteenotto ilmasta (DAC, Direct Air Capture) on teknologia, jolla voidaan ottaa hiilidioksidia (CO₂) talteen suoraan ilmakehästä.

Hiilidioksidin talteenotto ilmasta tapahtuu kahdessa vaiheessa. Ensin ilman hiilidioksidi sidotaan joko nesteeseen tai kiinteään materiaaliin, jota kutsutaan sorbentiksi. Tämän jälkeen sorbentti käsitellään niin, että siihen sitoutunut hiilidioksidi vapautuu.

Talteen otettu hiilidioksidi voidaan joko varastoida pysyvästi tai hyödyntää raaka-aineena hiilidioksidin talteenottoon ja hyötykäyttöön (CCU) perustuvassa teollisuudessa. Hiilidioksidia voidaan käyttää myös esimerkiksi kasvihuoneissa parantamaan kasvien kasvua tai elintarviketeollisuudessa virvoitusjuomien hiilihapotuksessa.

DAC-prosessin suurin energiankulutus tulee sorbentin regeneroinnista, eli vaiheesta, jossa CO₂ vapautetaan sorbentista ja varastoidaan tai otetaan jatkokäyttöön.

Matalissa lämpötiloissa toimivat kiinteisiin sorbentteihin perustuvat DAC-teknologiat (Low Temperature Direct Air Capture, LT-DAC) **soveltuvat lämpötilatonsa ansiosta hukkalämmön hyödyntämiseen.**

LT-DAC-prosessit vaativat 850–2500 kWh/tCO₂ lämpöenergiaa, mutta on raportoitu myös energiatehokkaampia ratkaisuja, joilla lämmönkulutus on vain 300 kWh/tCO₂.¹

Teknologiavaihtoehdot

Solid Direct Air Capture (S-DAC):

Perustuu kiinteisiin sorbentteihin, jotka toimivat ympäristön paineessa tai alipaineessa ja lämpötiloissa 80-130 °C.

Kiinteisiin sorbentteihin perustuvaa teknologiaa kutsutaan myös nimellä **Low Temperature Direct Air Capture (LT-DAC)**.

Liquid Direct Air Capture (L-DAC):

Tässä menetelmässä käytetään nestemäistä sorbenttia, joka vapauttaa sitoutuneen hiilidioksidin korkealämpötilaisessa prosessissa 300-900 °C.

Nestemäisiin sorbentteihin perustuvaa teknologiaa kutsutaan myös nimellä **High Temperature Direct Air Capture (HT-DAC)**.

¹Krull, L., Baum, C. & Sovacool, B. (2025). A geographic analysis and techno-economic assessment of renewable heat sources for low-temperature direct air capture in Europe.

Direct Air Capture – Esimerkki

DAC-laitos Mammoth¹

Climeworksin Mammoth Islannissa on maailman suurin DAC-laitos. Se aloitti toimintansa toukokuussa 2024. Laitos on suunniteltu poistamaan ilmasta jopa 36 000 tonnia hiilidioksidia vuodessa.

Hiilidioksidin regenerointitekniikkana laitoksessa käytetään TVSA-menetelmää (Temperature Vacuum Swing Adsorption), jossa hyödynnetään alipainetta ja lämpöä. Laitos käyttää lämmönlähteenään Islannin geotermistä energiaa.

Talteenotettu hiilidioksidi varastoidaan pysyvästi maan alle basalttikallioon. Tämä tapahtuu menetelmän avulla, jossa CO₂ liuotetaan veteen ja pumpataan maan alle basalttikivikerrokseen. Siellä se reagoi kemiallisesti kivimineraalien kanssa ja mineralisoituu pysyvästi karbonaateiksi, jolloin hiilidioksidi muuttuu kiinteäksi kivimäiseksi aineeksi.

Tyypillisiä arvoja Mammoth-laitoksessa käytetylle LT-DAC-tekniikalle²

Lämpöenergian kulutus	1400-2500 kWh/tCO ₂
Sähkönkulutus	200-700 kWh/tCO ₂
Hiilidioksidin adsorptiolämpötila	20-25 °C
Hiilidioksidin desorptiolämpötila	75-120 °C



¹Climeworks (2024). Climeworks switches on world's largest direct air capture plant. <https://climeworks.com/press-release/climeworks-switches-on-worlds-largest-direct-air-capture-plant-mammoth>

²Krull, L., Baum, C. & Sovacool, B. (2025). A geographic analysis and techno-economic assessment of renewable heat sources for low-temperature direct air capture in Europe.

Mammothin kaltaisen DAC-laitoston tase

36 000 tonnia hiilidioksidia vuodessa:

Laitoksen vaatima pinta-ala on n. **4,4 ha**.

Lämpöenergiaa kuluu **50-90 GWh vuodessa**.
Sähköenergiaa kuluu **7-26 GWh vuodessa**.

Talteenotettu hiilidioksidi voidaan varastoida tai siitä voidaan vaihtoehtoisesti valmistaa esimerkiksi:

n. **13 000 tonnia metaania (CH₄)** vuodessa
jolloin kuluu lisäksi n. 4 900 tonnia vetyä (H₂) vuodessa, joka vastaa PEM-elektrolyysin tehoa 32 MW.

tai n. **25 000 tonnia metanolia (CH₃OH)** vuodessa
jolloin kuluu lisäksi n. 6 800 tonnia vetyä (H₂) vuodessa, joka vastaa PEM-elektrolyysin tehoa 26 MW.

Satama-altaan sulanapito

Kemissä sijaitsee kaksi satamaa: Ajoksen syväsatama ja Veitsiluodon satama, jotka palvelevat erityisesti teollisuuden ja rahtiliikenteen tarpeita. Lisäksi Karsikossa, Simon alueella, on luonnonsatama, jossa on potentiaalia kehittää satama-aluetta tulevaisuudessa esimerkiksi logistiikka- tai matkailutoimintaa varten.

- Avovesialueen lämmönhukka talvella voi olla jopa **300–500 W/m²** kovilla pakkasilla ja tuulisella säällä
- Esimerkiksi 5000 m² (0,5 ha) satama-altaan sulana pitäminen voi vaatia:
 - **Talvipäivinä tarvitaan jopa 2,5 MW–3 MW teho**
 - Vuositasolla tämä voi tarkoittaa **2–5 GWh energiaa**, riippuen talven pituudesta ja sääolosuhteista
- Syötettävän hukkalämpöveden max +10 °C
- Hukkalämmön purkuvirtaama tulee pyrkiä pitämään altaan sisällä siten, että se ei leviä ympäristöön

Satama- allas--	Arvioitu altaan koko	Energia- määrä/ vuosi	Teho
Ajos	290 000 m ² (29 ha)	417,6 GWh/a	116 MW
Veitsiluoto	125 000 m ² (12,5 ha)	180 GWh/a	50 MW
Karsikko	Esim. 175 000 m ²	252 GWh/a	70 MW

Satama-altaan sulanapidon ympäristövaikutukset

Satama-altaan sulanapito voi vaikuttaa merkittävästi paikalliseen ekosysteemiin. Lämpimän veden jatkuva johtaminen häiritsee luonnollista lämpötilarytmiä, johon pohjoisen rannikkovesien eliöstö on sopeutunut. Talvella normaalia lämpimämpi vesi voi nopeuttaa vesieliöiden aineenvaihduntaa ja lisätä kasvua, mikä saattaa **johtaa rehevöitymiseen erityisesti ravinteikkaissa vesissä**. Samalla eliöstö voi stressaantua, koska luonnollinen talvilepo jää puuttumaan.

Voimalaitosten lämpöpäästöjen yhteydessä on havaittu, että sulana pysyvät alueet pidentävät **kasvukautta ja lyhentävät talvehtimisaikaa. Tämä voi muuttaa esimerkiksi rantojen vesikasvillisuuden kehitystä**. Kalaston kohdalla vaikutukset ovat kaksijakoisia: lämpö suosii kevät- ja kesäkutuisia lajeja, kuten ahventa ja särkikaloja, mutta haittaa viileän veden lajeja, kuten lohta, taimenta ja madetta. Nämä lajit voivat vetäytyä lämpimältä alueelta, mikä kaventaa niiden elintilaa. Sulana pysyvä vesi houkuttelee myös vesilintuja, jotka normaalisti muuttaisivat talveksi etelämmäs.

Lämpöpäästöt voivat aiheuttaa myös paikallisia virtauksia ja muodostaa teräviä jäärajoja, jotka mekaanisesti kuluttavat rantoja. Lämmin vesi voi kerrostua veden pintaan, kunnes se jäähtyy ja painuu pohjaan, mikä vaikuttaa hapen ja ravinteiden jakaantumiseen. Lisäksi sulana pysyvä alue voi toimia vieraslajien talvehtimisalueena.

Siksi ympäristövaikutuksia seurataan tarkasti. Ympäristöluvista edellytetään usein tarkkailua, kuten veden laadun, pohjaeläimistön ja kalaston seuranta. Tarvittaessa toimintaa voidaan rajoittaa tai velvoittaa kompensatioon, kuten kalatalousmaksuun.

Ilmastonmuutoksen myötä talvet leudontuvat ja jääpeite vähenee, mikä voi pienentää sulanapidon tarvetta tulevaisuudessa. Siirtymäkaudella energiantarve vaihtelee talvesta toiseen, ja sulanapito on syytä suunnitella huolellisesti. Tärkeää on käyttää vain tarpeellinen määrä lämpöä, rajata sulana pidettävä alue ja varmistaa ekosysteemien säilyminen. Ympäristövaikutusten arviointi (YVA) on keskeinen työkalu kestävään suunnitteluun.

Suomessa ympäristölupa tarvitaan, jos:

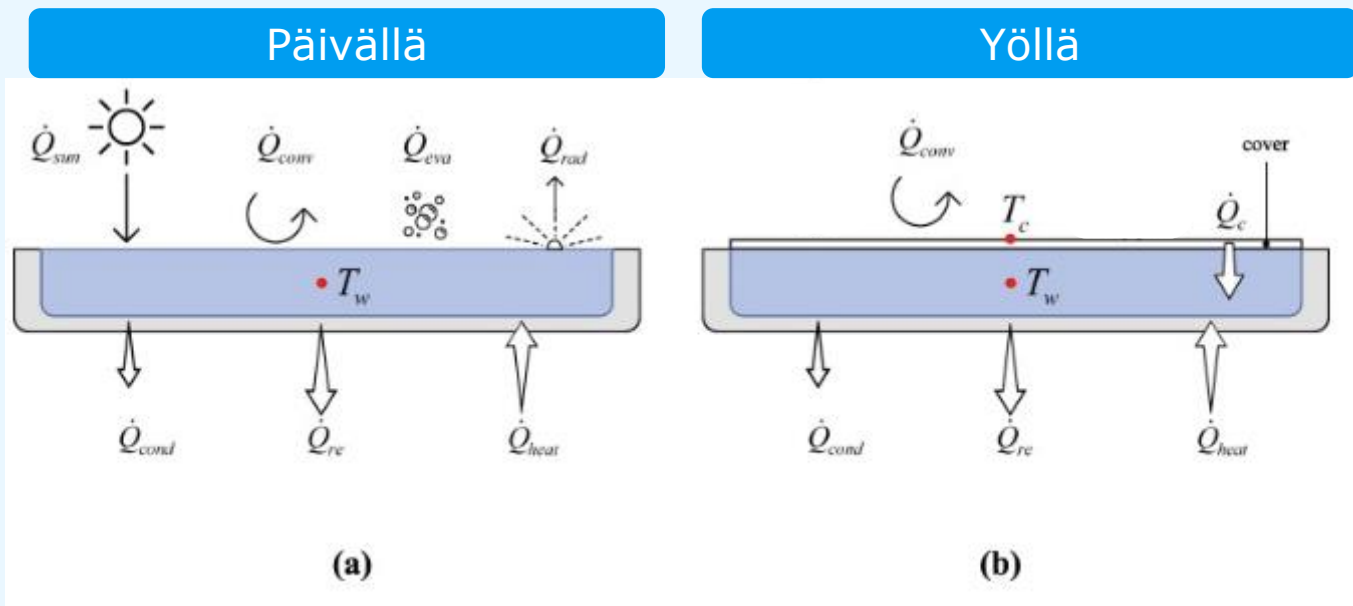
- Johdettava vesi on **selvästi lämpimämpää** kuin vastaanottava merivesi (esim. talvella yli +10 °C)
- Vaikutusalueella veden lämpötila nousee yli 2–3 °C
- Sulanapito vaikuttaa **luonnonolosuhteisiin, jäätilanteeseen tai eliöstöön**

Veden lämpötila	ΔT vs. merivesi (0 °C)	Tarvittava virtaama
+4 °C	4 °C	4,18 m ³ /s
+6 °C	6 °C	2,79 m ³ /s
+8 °C	8 °C	2,09 m ³ /s
+10 °C	10 °C	1,67 m ³ /s
+12 °C	12 °C	1,39 m ³ /s

Maauimala - Lämpövirrat

Maauimaloiden ylläpito vaatii paljon energiaa veden lämmittämiseen. Kuvassa tarkastellaan maauimalan lämpöhäviöitä kahdessa eri tilanteessa: ilman kantta (a) ja kannen kanssa (b). Kuvan tarkoituksena on havainnollistaa, miten erilaiset lämmönsiirtomekanismit vaikuttavat altaan veden lämpötilaan eri vuorokaudenaikoina ja miten altaan peittäminen kannella voi vähentää energiankulutusta.

Ulkoaltaan lämpövirrat ilman kantta (a) ja kannen kanssa (b)¹

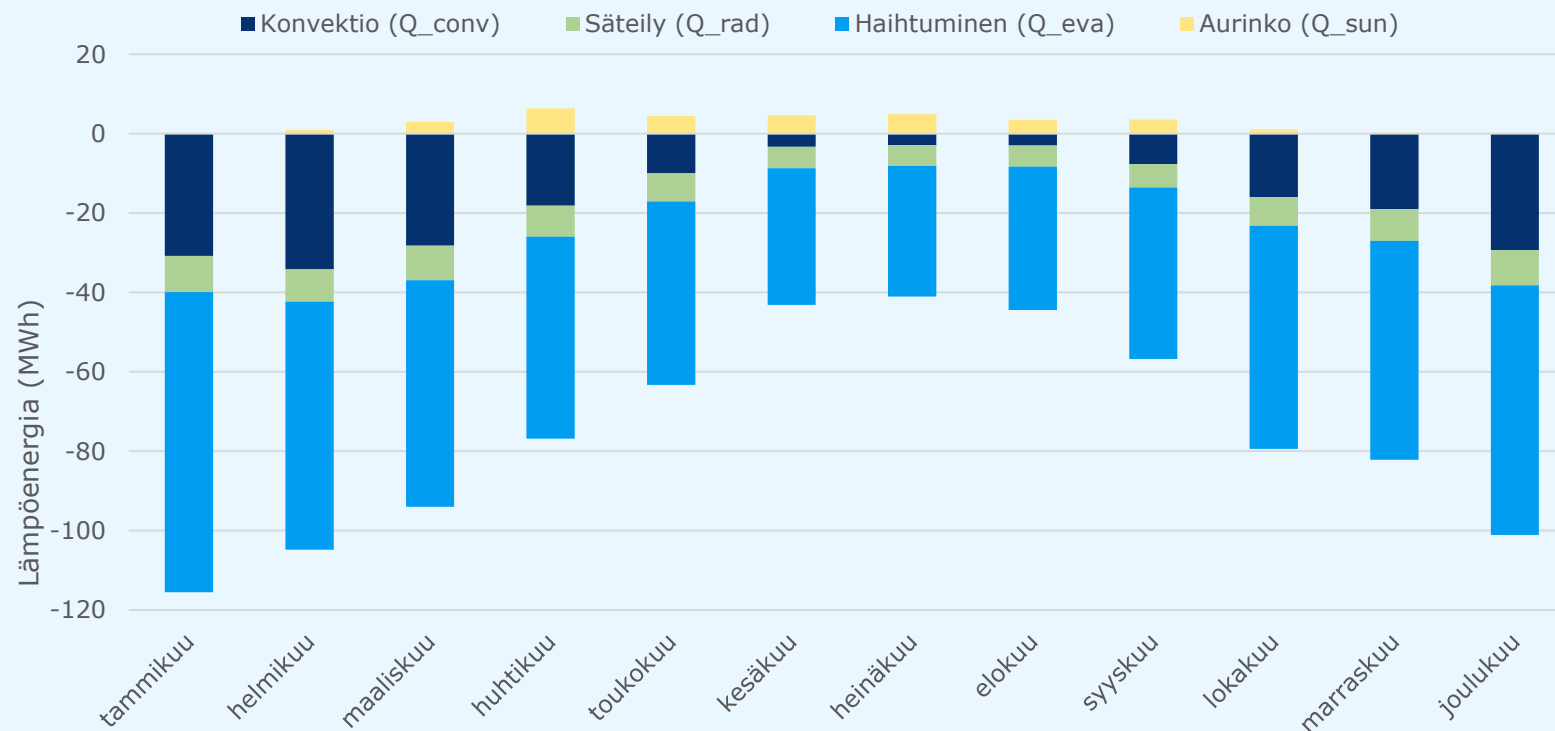


- **$\dot{Q}_{conv}$:** Konvektiivinen lämpöhäviö, joka johtuu ilmavirran vaikutuksesta altaan veden pinnalla.
- **$\dot{Q}_{rad}$:** Radiatiivinen lämpöhäviö, joka johtuu altaan pinnan lämpösäteilystä ympäristöön.
- **$\dot{Q}_{eva}$:** Evaporatiivinen lämpöhäviö, eli veden haihtumisen aiheuttama lämmön menetys.
- **$\dot{Q}_{sun}$:** Auringosta tuleva lämpöteho, joka lämmittää altaan veden.
- **$\dot{Q}_{heat}$:** Energiämäärää, joka tarvitaan uima-altaan veden lämmittämiseksi

¹ Buscemi, A., Biondi, A., Catrini, P., Guarino, S., Brano, V. (2024). A novel model to assess the energy demand of outdoor swimming pools.

Maauimala - Energiantarve

Ulkoaltaan vuosittainen energiantarve voi olla luokkaa 870 MWh/a. Kaukolämmöksi hyödyntämisen jälkeen Veitsiluodon 70 MW datakeskuksesta jää arviolta 152 000 MWh/a hyödyntämättä ja Ajoksen 30 MW vedyntuotannosta 53 319 MWh/a.



Laskennan oletuksia:

- Laskenta tehtiin Kemin kuukausikohtaisilla lämpötilan ja tuulisuuden keskiarvoilla
- Ulkoaltaan pinta-ala 50 m²
- Veden lämpötila 33 °C (spa-lämpötila) ²
- Auringon kokonaissäteilyenergia Sodankylän arvoilla (lähin mittauslaitos)
- Maahan meneviä häviöitä ei laskettu, mutta ne ovat olleet vastaavissa tutkimuksissa noin 10 % luokkaa suhteessa haihtumiseen. ¹
- Altaan aukiolo klo 9.00-22.00
 - Aukioloajan ulkopuolella kansi altaan päällä, mikä vähentää lämpöhäviöitä 50-70 % ¹

¹The Smart Energy Design Assistance Center, SEDAC (2017). Energy smart tips – pools

²Fluidra S.A. Heating a pool and spa (website). [Heating a pool and spa](#)

Kylpylä

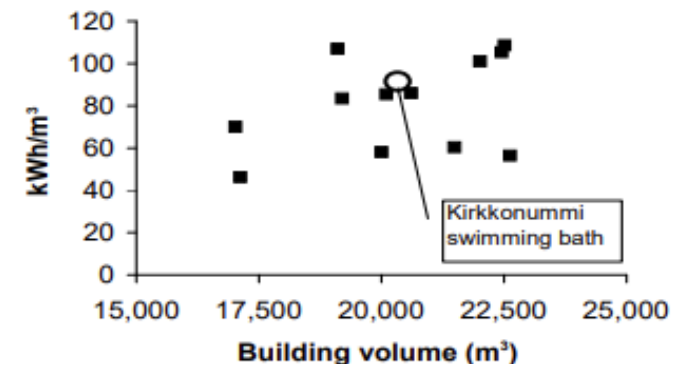
Kylpylöiden lämmitys

- Kylpylöissä hukkalämpöä voidaan hyödyntää esimerkiksi seuraaviin kohteisiin:
 - altaiden lämmittämiseen (sisä- ja ulkoaltaat)
 - saunojen ja suihkutilojen lämmitykseen
 - rakennusten lämmitykseen ja ilmanvaihtoon
- Kylpylöiden energiantarpeet vaihtelevat paljon, mutta lämmöntarve voi olla 765-2415 MWh/a luokkaa.
- Lähteessä¹ on arvioitu Kirkkonummen kylpylän vuotuista lämmön- ja sähkönkulutusta. Kuvaajissa on esitetty myös empiirisiä tuloksia VTT:n tekemästä projektista. [Erityisesti kylpylän ja eri toimintojen koko vaikuttaa energiantarpeeseen](#). Kirkkonummen tapauksessa lämmönkulutus on noin 1809 MWh/a ja sähkönkulutus noin 1000 MWh/a.

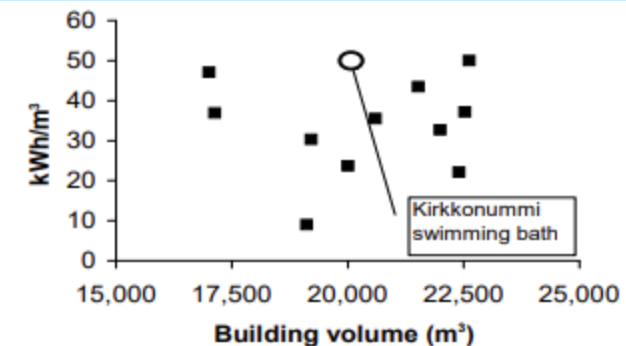
¹ Saari, A., Sekki, T. (2008). Energy consumption of a Public Swimming Bath.

Lämpöenergia

Kuva 1: Lämmönkulutus tilavuutta kohden sisätiloissa¹



Kuva 2: Sähkönkulutus tilavuutta kohden sisätiloissa¹





1	Johdanto
1.1	Meri-Lapin ja lähialueiden energia- ja teollisuushankkeet
1.2	Alueelliset suunnitelmat ja kaavakehitys
2	Hukkalämmön lähteet
2.1	Teollisuuden hukkalämpöpotentiaali
2.2	Vedyn tuotanto ja hukkalämpö
2.3	Datakeskusten lämpöprofiilit ja hyödyntämismahdollisuudet
3	Lämmön hyödyntämisen teknologiat ja ratkaisut
3.1	Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa
3.2	Kaukolämpöön kytkentä ja lämpöpumput
3.3	Matalalämpötilan lämmön suora käyttö ja EaaS-mallit
3.4	Kansainväliset tutkimus- ja esimerkkihankkeet
4	Paikallinen potentiaali ja esimerkkialueet
4.1	Invest In Veitsiluoto – kohteiden tarkastelu
4.2	Alueiden teknistaloudelliset tarkastelut
4.3	Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi
4.4	Etäisyyksien ja kustannusten vaikutukset
5	Yhteenveto ja suositukset
6	Lähteet ja liitteet

Ajankohtaiset tutkimussuunnat

Hukkalämmön hyödyntämistä tutkitaan laajasti eri aloilla

Hybridijärjestelmät

Hybridijärjestelmät yhdistävät kahta tai useampaa hukkalämmön talteenottotekniikkaa, jolloin on mahdollista saavuttaa parempi energiatehokkuus ja laajemmat käyttömahdollisuudet.

Tutkittuja yhdistelmiä ovat esimerkiksi:

ORC ja termoelektriset generaattorit (TEG)¹

ORC ja adsorptiojähdytys²

Lämpöpumput

Lämpöpumput ovat keskeinen teknologia matalalämpötilaisen hukkalämmön hyödyntämisessä, koska niillä nostaa hukkalämmön lämpötilatasoa ja tehdä siitä käyttökelpoista esimerkiksi korkeampaa lämpötilaa vaativiin teollisuuden prosesseihin tai kaukolämpöverkkoon.

Erityisesti tutkimuksissa keskitytään lämpöpumppujen energiatehokkuuden parantamiseen, korkeampien lämpötilatasojen saavuttamiseen, uusien kylmäaineiden kehittämiseen sekä lämpöpumppujen integrointiin hybridijärjestelmiin ja lämpöenergian varastointiin.

Termoelektriset materiaalit

Termoelektriset materiaalit ovat puolijohteita, jotka muuntavat lämpötilaeron suoraan sähköenergiaksi Seebeck-ilmiön avulla. Näitä materiaaleja käytetään termoelektrisissä generaattoreissa (TEG) hukkalämmön hyödyntämiseksi.

Suurin osa TEG-sovelluksista jää 5–10 % hyötysuhteeseen, joka on vielä liian alhainen kaupalliseen laajamittaiseen käyttöön ilman lisäinnovaatioita. Lisäksi termoelektristen generaattoreiden materiaalikustannukset ovat korkeita.¹

TEG-sovelluksia tutkitaan erityisesti osana hybridijärjestelmiä, joissa ne yhdessä ORC-prosessien tai lämpöpumppujen kanssa voivat tulevaisuudessa tehostaa energiankäyttöä ja hukkalämmön hyödyntämistä.

Tutkimuksia maailmalla



Massachusetts Institute of Technology

(MIT): Tutkinut termoelektrisiä materiaaleja, jotka muuntavat hukkalämpöä sähköksi erityisesti teräs- ja lasiteollisuudessa.

Oak Ridge National Laboratory (ORNL):

Kehittänyt ORC-pohjaisia järjestelmiä matalalämpöisen hukkalämmön muuntamiseen sähköksi kemianteollisuudessa.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

(DLR): Tutkinut hukkalämmön hyödyntämistä korkealämpötilaisissa prosesseissa keskittyen lämmön varastointiin ja sähköntuottoon.

University of Tokyo (Tokion yliopisto):

Selvittänyt termoelektristen generaattoreiden käyttöä hukkalämmön sähköistämiseen elektroniikka- ja autoteollisuudessa.

Stanford University:

Kehittänyt suolapohjaisia lämpövarastoja pitkäaikaiseen lämpöenergian säilytykseen.

¹ Farhat, O., Faraj, J., Hachem, F., Castelain, C. & Khaled, M. (2022). A recent review on waste heat recovery methodologies and applications: Comprehensive review, critical analysis and potential recommendations.

² Lombardo, W., Sapienza, A., Ottaviano, S., Branchini, L., De Pascale, A. & Vasta, S. (2021). A CCHP system based on ORC cogenerator and adsorption chiller experimental prototypes: Energy and economic analysis for NZEB applications.

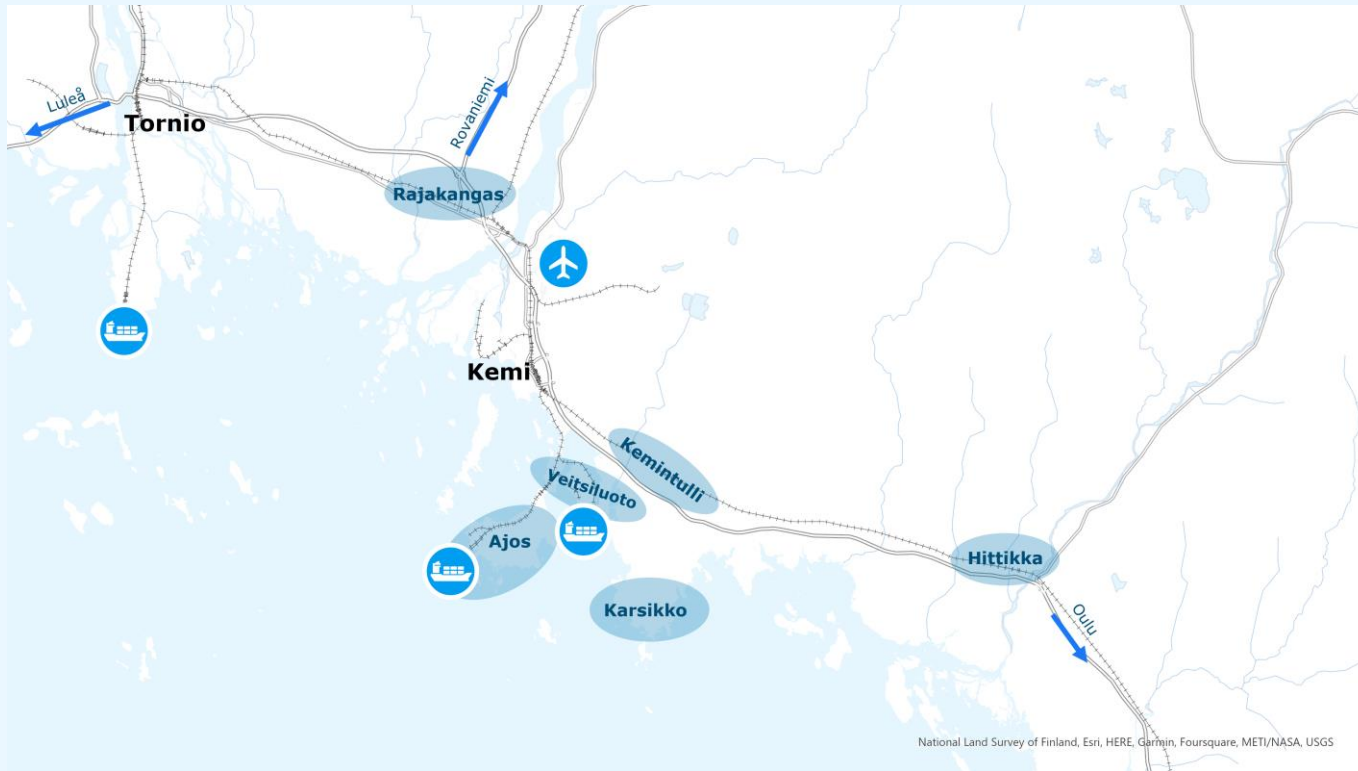


1	Johdanto
1.1	Meri-Lapin ja lähialueiden energia- ja teollisuushankkeet
1.2	Alueelliset suunnitelmat ja kaavakehitys
2	Hukkalämmön lähteet
2.1	Teollisuuden hukkalämpöpotentiaali
2.2	Vedyn tuotanto ja hukkalämpö
2.3	Datakeskusten lämpöprofiilit ja hyödyntämismahdollisuudet
3	Lämmön hyödyntämisen teknologiat ja ratkaisut
3.1	Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa
3.2	Kaukolämpöön kytkentä ja lämpöpumput
3.3	Matalalämpötilan lämmön suora käyttö ja EaaS-mallit
3.4	Kansainväliset tutkimus- ja esimerkkihankkeet
4	Paikallinen potentiaali ja esimerkkialueet
4.1	Invest In Veitsiluoto – kohteiden tarkastelu
4.2	Alueiden teknistaloudelliset tarkastelut
4.3	Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi
4.4	Etäisyyksien ja kustannusten vaikutukset
5	Yhteenveto ja suositukset
6	Lähteet ja liitteet



1	Johdanto
1.1	Meri-Lapin ja lähialueiden energia- ja teollisuushankkeet
1.2	Alueelliset suunnitelmat ja kaavakehitys
2	Hukkalämmön lähteet
2.1	Teollisuuden hukkalämpöpotentiaali
2.2	Vedyn tuotanto ja hukkalämpö
2.3	Datakeskusten lämpöprofiilit ja hyödyntämismahdollisuudet
3	Lämmön hyödyntämisen teknologiat ja ratkaisut
3.1	Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa
3.2	Kaukolämpöön kytkentä ja lämpöpumput
3.3	Matalalämpötilan lämmön suora käyttö ja EaaS-mallit
3.4	Kansainväliset tutkimus- ja esimerkkihankkeet
4	Paikallinen potentiaali ja esimerkkialueet
4.1	Invest In Veitsiluoto – kohteiden tarkastelu
4.2	Alueiden teknistaloudelliset tarkastelut
4.3	Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi
4.4	Etäisyyksien ja kustannusten vaikutukset
5	Yhteenveto ja suositukset
6	Lähteet ja liitteet

4.1. Tarkasteltavien kohteiden esittely



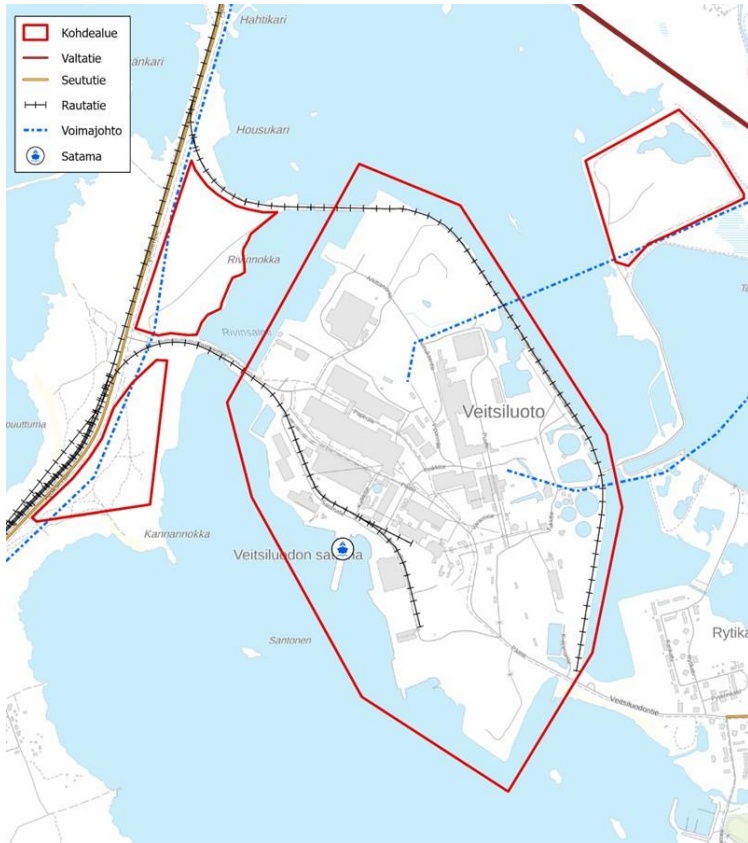
Tarkastellaan paikallista potentiaalia kuuden esimerkkikohteen kautta.

Tarkasteltavat esimerkkikohteet ovat:

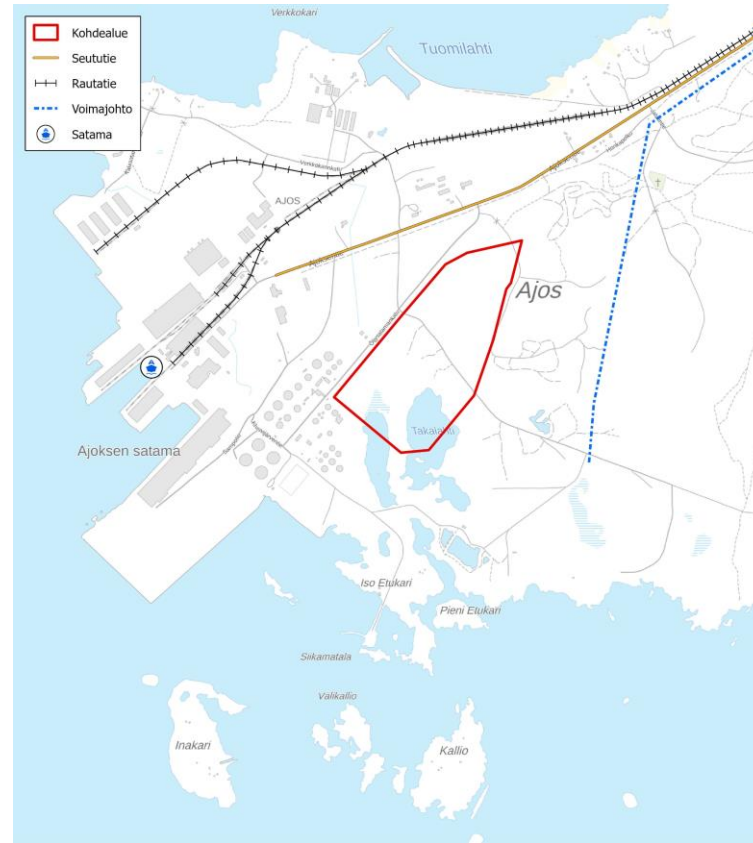
- **Veitsiluoto, Kemi**
- **Ajos, Kemi**
- **Karsikko, Simo**
- **Rajakangas, Keminmaa**
- **Hittikka, Simo**
- **Kemintulli, Kemi**

4.1. Tarkasteltavien kohteiden esittely

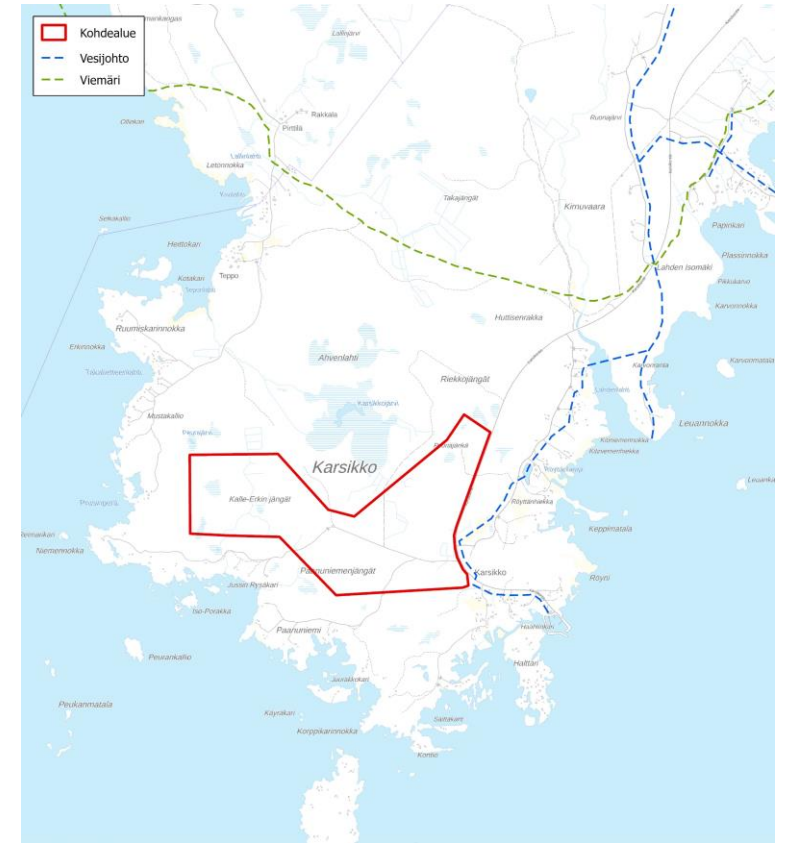
Veitsiluoto, Kemi



Ajos, Kemi

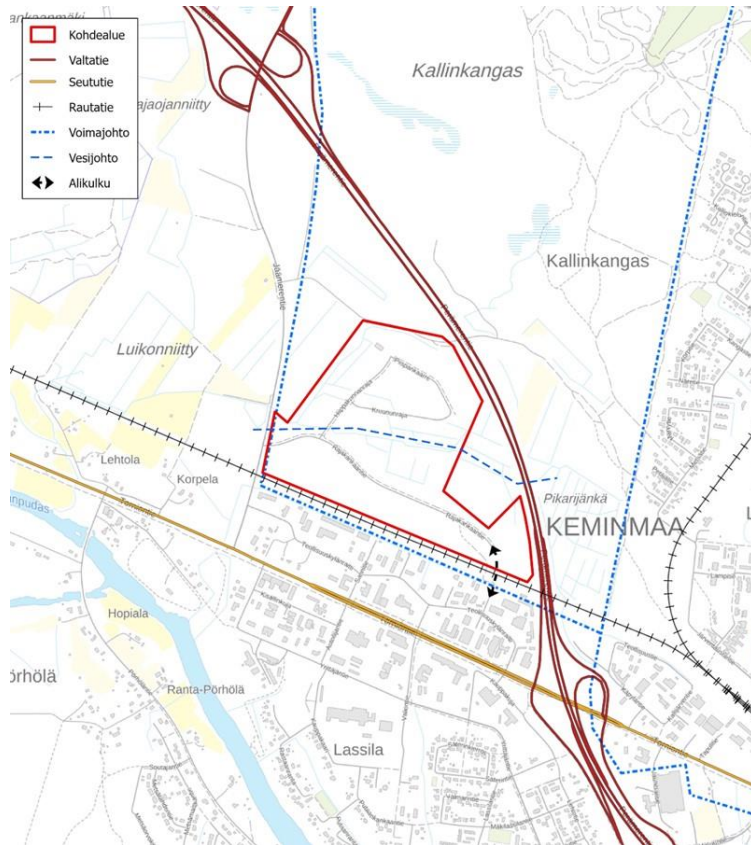


Karsikko, Simo

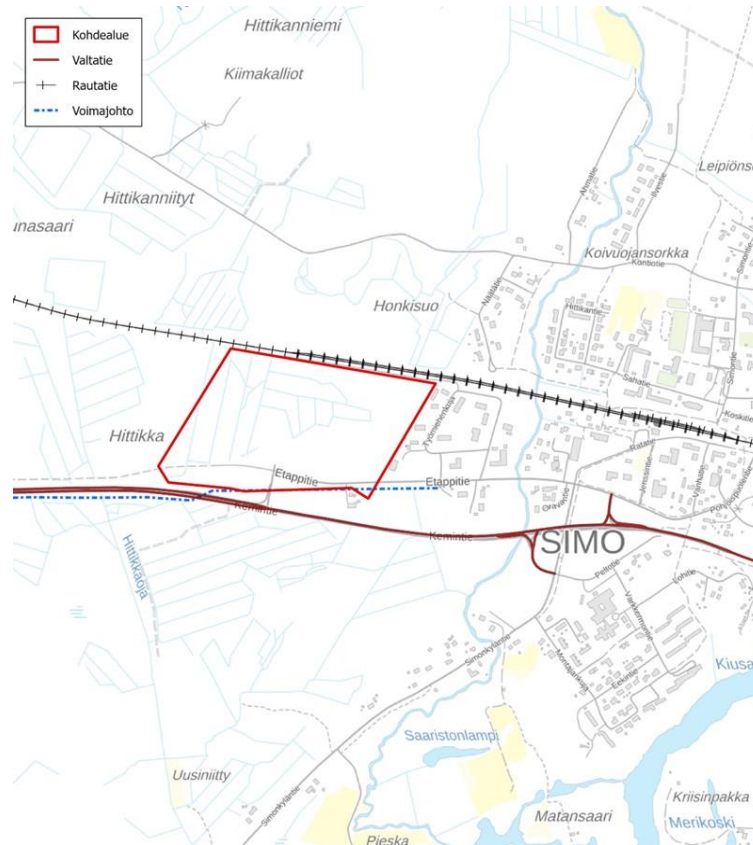


4.1. Tarkasteltavien kohteiden esittely

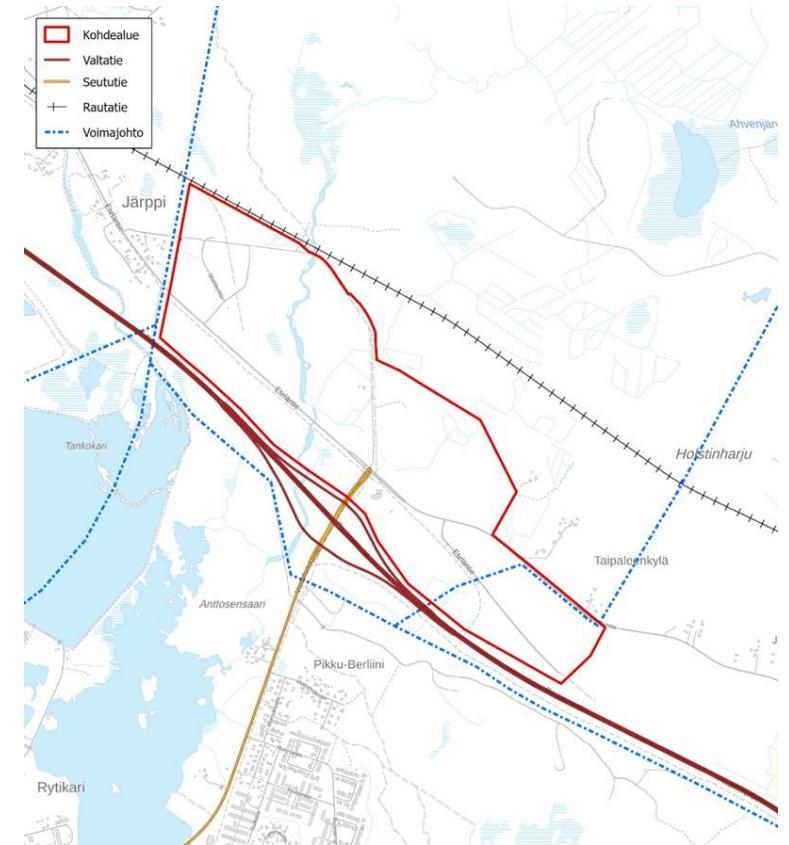
Rajakangas, Keminmaa



Hittikka, Simo



Kemintulli, Kemi





1	Johdanto
1.1	Meri-Lapin ja lähialueiden energia- ja teollisuushankkeet
1.2	Alueelliset suunnitelmat ja kaavakehitys
2	Hukkalämmön lähteet
2.1	Teollisuuden hukkalämpöpotentialiaali
2.2	Vedyn tuotanto ja hukkalämpö
2.3	Datakeskusten lämpöprofiilit ja hyödyntämismahdollisuudet
3	Lämmön hyödyntämisen teknologiat ja ratkaisut
3.1	Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa
3.2	Kaukolämpöön kytkentä ja lämpöpumput
3.3	Matalalämpötilan lämmön suora käyttö ja EaaS-mallit
3.4	Kansainväliset tutkimus- ja esimerkkihankkeet
4	Paikallinen potentiaali ja esimerkkialueet
4.1	Invest In Veitsiluoto – kohteiden tarkastelu
4.2	Alueiden teknistaloudelliset tarkastelut
4.3	Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi
4.4	Etäisyyksien ja kustannusten vaikutukset
5	Yhteenveto ja suositukset
6	Lähteet ja liitteet

Johdanto kohdekortteihin

Kohdekortit havainnollistavat, miten valituilla alueilla voitaisiin hyödyntää mahdollisesti syntyvää hukkalämpöä eri investointivaihtoehtoilla. Korteissa esitetään aluekohtaisesti potentiaalinen investointi (esimerkiksi datakeskus tai vedyn tuotanto), sen arvioitu hukkalämpöteho sekä erilaisia hyödyntämismahdollisuuksia, kuten ORC-sähköntuotanto, ulkoaltaat, sataman sulanapito, kasvihuoneet, kalankasvatus tai hiilidioksidin talteenotto (DAC).

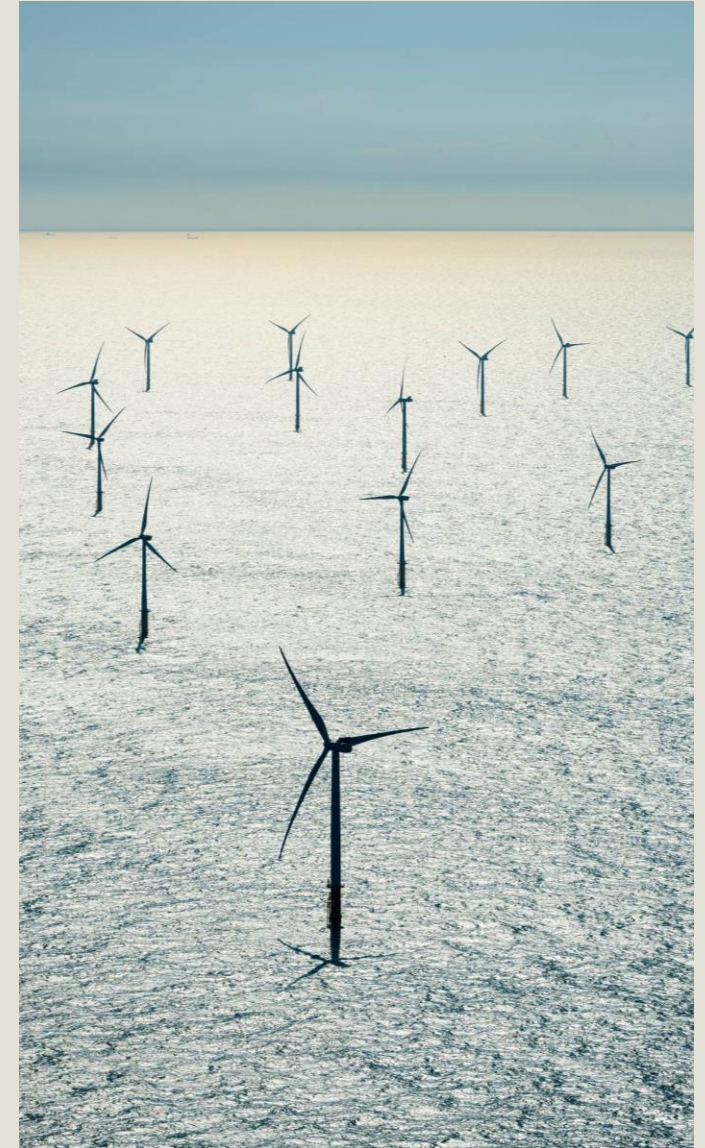
Esitetyt tehot (MW) ja niistä johdetut hukkalämpömäärät (GWh) perustuvat teoreettisiin skenaarioihin, eivät nykyisiin toimijoihin. Hyödyntämismahdollisuuksille on laskettu arvioita siitä, kuinka paljon lämpöä voitaisiin ohjata kuhunkin käyttökohteeseen vuositason tasolla.

Tarkoituksena on tunnistaa aluekohtainen skaalautuvuus ja hyödyntämispotentiaali. Lukuja ei tule nähdä investointipäätöksinä, vaan työkaluina käyttömahdollisuuksien vertailuun. Arvioissa on huomioitu mm. käytettävissä oleva tila, kaavoitus, infrastruktuuri ja sijainti (esim. vesistön tai sataman läheisyys).

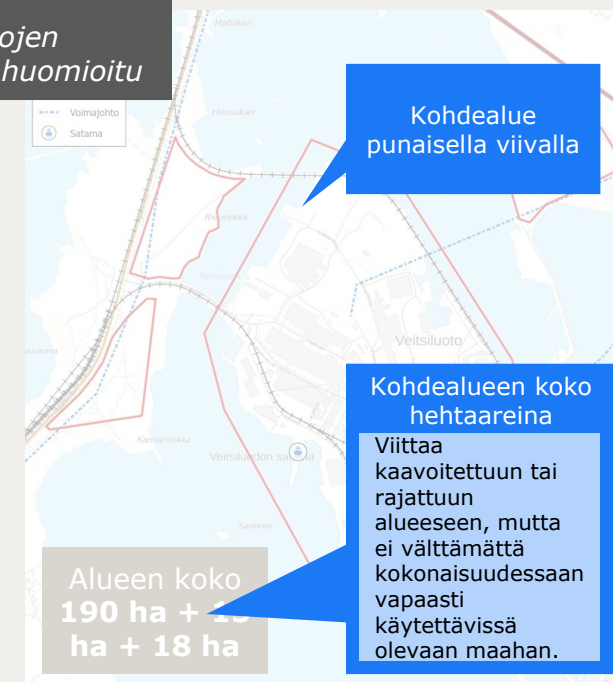
Karttaan merkitty pinta-ala (ha) viittaa kaavoitettuun tai rajattuun alueeseen, mutta ei välttämättä kokonaisuudessaan vapaasti käytettävissä olevaan maahan. Esimerkiksi Veitsiluodossa on noin 50 ha vapaata aluetta, vaikka koko alue on yli 200 ha. Tilan käyttökelpoisuus tulee tarkentaa suunnitteluvaiheessa.

Tärkeä huomio

Kaikki esitetyt hukkalämpötehot ja sovelluskohteet perustuvat laskennallisiin oletuksiin (mm. 0 % siirtohäviöitä, täysi käyttöaste). Ne eivät kuvaa nykytilannetta vaan potentiaalia, mikäli suunniteltu investointi toteutuisi. Käytännön toteutettavuus edellyttää aina yksityiskohtaista teknis-taloudellista tarkastelua.



Kohdekortilla hahmotetaan mitä mahdollisesti tulevilla hukkalämpöä tuottavalla investoinnilla voidaan toteuttaa (hyödyntämiskohteita).



Kohdekortti - Veitsiluoto

Veitsiluoto soveltuu parhaiten suurivolyymiin hukkalämmön hyödyntämiskohteisiin, erityisesti hiilidioksidin talteenottoon (DAC) ja kasvihuonetuotantoon. Alueella on merkittävää hukkalämpöpotentiaalia ja noin 50 ha vapaata tonttialuetta, valmis infra ja oma satama, mikä mahdollistaa myös sataman sulana pidon. T/Kem-kaava tukee vaativaa teollista käyttöä

Tyypillinen tuulivoimala, jonka teho on 6 MW, voi tuottaa noin **8700** megawattituntia sähköä vuodessa (MWh/a)

Suuri kasvihuone (RegEnergy Frövi): **10 ha**, täyttää 10% Ruotsin tomaattien kulutuksesta

Suuri kalankasvattamo (Hima Seafood): **3 ha**

Alueen mahdolliset hukkalämmön lähteet, hukkalämpö ja hyödyntämiskohteet*

Mahdollinen investointi	Laitteiston teho	Arvioitu syntyvä hukkalämpö
Datakeskus	70 MW	504 GWh

Mahdollisesta investoinnista syntyvän hukkalämmön hyödyntämiskohdevaihtoehto, yksikkö & määräarvio**

! Sähköntuotanto – ORC (80 °C)	MWh/a	25 000
Ulkoallas (50 m2)	kpl	580
Sataman sulanapito	ha	50
Hiilidioksidin talteenotto – DAC	tonnia CO2/a	200 000
! Kasvihuone	ha	140
! Kalankasvattamo	ha	7

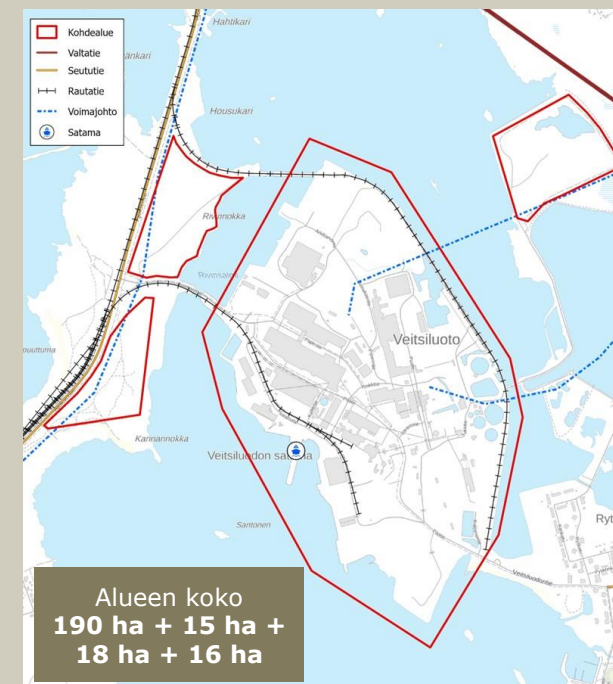
Mahdollinen investointi	Laitteiston teho	Arvioitu syntyvä hukkalämpö
Vedyn tuotanto	8 MW	43 GWh

Mahdollisesta investoinnista syntyvän hukkalämmön hyödyntämiskohdevaihtoehto, yksikkö & määräarvio**

Sähköntuotanto – ORC (80 °C)	MWh/a	2 200
Ulkoallas (50 m2)	kpl	49
Sataman sulanapito	ha	4
Hiilidioksidin talteenotto – DAC	tonnia CO2/a	17 000
Kasvihuone	ha	12
Kalankasvattamo	ha	1

*Olettaen että kaikki mahdollisen investoinnin synnyttämä hukkalämpö käytetään aina yhteen hyödyntämiskohteeseen

** Olettaen 0% siirtohäviöt mahdollisen hukkalämmön lähteen ja hyödyntämiskohdevaihtoehdon välillä



Kohdekortti - Ajos

Ajos soveltuu parhaiten sataman sulanapitoon ja hiilidioksidin talteenottoon (DAC), joita tukevat alueen sijaintia suoraan Keminsyväsataman yhteydessä, hyvä logistinen saavutettavuus sekä kohtuullinen hukkalämpöpotentiaali (159 GWh/a). Käytettävissä oleva tila (32 ha) riittää keskisuuriin ratkaisuihin, ja alue soveltuu myös prosessiteollisuuden ja logistiikan toimintoihin.

Tyypillinen tuulivoimala, jonka teho on 6 MW, voi tuottaa noin 8700 megawattituntia sähköä vuodessa (MWh/a)

Suuri kasvihuone (RegEnergy Frövi): 10 ha, täyttää 10% Ruotsin tomaattien kulutuksesta

Suuri kalankasvattamo (Hima Seafood): 3 ha

Alueen mahdolliset hukkalämmön lähteet, hukkalämpö ja hyödyntämiskohteet*

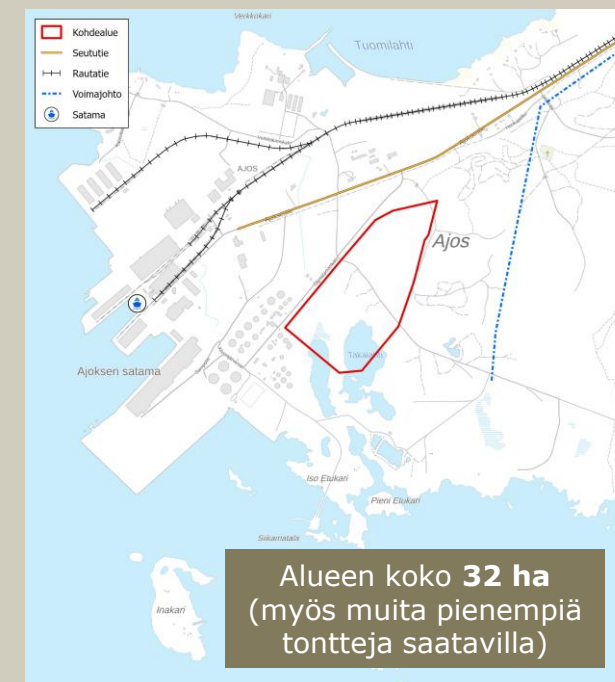
Mahdollinen investointi	Laitteiston teho	Arvioitu syntyvä hukkalämpö
Datakeskus	30 MW	159 GWh

Mahdollisesta investoinnista syntyvän hukkalämmön hyödyntämiskohtevaihtoehto, yksikkö & määräarvio**

! Sähköntuotanto – ORC (80 °C)	MWh/a	8 000
Ulkoallas (50 m2)	kpl	180
Sataman sulanapito	ha	20
Hiilidioksidin talteenotto – DAC	tonnia CO2/a	64 000
! Kasvihuone	ha	45
! Kalankasvattamo	ha	2

*Olettaen että kaikki mahdollisen investoinnin synnyttämä hukkalämpö käytetään aina yhteen hyödyntämiskohteeseen

** Olettaen 0% siirtohäviöt mahdollisen hukkalämmön lähteen ja hyödyntämiskohtevaihtoehdon välillä



Kohdekortti - Karsikko

Karsikko soveltuu parhaiten hiilidioksidin talteenottoon (DAC) ja kasvihuonetuotantoon, kiitos alueen erittäin suuren koon (100 ha), valtavan hukkalämpöpotentiaalin (2637 GWh/a) ja laajat kaavavaraukset ympäristövaikutuksiltaan merkittävälle teollisuudelle. Kaksi luonnonsatamaa (14 m syväys) mahdollistavat myös merilogistiikkaan liittyvät toiminnot, mutta alueen ensisijainen vahvuus on mittakaava ja soveltuvuus suurivolyymisiin ratkaisuihin.

Alueen mahdolliset hukkalämmön lähteet, hukkalämpö ja hyödyntämiskohteet*

Mahdollinen investointi	Laitteiston teho	Arvioitu syntyvä hukkalämpö
Datakeskus	300 MW	2 637 GWh

Mahdollisesta investoinnista syntyvän hukkalämmön hyödyntämiskohdevaihtoehto, yksikkö & määräarvio**

! Sähkön tuotanto – ORC (80 °C)	MWh/a	130 000
Ulkoallas (50 m ²)	kpl	3 000
Sataman sulanapito		300
Hiilidioksidin talteenotto – DAC	tonnia CO ₂ /a	1 100 000
Kasvihuone	ha	750
Kalankasvattamo	ha	35

Mahdollinen investointi	Laitteiston teho	Arvioitu syntyvä hukkalämpö
Vedyn tuotanto	90 MW	475 GWh

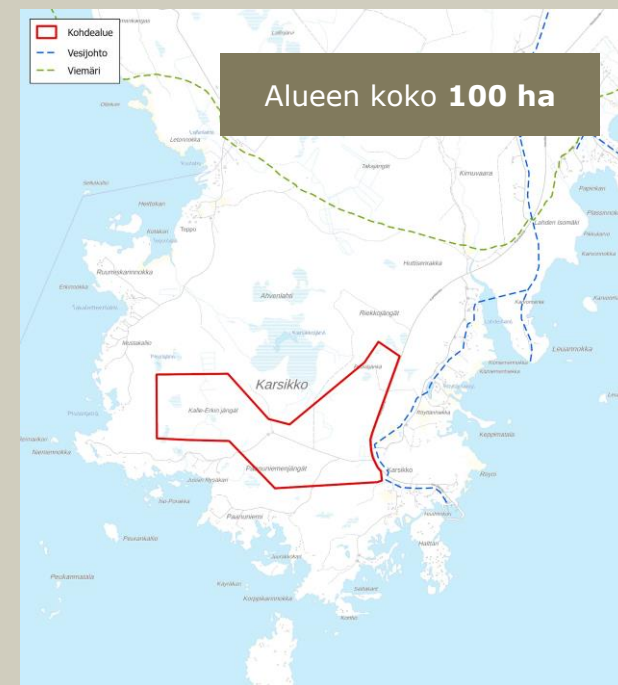
Mahdollisesta investoinnista syntyvän hukkalämmön hyödyntämiskohdevaihtoehto, yksikkö & määräarvio**

Sähkön tuotanto – ORC (80 °C)	MWh/a	24 000
Ulkoallas (50 m ²)	kpl	550
Sataman sulanapito		50
Hiilidioksidin talteenotto – DAC	tonnia CO ₂ /a	190 000
Kasvihuone	ha	140
Kalankasvattamo	ha	6

* Olettaen että kaikki mahdollisen investoinnin synnyttämä hukkalämpö käytetään aina yhteen hyödyntämiskohteeseen

** Olettaen 0% siirtohäviöt mahdollisen hukkalämmön lähteen ja hyödyntämiskohdevaihtoehdon välillä

Tyypillinen tuulivoimala, jonka teho on 6 MW, voi tuottaa noin 8700 megawattituntia sähköä vuodessa (MWh/a)



Kohdekortti - Rajakangas

Rajakangas soveltuu parhaiten hiilidioksidin talteenottoon (DAC) ja ORC-sähköntuotantoon, joiden kompakti tilatarve, hyvä yhteensopivuus teollisuusalueelle ja valmis sähkö- ja lämpöinfra (4 MW sähkö, 5 MW kaukolämpö) tukevat toteutusta. Myös pienimuotoinen kasvihuonetuotanto on mahdollinen ja alueen sijainti valtatie 4:n varrella mahdollistaa tehokkaan logistiikan.

!

Tyypillinen tuulivoimala, jonka teho on 6 MW, voi tuottaa noin 8700 megawattituntia sähköä vuodessa (MWh/a)

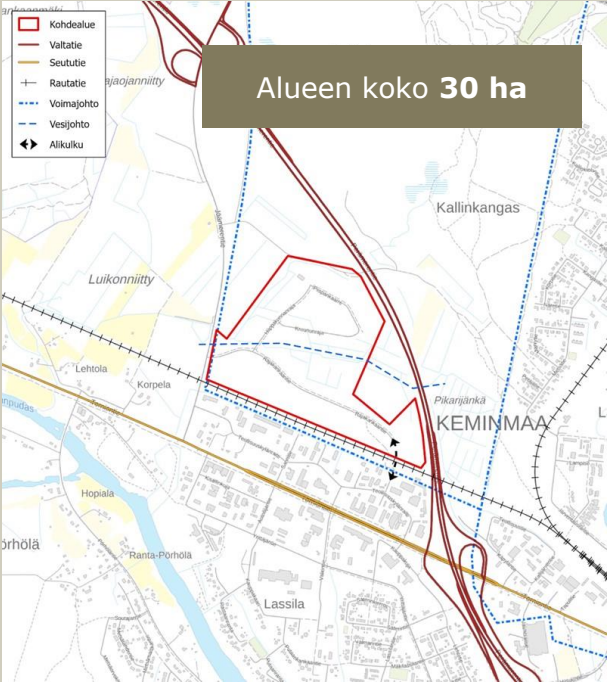
Suuri kasvihuone (RegEnergy Frövi): 10 ha, täyttää 10% Ruotsin tomaattien kulutuksesta

Suuri kalankasvattamo (Hima Seafood): 3 ha

Alueen mahdolliset hukkalämmön lähteet, hukkalämpö ja hyödyntämiskohteet*

Mahdollinen investointi	Laitteiston teho	Arvioitu syntyvä hukkalämpö
Datakeskus	5 MW	22 GWh
Mahdollisesta investoinnista syntyvän hukkalämmön hyödyntämiskohdevaihtoehto, yksikkö & määräarvio**		
! Sähköntuotanto – ORC (80 °C)	MWh/a	1 100
Ulkoallas (50 m2)	kpl	25
Sataman sulanapito		N/A
Hiilidioksidin talteenotto – DAC	tonnia CO2/a	8 800
! Kasvihuone	ha	6
! Kalankasvattamo	ha	0

* Olettaen että kaikki mahdollisen investoinnin synnyttämä hukkalämpö käytetään aina yhteen hyödyntämiskohteeseen
** Olettaen 0% siirtohäviöt mahdollisen hukkalämmön lähteen ja hyödyntämiskohdevaihtoehdon välillä



Kohdekortti - Hittikka

Hittikka soveltuu parhaiten ORC-sähkön tuotantoon ja hiilidioksidin talteenottoon (DAC), joiden kompakti toteutus onnistuu pienellä alueella ja hyödyntää sähkö- ja raideinfraan läheisyyttä. Alueen sijainti uusiutuvan energian tuotannon keskellä ja teollisuuskaavoitus mahdollistavat myös kiertotalouteen tai energiateollisuuden aliarvoketjuihin liittyvää toimintaa. Hukkalämpöpotentiaali tukee pienemmän mittakaavan, mutta jatkuvan energiavirran sovelluksia.

Alueen mahdolliset hukkalämmön lähteet, hukkalämpö ja hyödyntämiskohteet*

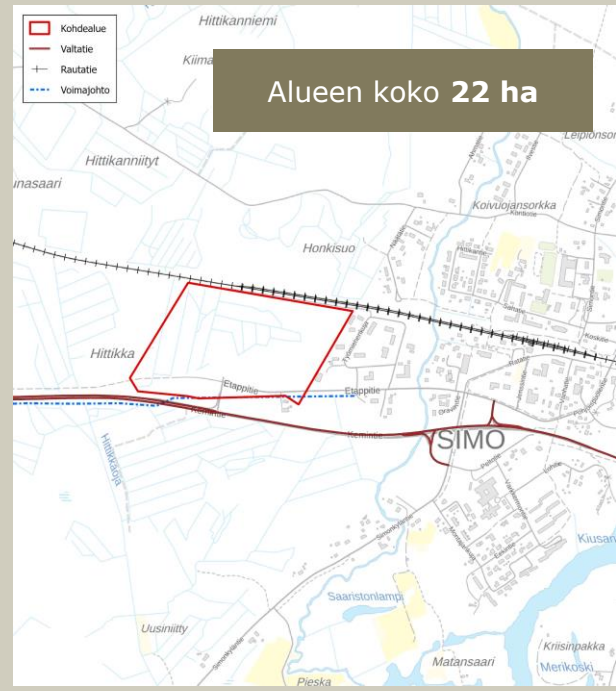
Mahdollinen investointi	Laitteiston teho	Arvioitu syntyvä hukkalämpö
Datakeskus	5 MW	42 GWh

Mahdollisesta investoinnista syntyvän hukkalämmön hyödyntämiskohdevaihtoehto, yksikkö & määräarvio**

! Sähkön tuotanto – ORC (80 °C)	MWh/a	2 100
Ulkoallas (50 m2)	kpl	48
Sataman sulanapito		N/A
Hiilidioksidin talteenotto – DAC	tonnia CO2/a	17 000
! Kasvihuone	ha	12
! Kalankasvattamo	ha	1

* Olettaen että kaikki mahdollisen investoinnin synnyttämä hukkalämpö käytetään aina yhteen hyödyntämiskohteeseen
** Olettaen 0% siirtohäviöt mahdollisen hukkalämmön lähteen ja hyödyntämiskohdevaihtoehdon välillä

- ! Tyypillinen tuulivoimala, jonka teho on 6 MW, voi tuottaa noin 8700 megawattituntia sähköä vuodessa (MWh/a)
- Suuri kasvihuone (RegEnergy Frövi): 10 ha, täyttää 10% Ruotsin tomaattien kulutuksesta
- Suuri kalankasvattamo (Hima Seafood): 3 ha



Kohdekortti - Kemintulli

Kemintulli soveltuu parhaiten ORC-sähköntuotantoon ja hiilidioksidin talteenottoon (DAC), jotka hyödyntävät alueen valmista infraa, logistista sijaintia ja pientä hukkalämpöpotentiaalia (16 GWh/a). Pienimuotoinen kasvihuonetuotanto voi olla mahdollista, mutta alue ei sovellu laajoihin tilaa vaativiin ratkaisuihin. Kemintulli on ensisijaisesti kompaktin mittakaavan teollisuus- ja logistiikka-alue.

Alueen mahdolliset hukkalämmön lähteet, hukkalämpö ja hyödyntämiskohteet*

Mahdollinen investointi	Laitteiston teho	Arvioitu syntyvä hukkalämpö
Datakeskus	100 MW	880 GWh

Mahdollisesta investoinnista syntyvän hukkalämmön hyödyntämiskohdevaihtoehto, yksikkö & määräarvio**

! Sähköntuotanto – ORC (80 °C)	MWh/a	44 000
Ulkoallas (50 m2)		N/A
Sataman sulanapito		N/A
Hiilidioksidin talteenotto – DAC	tonnia CO2/a	350 000
! Kasvihuone	ha	250
! Kalankasvattamo		N/A

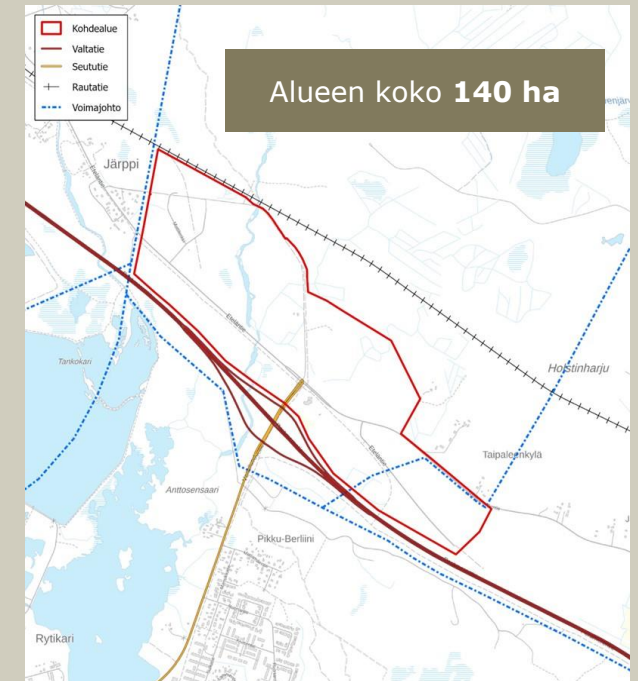
* Olettaen että kaikki mahdollisen investoinnin synnyttämä hukkalämpö käytetään aina yhteen hyödyntämiskohteeseen

** Olettaen 0% siirtohäviöt mahdollisen hukkalämmön lähteen ja hyödyntämiskohdevaihtoehdon välillä

Tyypillinen tuulivoimala, jonka teho on 6 MW, voi tuottaa noin 8700 megawattituntia sähköä vuodessa (MWh/a)

! Suuri kasvihuone (RegEnergy Frövi): 10 ha, täyttää 10% Ruotsin tomaattien kulutuksesta

Suuri kalankasvattamo (Hima Seafood): 3 ha



Yhteenvertotaulukko

		Veitsiluoto		Ajos	Karsikko		Rajakangas	Hittikka	Kemintulli
Mahdollinen investointi		Data-keskus	Vedyn tuotanto	Datakeskus	Data-keskus	Vedyn tuotanto	Datakeskus	Datakeskus	Datakeskus
Laitteiston teho	MW	70	8	30	300	90	5	5	100
Hukkalämmön määrä	GWh	504	43	159	2 637	475	22	42	880
Sähköntuotanto – ORC (80 °C)	MWh/a	25 000	2 200	8 000	130 000	24 000	1 100	2 100	44 000
Ulkoallas (50 m2)	kpl	580	49	180	3 000	550	25	48	-
Sataman sulanapito	ha	50	4	20	300	50	-	-	-
Hiilidioksidin talteenotto – DAC	tonnia CO2/a	200 000	17 000	64 000	1 100 000	190 000	8 800	17 000	350 000
Kasvihuone	ha	140	12	45	750	140	6	12	250
Kalankasvattamo	ha	7	1	2	35	6	0	1	12
Soveltuu erityisesti		DAC, kasvihuone, sataman sulana pito		Sataman sulana pito, DAC		DAC, kasvihuone, merilogistiikka		DAC, ORC, pienimuotoinen kasvihuone	
Alue ei sovellu		Ulkoaltaat (tilarajoitteet), kalankasvatus		Kasvihuone (tila rajoitettu), ulkoaltaat		Ulkoaltaat, laaja kalankasvatus		Kalankasvatus, ulkoaltaat	
Huomioidut rajoitteet		Rajoitettu vapaa tila (50 ha), teollisuuskaavoitus, satamaympäristö, ei suotuista ulkoaltaisiin		Rajallinen maa-ala (32 ha), satamaympäristö, ei sovellu tilaa vaativiin käyttökohteisiin		Soveltuu laajoihin toimintoihin, ei suojeltu, ei vesiin perustuvaa toimintaa		Mantereella, rajallinen tila (14 ha), ei vesiyhteyksiä, tiivis teollisuusalue	
								ORC, DAC, kiertotalouden pilotit	
								Kasvihuone (laaja), ulkoaltaat	
								Pienehkö alue (22,7 ha), ei suoraa vesiyhteyttä, kaavoitus kesken	
								Tiivis yritysalue, pienet tontit, urbaani ympäristö, ei vesistöjä tai laajoja peltoalueita	



1	Johdanto
1.1	Meri-Lapin ja lähialueiden energia- ja teollisuushankkeet
1.2	Alueelliset suunnitelmat ja kaavakehitys
2	Hukkalämmön lähteet
2.1	Teollisuuden hukkalämpöpotentiaali
2.2	Vedyn tuotanto ja hukkalämpö
2.3	Datakeskusten lämpöprofiilit ja hyödyntämismahdollisuudet
3	Lämmön hyödyntämisen teknologiat ja ratkaisut
3.1	Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa
3.2	Kaukolämpöön kytkentä ja lämpöpumput
3.3	Matalalämpötilan lämmön suora käyttö ja EaaS-mallit
3.4	Kansainväliset tutkimus- ja esimerkkihankkeet
4	Paikallinen potentiaali ja esimerkkialueet
4.1	Invest In Veitsiluoto – kohteiden tarkastelu
4.2	Alueiden teknistaloudelliset tarkastelut
4.3	Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi
4.4	Etäisyyksien ja kustannusten vaikutukset
5	Yhteenveto ja suositukset
6	Lähteet ja liitteet

Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi

Lähtökohdat ja laskelmien oletukset

Lähtökohdat

- Vedyntuotannon ja datakeskusten hukkalämpöjen hyödyntämistä kaukolämmöksi tarkastellaan Meri-Lapin alueen kaukolämpöverkostoihin Kemiin, Keminmaahan ja Simoon.
- Tarkastelluista hukkalämpökohteista Karsikko sijaitsee Simon alueella, mutta Karsikossa syntyvän hukkalämmön hyödyntämistä tarkastellaan Karsikosta Kemin kaukolämpöverkkoon.
- Laskennan lähtötiedot esitetään tiivistetysti sivulla 71. Lähtötietoina ovat vedyntuotannon ja datakeskusten hukkalämmön
 - arvioidut hukkalämpökapasiteetit ja oletetut lämpötilatasot
 - kohteiden etäisyys kaukolämpöverkoston liitoskohdasta, johon hukkalämmöllä tuotettu kaukolämpö on todennäköisesti syötettävissä.
- Hukkalämpökohteille suoritetaan arviolaskelmat selvittäen, mikä osuus hukkalämmöstä on teknisesti korkeintaan hyödynnettävissä kaukolämmöksi ja mikä on kaukolämmöksi hyödyntämisen jälkeen ylijäävää hukkalämpöenergiaa.
- Hukkalämpökohteiden liittämiseksi osaksi kaukolämpöjärjestelmää määritetään suuntaa-antavat investointiarviot. Kohteita vertaillaan keskenään muodostamalla kokonaishinta tuotetulle kaukolämpöenergialle (€/MWh).

Laskelmien oletukset

Laskelmissa on huomioitu seuraavat oletukset tarkastelun yksinkertaistamiseksi:

1. Hukkalämpö on ensisijainen kaukolämmön lämmityslähde. Hukkalämmön lämpötila korotetaan lämpöpumpuilla. Tarkastelu ei huomioi tarkasteltavien alueiden nykyisiä lämmöntuotantolaitoksia.
2. Hukkalämpökohteiden yhteyteen investoidaan sähkökattila varmistamaan kaukolämmöntuotanto, kun saatavilla oleva hukkalämpöteho tai hukkalämmön lämpötilataso ei ole riittävä. Sähkökattilan koko on määritetty alueiden arvioidun kaukolämmön huipputehon mukaan.
3. Hukkalämmön hinta on oletuksena 0 €/MWh. Lämpöenergian hankintakustannukset muodostuvat lämpöpumpun ja sähkökattilan SPOT-sähkön ostokuluista ja siirtomaksuista. SPOT-sähkön hinnat perustuvat vuoden 2024 toteutuneisiin hintoihin. Siirtomaksuina on käytetty tarkastelun yksinkertaistamiseksi Fingridin kantaverkkomaksuja.
4. Kemiin tarkastelluista neljästä vaihtoehtoisesta hukkalämpökohteesta vain yksi (1) voitaisiin liittää osaksi Kemin kaukolämmöntuotantoa. Kemin tarkastelut ovat toisensa poissulkevia, mutta arviolaskelmat suoritetaan jokaiselle kohteelle.
5. Kohteille määritettävät investointiarviot perustuvat tyypillisiin €/MW-ominaiskustannushintoihin ja investointiarviot ovat suuntaa-antavia. Kaukolämmön siirtojohdon investointikustannukset ja pumppauskustannukset perustuvat arvioituihin etäisyyksiin kaukolämpöverkostosta ja siirrettäviin lämpöenergiämääriin.

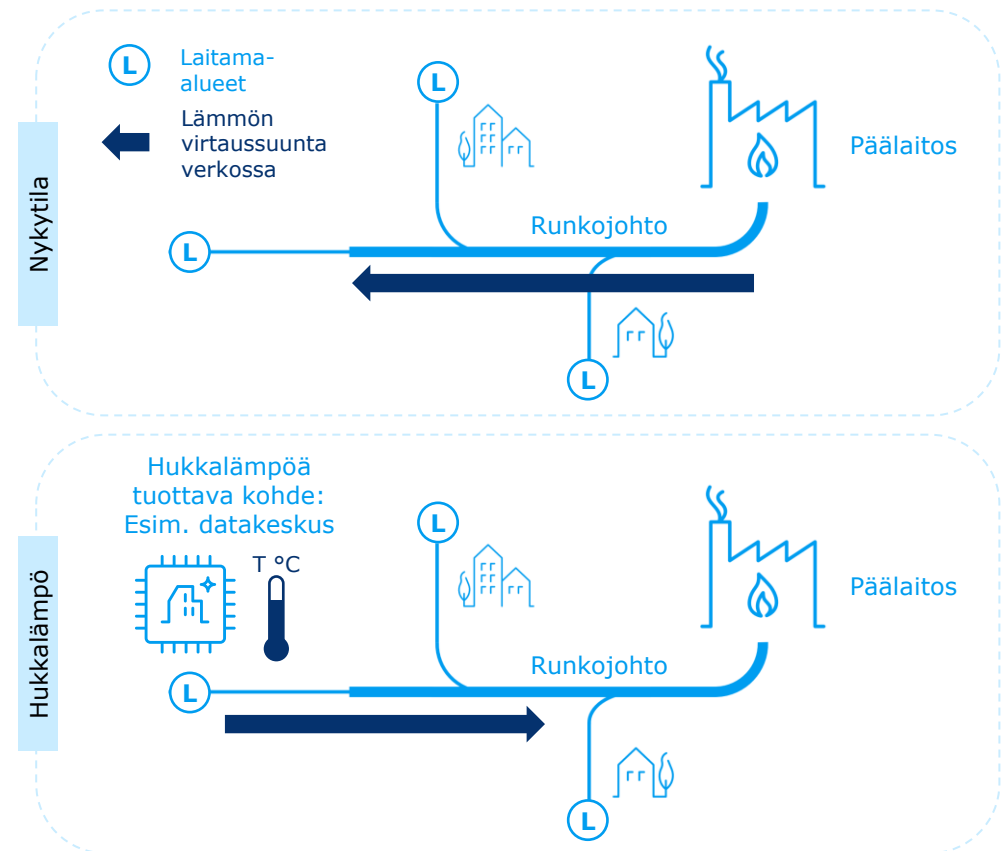
Hukkalämmön siirto kaukolämpöverkoston

Lämmön siirron tekniset vaatimukset ja tarkasteltavat siirtosuunnat

Lämmönsiirron tekniset vaatimukset

- Hukkalämmön hyödyntämisessä kaukolämmöksi on **lämmön siirron kannalta optimaalisinta, jos kohteet sijaitsevat lähellä kaukolämmön suurimpia runkojohtoja tai päälaitoksia**, jolloin ne ovat teknisesti yksinkertaisemmin liitettävissä lämmöntuotantoon ilman suuria muutoksia kaukolämpöverkoston.
- Tarkasteltavat hukkalämpökohteet olisivat sijoittumassa pääosin verkoston laitamille, mikä johtaisi tilanteeseen, jossa lämmön toimitussuunta muuttuisi nykyisestä.** Olemassa olevaa kaukolämpöverkostoa ei ole todennäköisesti suunniteltu verkoston putkimitoituksessa mahdollistamaan lämmönsiirtoa tarkastelluista suunnista.
- Lämmön siirron suunnan muuttumisessa haasteeksi voi muodostua:
 - Olemassa olevan kaukolämpöverkoston putkien painehäviöiden kasvu lämmön syöttösuunnan muutoksesta johtuen, mikä voi edellyttää verkoston saneerausta putkikokokojen suurentamiseksi.
 - Nykyisten välipumppaamojen sijaintien soveltumattomuus, jolloin voi olla tarpeen investoida uusia välipumppaamoja uuteen siirtojohtoon tai muualle verkostoon.
 - Kesäaikainen menolämpötila, minkä tulee olla riittävä pitkällä siirtoetäisyyksillä myös kauimmaisella kaukolämpökuluttajalle.
- Lämmönsiirron teknisiä tarkasteluja suoritetaan kaukolämpöverkostojen simulointiohjelmilla mallintaen verkoston toiminnallisuutta virtausteknisesti useissa eri käyttötilanteissa. Hukkalämpökohteiden liitettävyyttä on suositeltavaa tarkastella syvemmin jatkoselvityksissä verkoston simulointiohjelmilla. Simuloinnin suorittaminen edellyttää kattavien verkostotietojen koontia alueiden lämpöyhtiöiltä.

Tarkasteltavat siirtosuunnat



Hukkalämpö kaukolämmöksi

Laskennan lähtötiedot

Kohde	Hukkalämpöä tuottava teollisuus	Hukkalämpö -teho, MW	Hukkalämmön oletettu lämpötilataso	KL-verkko, johon lämpö syötetään	KL-tuotanto, MWh/a	Arvioitu etäisyys KL-verkostoon, km
Veitsiluoto	Datakeskus	70	Matala	Kemi	182	6
	Vedyntuotanto	8	Korkea			
Ajos	Vedyntuotanto	30	Korkea	Kemi	182	6
Karsikko (Simossa)	Datakeskus	300	Matala	Kemi	182	9
	Vedyntuotanto	90	Korkea			
Kemintulli	Datakeskus	100	Matala	Kemi	182	2
Rajakangas	Datakeskus	5	Matala	Keminmaa	36	0,5
Hittikka	Datakeskus	5	Matala	Simo	4	0,5

* KL-tuotantomäärät perustuvat Kemin ja Keminmaan osalta Energiateollisuus ry (2023) julkisiin tilastoihin. Simon kaukolämmöntuotanto perustuu arvioon, sillä julkisia lähtötietoja ei ollut saatavilla.

- Taulukossa esitetään laskennan lähtötiedot eri tarkasteluissa. Kemin, Keminmaan ja Simon tuntikohtaiset kaukolämpötehot on arvioitu vuoden 2023 kaukolämmöntuotantomäärillä.
- Datakeskusten hukkalämmön oletus:**
 - Lämpötilataso matala, noin 30-40 °C (esim. ilmajäähdytteiset datakeskukset)
 - Hukkalämpöteho on tasainen
 - Hukkalämpö priimataan lämpöpumpuilla tarvittaessa enintään 90 °C:een menolämpötilaan
- Vedyntuotannon hukkalämmön oletus:**
 - Lämpötilataso korkea, noin 75-80 °C (esim. AEL- tai PEM-teknologiat)
 - Hukkalämpöteho on vaihteleva
 - Hukkalämpö priimataan lämpöpumpuilla tarvittaessa enintään 90 °C:een menolämpötilaan

Hukkalämpö kaukolämmöksi

Hyödynnettävä ja ylijäävä hukkalämpömäärä, MWh

Kohde	Hukkalämpöä tuottava teollisuus	Hukkalämpöteho, MW	Hukkalämpö kaukolämmöksi MWh/a*	Yhteensä tuotettu kaukolämpö, MWh/a**	Osuus alueen KL-tuotannosta	Ylijäävä hukkalämpöenergia, MWh
Veitsiluoto	Datakeskus	70	112 000	167 000	92 %	504 000
	Vedyntuotanto	8	41 000	42 000	23 %	2 000
Ajos	Vedyntuotanto	30	105 000	113 000	62 %	54 000
Karsikko	Datakeskus	300	112 000	167 000	92 %	2 525 000
	Vedyntuotanto	90	136 000	151 000	83 %	339 000
Kemintulli	Datakeskus	100	112 000	167 000	92 %	768 000
Rajakangas	Datakeskus	5	22 000	33 000	92 %	22 000
Hittikka	Datakeskus	5	2 500	3 700	92 %	42 000

Kemi

Keminmaa

Simo

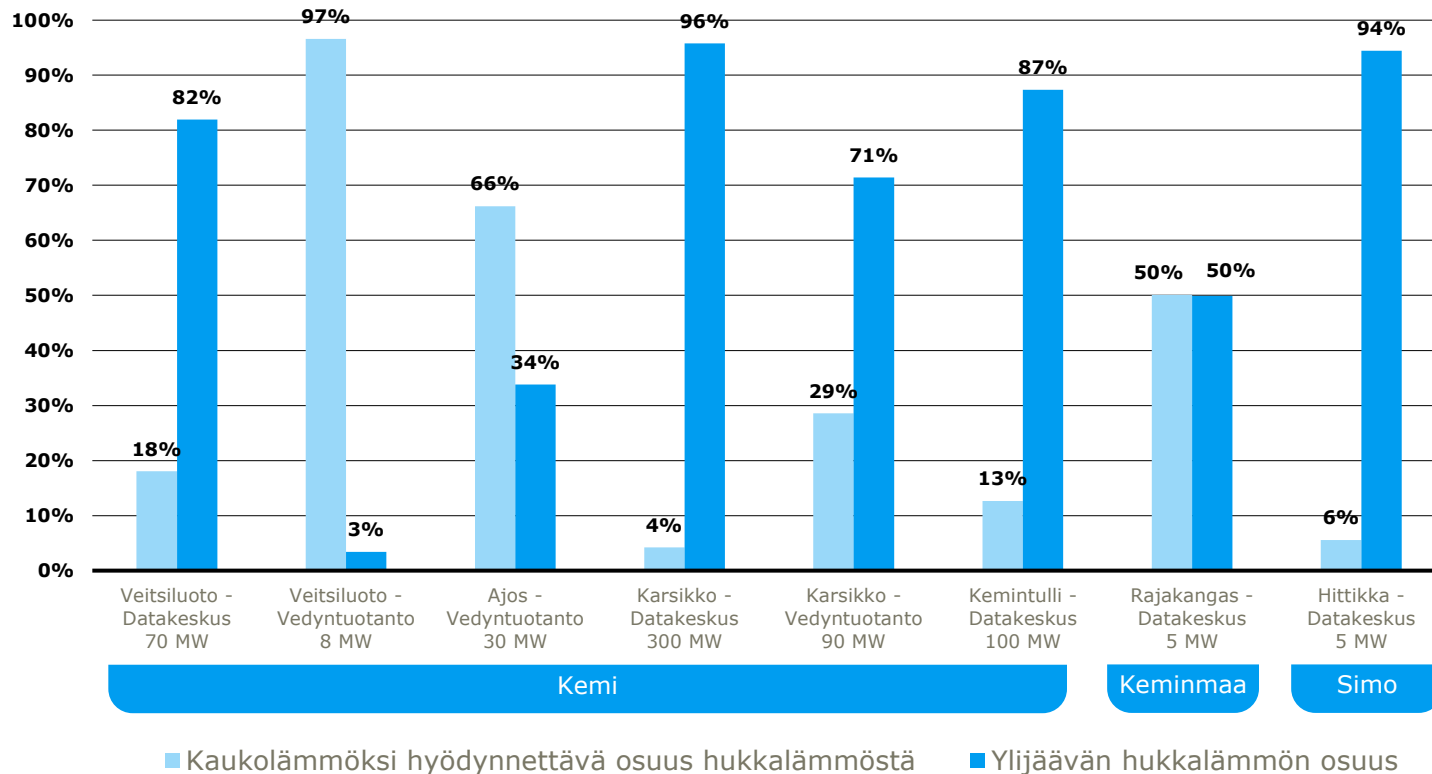
- Lämpöpumpuilla ja suurilla hukkalämpökapasiteeteilla voidaan kattaa korkeintaan noin 90 % alueiden kaukolämmöntarpeesta.
- Koska tarkastellut hukkalämpötehot ovat erittäin suuria ja toisaalta hukkalämmön hyödyntämistä rajoittaa kaukolämpötehon vaihtelu sekä verkostojen tehontarve on alhainen suhteutettuna hukkalämpötehoihin, on ylijäävän hukkalämmön osuus edelleen suuri.

* Arvo sisältää vain talteen otettavan hukkalämpömäärän, jota hyödynnetään kaukolämmöntuotantoon.
** Arvo sisältää hukkalämmöstä talteen otettavan hukkalämpömäärän lisäksi lämpöpumpun sähkötehon. Lämpöpumpun COP on vakiona 3,00.

Hukkalämpö kaukolämmöksi

Hyödynnettävä ja ylijäävä hukkalämpömäärä, %

HUKKALÄMMÖN POTENTIAALI KAUKOLÄMMÖKSI JA YLIJÄÄVÄ OSUUS, %



- Kaukolämmöksi hyödynnettävän ja ylijäävän hukkalämmön määrät vaihtelevat merkittävästi kohteittain, johtuen hukkalämpömäärien vaihtelevuudesta sekä kaukolämpöverkostojen kokoluokasta.
- Veitsiluodon vedyntuotantolaitoksen hukkalämmöstä (8 MW) voitaisiin hyödyntää jopa 97 % kaukolämmöksi.
- Vastaavasti Karsikon datakeskuksen hukkalämmöistä, jossa hukkalämpöteho olisi jopa 300 MW, vain noin 4 % hukkalämmöistä voitaisiin hyödyntää kaukolämmitykseen.
- Kemnmaan Rajakankaan pienen 5 MW datakeskuksen hukkalämmöistä noin 50 % voitaisiin hyödyntää Kemnmaan kaukolämmöksi.
- Simossa kaukolämmön tarve on alhainen ja siten Hittikan 5 MW datakeskuksen hukkalämmöstä vain noin 6 % voitaisiin hyödyntää kaukolämmitykseen.

Hukkalämpö kaukolämmöksi

Investointikustannusten arviointi: Keskitetty kaukolämmöntuotanto hukkalämmöllä ja sähkökattilalla

Kohde		Hukkalämpöä tuottava teollisuus	Lämpöpumppu-laitos, teho MW	Lämpöpumppu-laitos, k€	Sähkö-kattila, k€	KL-siirto-johto ja pumppaus, k€*	Sähköistys ja muut kulut, k€	Investoinnit yhteensä, k€	
Veitsiluoto		Datakeskus, 70 MW	36	37 800	8 400	8 580	4 620	59 400	Kemi
		Vedyntuotanto, 8 MW	5	5 250	8 400	8 580	1 365	23 595	
Ajos		Vedyntuotanto, 30 MW	17	17 850	8 400	8 580	2 625	37 455	
Karsikko		Datakeskus, 300 MW	36	37 800	8 400	12 870	4 620	63 690	
		Vedyntuotanto, 90 MW	18	18 900	8 400	12 870	2 730	42 900	
Kemintulli		Datakeskus, 100 MW	36	37 800	8 400	2 860	4 620	53 680	
Rajakangas		Datakeskus, 5 MW	8	8 400	1 666	390	1 007	11 463	
Hittikka		Datakeskus, 5 MW	1,3	1 365	336	228	170	2 099	

*Kaukolämmön siirtojohdon vaadittuun kokoon sekä investointiin vaikuttaa siirrettävä lämpöteho sekä mitoittava lämpötilaero meno- ja paluuputkessa. Esimerkiksi Kemin 60 MW huipputehon siirtämiseksi siirtojohdon koko olisi DN500 ja investointiarvio noin 1 200 € / rakennettava kaukolämpöjohdon kanavametri. Keminmaan 12 MW huipputehon siirtoon soveltuisi DN250 putkikoko (n. 700 € / kanavametri) ja Simon 2 MW huipputehoon DN100 putkikoko (n. 400 € / kanavametri).

Huom! Välipumppaamon investointi sisältyy tarkasteltuun investointiarvioon.

- Taulukossa esitetään suuntaa-antavat kustannusarviot keskitetyille kaukolämmöntuotannoille, joissa
- hukkalämpö sekä hukkalämmön lämpötilaa korottava lämpöpumppulaitos ovat ensisijainen lämmönlähde
- Sähkökattila toimii tarvittaessa huippu- ja varalämpönä
 - Sähkökattilan kapasiteetti on Kemin kohteille 60 MW, Keminmaalle 12 MW ja Simolle 2 MW.
- Kustannusarvion perusteella muodostetaan lämmön kokonaishinta mahdollistaen eri kohteiden välisen alustavan vertailun.

Hukkalämpö kaukolämmöksi

Lämmön kokonaishinnan arviointi

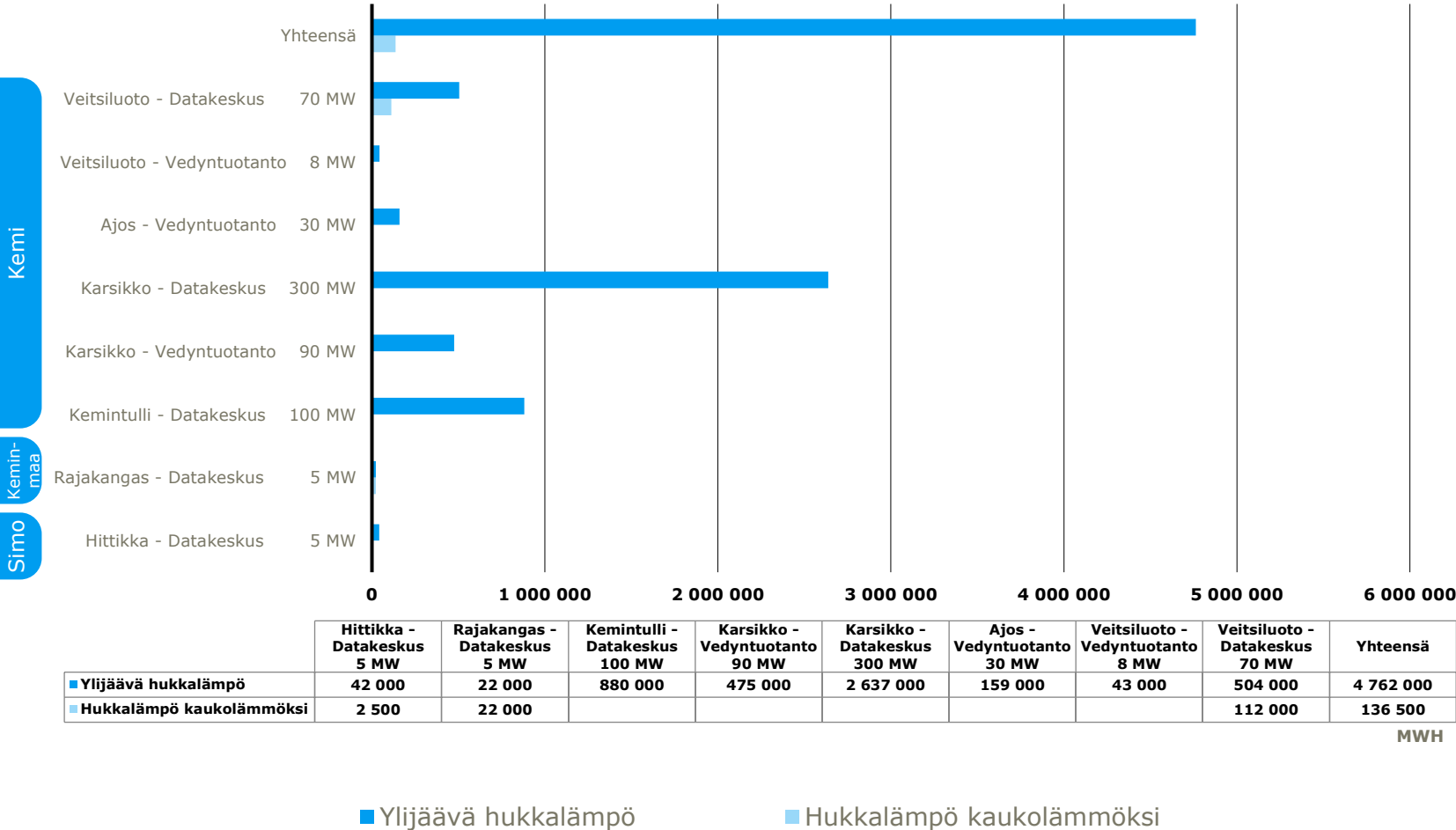
Kohde	Hukkalämpöä tuottava teollisuus	Hukkalämpö kaukolämmöksi , MWh/a	Yhteensä tuotettu kaukolämpö, MWh/a	Tuotetun lämpöenergian keskihinta, €/MWh	Investoinnin kustannus, €/MWh	Käyttö-kustannus, €/MWh	Lämmön kokonaishinta , €/MWh	
Veitsiluoto	Datakeskus, 70 MW	112 000	167 000	29	34	10	72	Kemi
	Vedyntuotanto, 8 MW	41 000	42 000	58	13	4	75	
Ajos	Vedyntuotanto, 30 MW	105 000	113 000	40	21	6	67	
Karsikko	Datakeskus, 300 MW	112 000	167 000	29	36	10	75	
	Vedyntuotanto, 90 MW	136 000	151 000	25	24	7	56	
Kemintulli	Datakeskus, 100 MW	112 000	167 000	29	30	9	68	
Rajakangas	Datakeskus, 5 MW	22 000	33 000	29	33	10	71	Keminmaa
Hittikka	Datakeskus, 5 MW	2 500	3 700	29	54	16	99	Simo

- Lämmön kokonaishinnan arviointiin investoinnit on jyvitetty €/MWh-hinnaksi 15 vuoden pitoajalla ja 6 % korkokannalla.
- Käyttökustannus on jyvitetty investointikustannusten ja tuotettujen energiamäärien perusteella 3 % käyttökustannuskertoimella.
- Kemin kohteista edullisin lämmön kokonaishinta muodostuu Karsikon vedyntuotannon hukkalämmölle, noin 56 €/MWh.
 - Veitsiluodon datakeskuksen hinta on 72 €/MWh. Veitsiluoto on potentiaalisin vaihtoehto Kemin kaukolämpöverkoston hukkalämpöjen syötölle sen otollisen sijaintinsa vuoksi.
 - Keminmaan datakeskuksen hinta on 70 €/MWh ja Simossa 100 €/MWh.
- Kohteiden kannattavuutta ei voi arvioida suoraan lämmön kokonaishintaan perustuen.
 - Hukkalämmön hyödyntämisen kannattavuus on tarkemmin selvitettävissä, kun tarkastellaan koko kaukolämpöjärjestelmää huomioden olemassa oleva lämmöntuotanto tarkasteltavissa kaukolämpöverkostoissa.

Hukkalämpö kaukolämmöksi

Kaukolämmöksi hyödynnettävä hukkalämpö ja ylijäävä hukkalämpö, MWh

HUKKALÄMPÖ KAUKOLÄMMÖKSI JA YLIJÄÄVÄ HUKKALÄMPÖ, MWH



- Kemin, Keminmaan ja Simon kaukolämpöverkkoihin voitaisiin hyödyntää tarkastelun perusteella hukkalämpöjä noin 136 GWh kaukolämmöksi.
- Hukkalämpöä jää edelleen yli 4 700 GWh eli vain noin 3 % syntyvistä vedyntuotannon ja datakeskusten hukkalämpövirroista voitaisiin hyödyntää tarkasteltuihin kaukolämpöverkkoihin.



1	Johdanto
1.1	Meri-Lapin ja lähialueiden energia- ja teollisuushankkeet
1.2	Alueelliset suunnitelmat ja kaavakehitys
2	Hukkalämmön lähteet
2.1	Teollisuuden hukkalämpöpotentiaali
2.2	Vedyn tuotanto ja hukkalämpö
2.3	Datakeskusten lämpöprofiilit ja hyödyntämismahdollisuudet
3	Lämmön hyödyntämisen teknologiat ja ratkaisut
3.1	Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa
3.2	Kaukolämpöön kytkentä ja lämpöpumput
3.3	Matalalämpötilan lämmön suora käyttö ja EaaS-mallit
3.4	Kansainväliset tutkimus- ja esimerkkihankkeet
4	Paikallinen potentiaali ja esimerkkialueet
4.1	Invest In Veitsiluoto – kohteiden tarkastelu
4.2	Alueiden teknistaloudelliset tarkastelut
4.3	Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi
4.4	Etäisyyksien ja kustannusten vaikutukset
5	Yhteenveto ja suositukset
6	Lähteet ja liitteet

Etäisyyksien ja kustannusten vaikutus

Hukkalämmön siirto lyhyillä ja suurilla etäisyyksillä

Tavoitteet

Hukkalämpö kaukolämmöksi -osion tarkastelussa muodostettiin arvio, että kohdealueilla syntyvistä hukkalämmöistä korkeintaan noin 3 % voitaisiin hyödyntää kaukolämmöksi tarkasteltuihin kaukolämpöverkkoihin.

Seuraavassa arvioidaan, mitä ylijäävän hukkalämmön siirtäminen kustantaa eri etäisyyksille huomioiden hukkalämmön vaihtelevat vuosienenergiamäärät. Tarkastelussa oletetaan, että hukkalämmön lämpötilaa ei koroteta ennen siirtoa.

Etäisyyksinä tarkastellaan lyhyitä ja suuria siirtoetäisyyksiä:

- **Lyhyet etäisyydet** kuvaavat alueellista hukkalämmön siirtoa Meri-Lapin alueella kohdealueiden läheisyyteen 3-15 km etäisyydelle.
- **Suuret etäisyydet** kuvaavat hukkalämmön siirtoa Meri-Lapin alueen ulkopuolelle 15-150 km etäisyydelle.

Muodostettava hinta-arvio (€/MWh) sisältää mm. lämmönsiirtoon investoitavan siirtojohdon ja vaadittavat välipumppaamot tarkastelluille etäisyyksille sekä arvion vuosittaisista käyttö- ja huoltokustannuksista (€/a).

Investointien kustannusarviot ovat suuntaa-antavia ja perustuvat viimeaikaiseen kustannustietouteen. Investointikustannukset on jyvitetty 15 vuoden tarkasteluaajalle 6 % korkokannalla.

Tarkastelussa esitetään vertailevat hinnat 40 €/MWh (esim. hakkeen hinta) ja 60 €/MWh (esim. pelletin hinta) vaihtoehtoiselle lämmöntuotannolle kuvaten yksistään polttoaineen hinnan muodostamaa raja-arvoa kannattavuudelle, kuitenkin huomioimatta lämmöntuotannon muita kustannuksia polttoainekustannusten lisäksi.

Siirtokustannuksiin vaikuttavat päätekijät

Lämmön siirtokustannukset muodostuvat lämmön siirtoon vaadittavista investoinneista ja lisäksi pumppauksen muodostamista käyttö- ja huoltokustannuksista.

Hukkalämmön siirtoon edellytetään pääasiallisina investointeina:

- Lämmönsiirrinasemat lämmön talteenottoon ja lämmön luovutuskohteeseen
- Hukkalämmön siirtojohto, jonka koko perustuu siirrettävään hukkalämpötehoon ja lämpötilaeroon
- Hukkalämmön välipumppaamot siirtojohdon varrelle

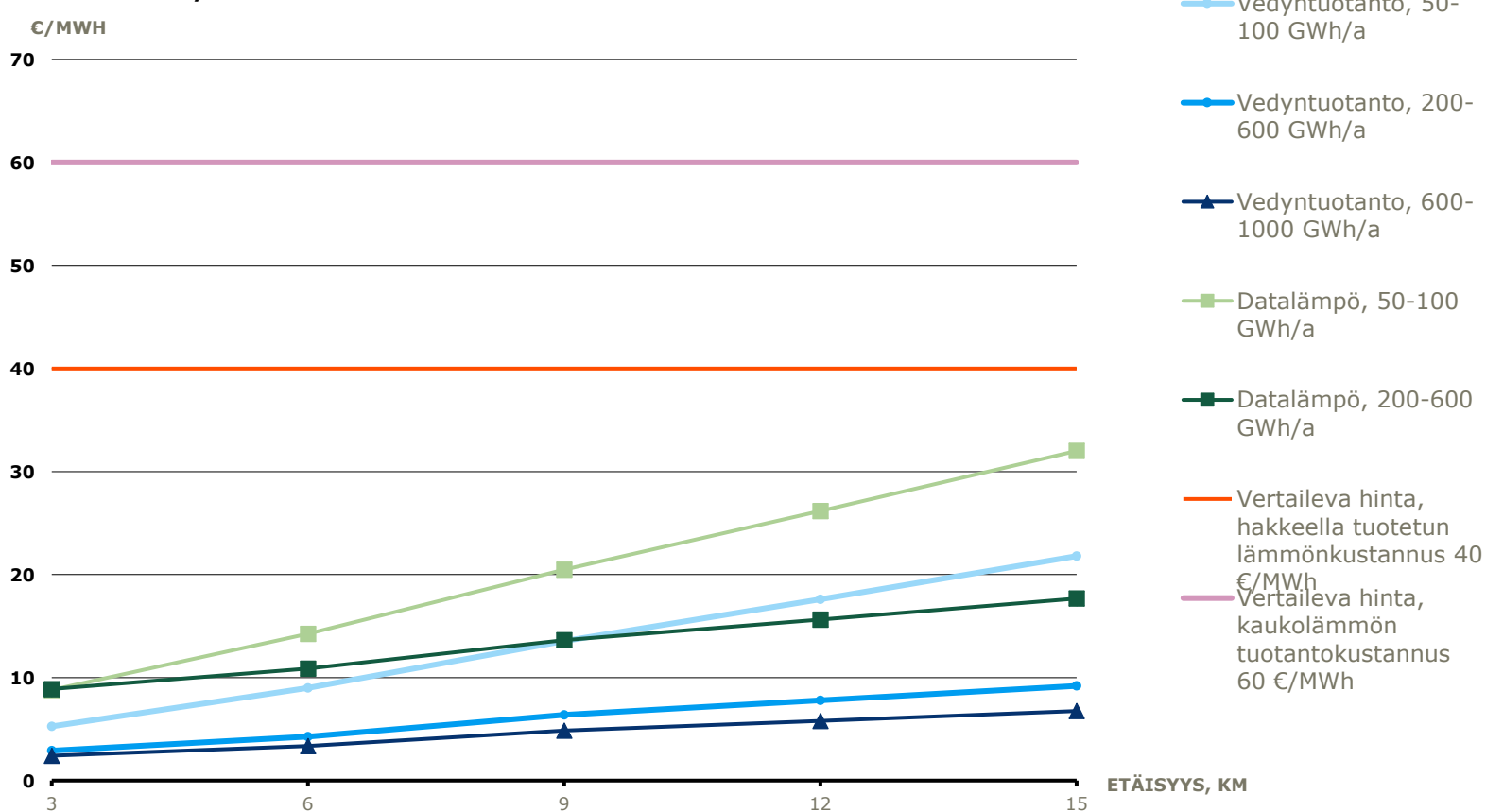
Pumppauksen käyttö- ja huoltokustannukset muodostavat vain pienen osan hukkalämmön siirtokustannuksista. Käyttökustannuksesta pääosan muodostaa pumppaukseen käytetyn sähköenergian ostokulut.

Seuraavilla sivuilla esitetään tarkastelut sekä lyhyille että suurille siirtoetäisyyksille. Vuosittaisina hukkalämpömäärinä tarkastellaan 50-100, 200-600 sekä 600-1000 GWh/a siirrettäviä vuosienenergiamääriä.

Hukkalämmön siirto – lyhyet etäisyydet

Hukkalämmön siirtokustannuksen arviointi Meri-Lapin alueella

KUSTANNUS €/MWH ERI SIIRTOETÄISYYKSILLÄ



Kuvassa vedyn ja datakeskusten hukkalämmön siirtokustannus (€/MWh) 3-15 kilometrin etäisyyksillä tarkasteltavista kohdealueista.

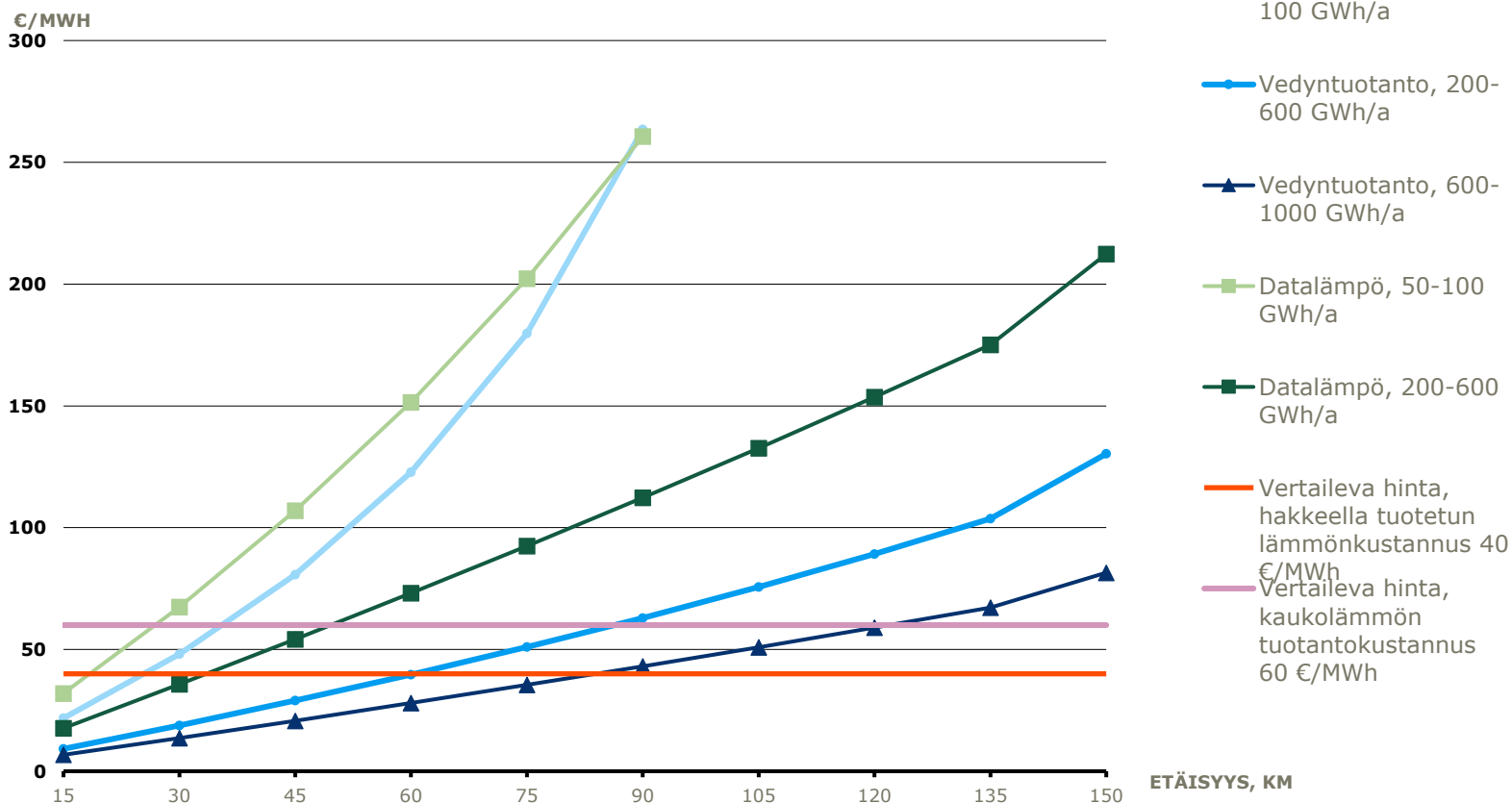
Johtopäätökset:

- Lyhyillä siirtoetäisyyksillä hukkalämmön siirtokustannus jää selkeästi alle vertailuhintojen 40 ja 60 €/MWh.
- Hukkalämpöä voisi olla siirrettävissä lyhyillä siirtoetäisyyksillä kannattavasti eri tyyppisille lämmönkäyttäjille, joille hukkalämmön lämpötilataso on sellaisenaan soveltuva.
- Erittäin lyhyillä siirtoetäisyyksillä (3 km) kustannukset voivat jäädä jopa alle 10 €/MWh.
- Datalämmön siirtokustannus vaihtelee noin 10-30 €/MWh välillä siirtoetäisyydestä riippuen.
- Vedyn hukkalämmön siirto suurilla kapasiteetilla (200-600 GWh/a) on siirtokustannukseltaan edullisempi kuin datalämmön siirtokustannus johtuen lämpötilaerosta.

Hukkalämmön siirto – suuret etäisyydet

Hukkalämmön siirtokustannuksen arviointi Meri-Lapin ulkopuolelle

KUSTANNUS €/MWH ERI SIIRTOETÄISYYKSILLÄ



Kuvassa vedyn ja datakeskusten hukkalämmön siirron kustannus €/MWh 15-150 kilometrin etäisyyksillä tarkasteltavista kohdealueista.

Johtopäätökset:

- Datalämmön siirto on vertailtaviin kustannuksiin nähden kannattavaa korkeintaan 15-45 km etäisyyksille ilman lämpötilan korottamista.
- Vastaavasti, jos vedyn hukkalämpöä siirretään suuria kapasiteetteja, voi vedyn hukkalämmön siirto olla kannattavaa jopa 100 km etäisyydelle.
- Vaikka tarkastelu on suuntaa-antava, se osoittaa, että suurten kapasiteettien siirtäminen voi olla kannattavaa myös useiden kymmenien kilometrin päähän.
- Tarkemman kannattavuuden määrittäminen edellyttää kokonaisvaltaista tarkastelua, kuten tarkastelua siitä, mitä lämmöntuotantoa hukkalämpö korvaa, mikä on hukkalämmön vastaanottokyky ja millä lämpötilaa tarvittaessa korotetaan.



1	Johdanto
1.1	Meri-Lapin ja lähialueiden energia- ja teollisuushankkeet
1.2	Alueelliset suunnitelmat ja kaavakehitys
2	Hukkalämmön lähteet
2.1	Teollisuuden hukkalämpöpotentiaali
2.2	Vedyn tuotanto ja hukkalämpö
2.3	Datakeskusten lämpöprofiilit ja hyödyntämismahdollisuudet
3	Lämmön hyödyntämisen teknologiat ja ratkaisut
3.1	Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa
3.2	Kaukolämpöön kytkentä ja lämpöpumput
3.3	Matalalämpötilan lämmön suora käyttö ja EaaS-mallit
3.4	Kansainväliset tutkimus- ja esimerkkihankkeet
4	Paikallinen potentiaali ja esimerkkialueet
4.1	Invest In Veitsiluoto – kohteiden tarkastelu
4.2	Alueiden teknistaloudelliset tarkastelut
4.3	Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmöksi
4.4	Etäisyyksien ja kustannusten vaikutukset
5	Yhteenveto ja suositukset
6	Lähteet ja liitteet

Hyötylämmön rooli kaupunkikehityksessä

Hyötylämmöllä on merkittävä rooli kaupunkikehityksessä erityisesti energiatehokkuuden, ympäristöystävällisyyden ja taloudellisten hyötyjen näkökulmasta. Teollisuuden ja energiantuotannon hukkalämpö voidaan valjastaa osaksi kaupunkien infrastruktuuria, mikä vähentää primäärienergian tarvetta ja edistää kestävästä kaupunkisuunnittelua.



Energiatehokkuuden parantaminen

Hyötylämpö mahdollistaa kaukolämmön ja energiantuotannon optimoinnin, jolloin kaupunkien kokonaisenergiankulutus pienenee. Tämä vähentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista ja tukee uusiutuvan energian käyttöä kaupungeissa.



Päästöjen vähentäminen ja ympäristöhyödyt

Hyödyntämällä teollisuuden ja energiantuotannon hukkalämpöä kaupunkien lämmityksessä voidaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Tämä tukee kuntien ja kaupunkien strategisia tavoitteita päästöjen vähentämisestä ja siten tärkeää siirtyessä kohti hiilineutraaliutta ja kestävästä kehitystä.



Taloudelliset hyödyt ja kustannustehokkuus

Hyötylämmön hyödyntäminen vähentää kaukolämpöverkkojen polttoainekustannuksia, mikä voi laskea kaupunkien asukkaiden ja yritysten lämmityskuluja. Teollisuuden hukkalämmön myynti energiayhtiöille tai yritysten käyttöön voi myös luoda uusia liiketoimintamahdollisuuksia ja tukea paikallista taloutta.



Kaupungin houkuttelevuus ja elinvoimaisuus

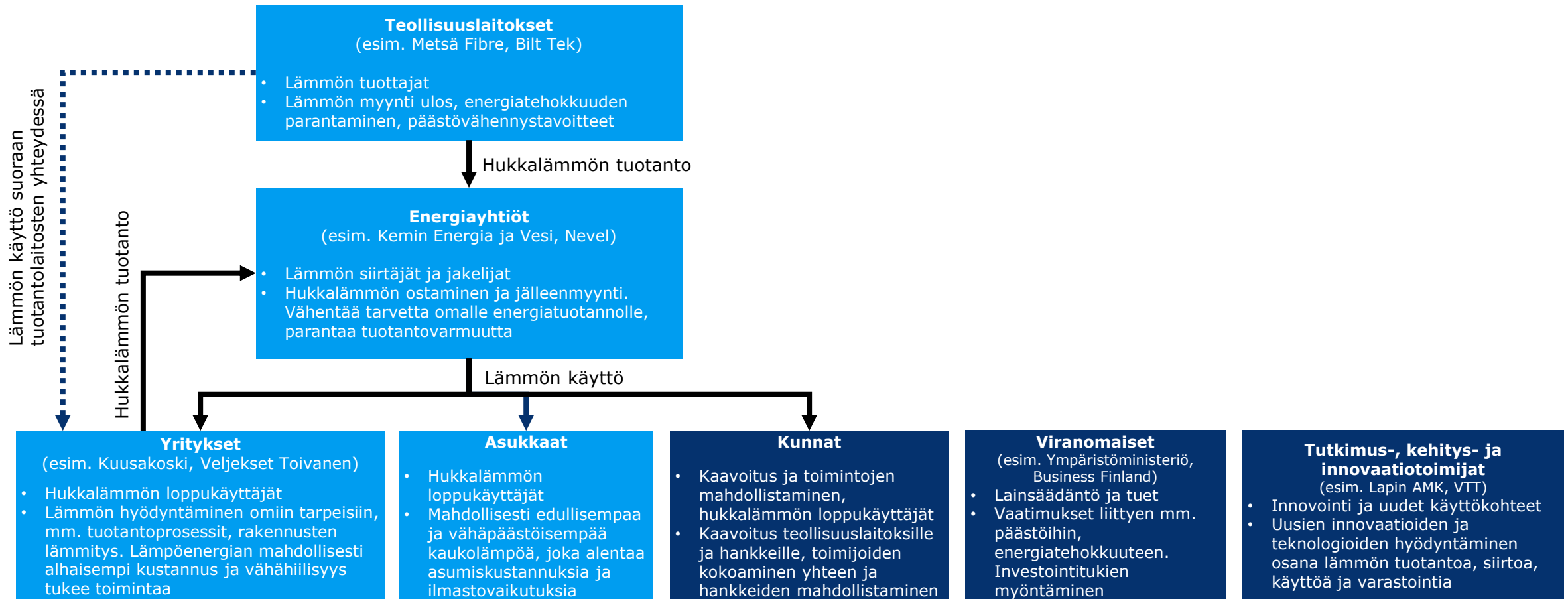
Hyötylämmön käyttö osana kaupunkisuunnittelua mahdollistaa uudistuvan energian ratkaisujen kehittämisen, mikä tekee kaupungista houkuttelevamman yrityksille ja asukkaille. Kestävät energiaratkaisut voivat toimia investointien houkuttelussa alueelle.



Sähköintensiivisen teollisuuden ja datakeskusten integrointi

Korkean energiankulutuksen teollisuuslaitokset ja datakeskukset voivat syöttää hukkalämpönsä kaukolämpöverkkoon, mikä lisää energiatehokkuutta ja vähentää hukkaan menevää lämpöenergiaa. Tämä parantaa energiajärjestelmän joustavuutta ja tukee sektori-integraatiota kaupungeissa.

Sidosryhmien rooli ja yhteistyömahdollisuudet



SWOT-analyysi



VAHVUUDET JA MAHDOLLISUUDET

- ✓ **Meri-Lapin alueella valmiiksi vahvaa teollisuustoimintaa** ja siten hukkalämmön tuotantoa ja potentiaalisia hyödyntäjiä.
- ✓ **Potentiaaliset kustannus- ja synergiahyödyt** hukkalämmön tuottajien ja käyttäjien välillä: ostoenergian määrän vähentäminen, hukkalämmön integrointi tuotantoprosesseihin tai ulosmyyntinä.
- ✓ **Hukkalämmön käyttö tukee vastuullista ja kestävää liiketoimintaa** ja se on lähtökohtaisesti sosiaalisesti hyväksyttävää.
- ✓ **Kaukolämpöverkon läheisyys** Veitsiluodossa, Rajakankaalla ja Hittikkassa.
- ✓ **Jatkuvasti kiristyvät ympäristövaatimukset tukevat energian uusiokäyttöä.**
- ✓ **Hukkalämpö voi täydentää tai korvata muuta energiantuotantoa** ja tukea siten alueellista huoltovarmuutta.
- ✓ **Mahdollisten investointitukien hyödyntäminen** teollisuuden "vähähiilistämiseen" ja energiatehokkuuden parantamiseen.



RISKIT JA UHAT

- **Hukkalämmön käyttö vaatii investointeja** mm. energian talteenotosta, siirrosta ja lämpötilaeroista johtuen. Myös etäisyydellä on merkittävä vaikutus kustannuksiin, esim. mikäli liityntä kaukolämpöverkkoon vaatii uutta yhteyttä.
- **Hukkalämmön hyödyntämiseen tehtävien investointien käyttöiän** (esim. kaukolämpöverkon laajennus) **ja teollisuuslaitosten käyttöiän välillä voi olla epäsuhtaa**, jolloin olisi tärkeää varmistua ettei investointi jää vähäiselle käytölle – julkinen ja yksityinen näkökulma
- **Suuret teollisuuslaitokset tuottavat jatkuvalla syötöllä paljon hukkalämpöä** – haasteena löytää riittävästi käyttöä edes murto-osalle energiasta Meri-Lapin alueella ympärivuotisesti.
- **Hukkalämmön purkamisen mahdollinen vaikutus luonnon ekosysteemiin** (esim. lämpötilan vaikutus lajistoon).
- **Teollisuuslaitoksen tuottama hukkalämpö ei ole välttämättä soveltuvaa** suoraan käyttöön (esim. datakeskus tuottaa matalalämpöenergiaa).
- **Energian hintavaihtelun mahdollinen vaikutus** hukkalämmön käyttöön.
- **Teollisuuslaitosten turvaetäisyydet** – lämpöenergian hyödyntäjät eivät välttämättä pääse lähelle lähdettä ja toisaalta teollinen ympäristö ei ole houkutteleva esim. matkailun näkökulmasta.
- **Paikallisten tutkimus- ja oppilaitosten rajalliset resurssit** hukkalämmön hyödyntämisen kehittämiseen ja innovointiin.
- **Mahdolliset muutokset lainsäädännössä ja investointituissa** voivat muuttaa toimintaympäristöä radikaalisti.
- **Mahdolliset sopimusriskit toimijoiden välillä** – esim. tuottaja-käyttäjä-välittäjä-akselin väliset investointivastuut, hinnoittelu, toimitusvarmuus ja häiriöt.

Johtopäätökset ja suositukset



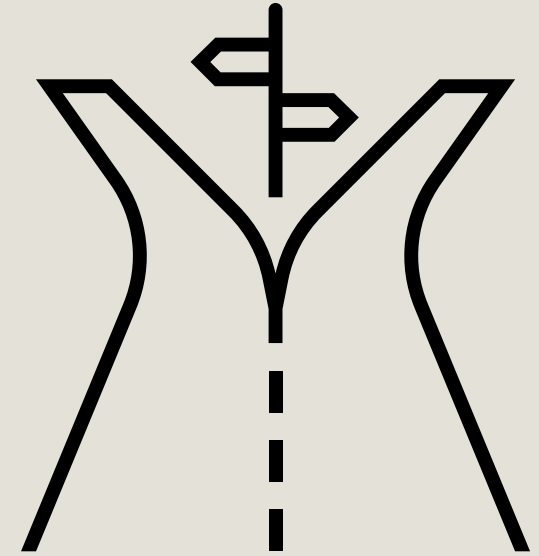
Keskeiset löydökset

- Hukkalämpöä voi hyödyntää sähköntuotannossa, kaukolämmössä tai suoraan teollisuusprosesseissa. Teollisuudessa syntyvä hukkalämpö on pääosin matalalämpötilaista, joka edellyttää lämpötilan nostoa esim. lämpöpumpun avulla teollisuusprosesseissa tai kaukolämpöverkossa hyödynnettäväksi. Matalalämpötilaista hukkalämpöä voidaan kuitenkin hyödyntää prosessien esilämmityksessä.
- Sähköntuotantoprosesseja on useita, joskin ORC-prosessi on potentiaalisin matalalämpötilaisen hukkalämmön kannalta.
- Teollisuudenaloista erityisesti elintarviketeollisuudessa, kone- ja metalliteollisuudessa ja tekstiiliteollisuudessa matalalämpötilaisella hukkalämmöllä voi olla suurin potentiaali.
- Kemin investointikohteista kaukolämmöksi olisi kannattavin hyödyntää Veitsiluodon 70 MW datakeskuksen hukkalämpö, koska kohde sijaitsee lähellä nykyistä kaukolämpöverkostoa.
- Tarkasteltujen investointikohteiden hukkalämmöstä vain murto-osa (3 %) olisi mahdollista hyödyntää alueelliseen kaukolämmitykseen.



Ehdotukset jatkotoimenpiteiksi

- Hukkalämmöstä kiinnostuneiden toimijoiden kartoitus ja alustavat keskustelut (tuottajat-välittäjät-loppukäyttäjät).
- Kaukolämpöverkon laajentamisen tarkempi toteutettavuusarviointi ja suunnittelu.
- Pilottihankkeiden alustava suunnittelu ja toteutus. Myös hankerahoituksen hyödyntäminen alustavaan suunnitteluun.
- Potentiaalisten investointitukien kartoitus hukkalämmön hyödyntämiseksi (esim. Business Finland).



Bright
ideas.
Sustainable
change.

RAMBOLL