

Energize CO2mmunity

Husulanmäen pilottikohde – energiaratkaisujen tarkastelu

Loppuraportti

Sami Sihvonen, Niklas Söderholm \ Granlund Oy

16.06.2021



Sisällysluettelo

- 1) Johdanto
- 2) Yhteenveto
- 3) Rakennusten ja alueen energiankulutus
- 4) Energiaratkaisujen tarkastelu – teknistaloudellinen selvitys
 - I. Aluetason ratkaisut
 - II. Korttelikohtainen ratkaisu
 - III. Rakennuskohtainen ratkaisu
- 5) Energiaratkaisujen vertailu
- 6) Muut huomiot
- 7) Johtopäätökset

Yhteystiedot

Lähtötiedot ja tarkentavat yksityiskohdat

Johdanto

Husulanmäen pilottikohteen energiaratkaisujen selvitys

- Työn tarkoituksena oli tarkastella erilaisten vähäpäästöisten energiaratkaisujen teknistaloudellista soveltuvuutta Lapinjärvellä sijaitsevalle Husulanmäen Energize Co2mmunity pilottikohteelle.
- Alueelle suunnitellaan rakennettavan kolmesta korttelista ja yhteensä 12 kpl pientalosta sekä korttelikohtaisista yhteiskäyttötiloista koostuva uusiutuvan yhteisöenergian lämmitysratkaisun kehittämisen pilottialue.
- Työssä selvitettiin useiden lämpöpumppuihin perustuvien uusiutuvien lämmitysratkaisujen soveltuvuutta alueella sekä teknisen että taloudellisen toteutettavuuden kannalta. Tarkastellut energiaratkaisut olivat:
 - I. Tavanomainen maalämpö (rakennuskohtaisena, korttelikohtaisena tai aluetason ratkaisuna)
 - II. Maaenergia vaakaputkiasennuksena läheiselle pellolle (aluetasen ratkaisu)
 - III. Järvilämpö lämmönkeruulla Lapinjärvestä (aluetasen ratkaisu)
 - IV. Aurinkolämpökeräimet yhdistettynä vaihtoehtoon II
- Ratkaisuvaihtoehdoista on esitetty alustavat kustannusoptimoinnin perusteella määritetyt alustavat teknisten järjestelmien mitoitukset ja suunnitelmat, järjestelmien elinkaarikustannukset sekä kannattavuus verrattuna suoraan sähkölämmitykseen.

Yhteenveto ja johtopäätökset

Yhteenveto selvityksen tuloksista

- Raportissa esitettyjen elinkaarikustannuslaskelmien perusteella aluelämpöön pohjautuvan maalämpöratkaisun kannattavuus on heikko, kun verrataan rakennuskohtaiseen suoraan sähkölämmitykseen.
 - Alueverkoston kustannustehokkuutta laskee korkeat investointikustannukset suhteessa alueen energiantarpeeseen ja korkeat lämmönsiirtoputkiston häviöt energiankulutukseen suhteutettuna.
 - Keskitetyn maalämpöjärjestelmän taloudellinen kannattavuus paranee suhteessa merkittävästi, jos kiinteistöjen lämmitysenergiankulutus kasvaa lasketusta tasosta (noin 39 kWh/m² /vuosi).
 - Alueratkaisujen suunnittelussa merkittäviä kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat lämpöverkon lämpötilatasot sekä lämmönsiirtoputkiston lämpöhäviöiden minimointi oikealla putkivalinnalla.
- Aluetason tarkasteluratkaisuista paras kannattavuus saavutetaan **korttelikohtaisilla maaenergiajärjestelmillä**.
 - Korttelikohtaisten ratkaisujen edut aluetason järjestelmään verrattuna ovat pienemmät lämmönsiirtoputkiston häviöt, pienemmät aluelämpöverkon investointikustannukset ja kertaluokkaa pienemmät lämpöpumppujärjestelmät, jolloin investointikustannukset pysyvät jonkin verran pienempinä.
- Kuitenkin näin pienillä energiankulutuksilla **rakennuskohtaisella maalämmöllä** saavutetaan kaikista aluetason ja rakennustason tarkasteluvaihtoehdoista paras kannattavuus.

Yhteenveto ja johtopäätökset

Yhteenveto selvityksen tuloksista

- Käytetyillä lähtötiedoilla rakennuskohtaisen maalämpöjärjestelmän **takaisinmaksuaika on noin 22 vuotta** vesikiertoiseen suoraan sähkölämmitykseen verrattuna.
 - Suuremmalla rakennusten lämmitysenergiankulutuksella ($77 \text{ kWh/m}^2, \text{v}$) takaisinmaksuaika laskee noin 13 vuoteen -> merkittävä vaikutus.
- Aluetason energiajärjestelmillä kannattavuus on heikko ja **takaisinmaksuaika selvästi yli 25v**. Kuitenkin näissäkin tapauksissa suurempi rakennusten lämmitysenergian kulutus parantaa kannattavuutta selvästi.
 - Lämmitysenergiankulutuksella 77 kWh/m^2 kaikkien aluetason energiaratkaisujen takaisinmaksuaika referenssiratkaisuun verrattuna on alle 25 vuotta.
 - Lämmitysenergian kulutuksen ollessa suurempi myös lämpöpumppu tulee mitoittaa suuremmaksi, jolloin järjestelmän kannattavuutta parantaa edelleen suurempitehoisen lämpöpumpun parempi hyötysuhde, joka pienentää sen suhteellista sähköenergiankulutusta.
- Aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuus aluelämpöjärjestelmän yhteydessä osoittautui heikoksi. Saavutettava hyöty ostoenergiankulutuksen pienentämiseksi on niin pieni, että järjestelmää ei voida suositella elinkaarikustannusten näkökulmasta.
 - Järjestelmästä saatavat hyödyt korostuvat suuremman kokoluokan energiajärjestelmissä, joissa on enemmän energiakaivoja, joihin hyödyntämätöntä aurinkolämpöä voidaan ladata. Energiakaivojen lataus suoraan ulkoilman avulla ei ole kustannustehokas ratkaisu pienessä alueverkossa mutta isommassa mittakaavassa ratkaisu on toimiva.
- CO₂-päästövähennykset perusratkaisuun verrattuna ovat kaikilla alueratkaisuilla **n. 60%** ja rakennuskohtaisella maalämpöratkaisulla **n. 75%**.

Rakennusten energiankulutus

Alueen lämmitysenergian tarve – rakennuskohtaiset

- Elinkaarikustannuslaskennan lähtökohdaksi otettiin matalaenergiarakennus, jonka laskennallinen lämmitysenergiankulutus on noin 39 kWh/m². Energiantarvearvio perustuu vastaavan tyyppisestä, Etelä-Suomessa sijaitsevasta pientalosta saatuihin mittaustietoihin.
- Tämän lisäksi raportissa on vertailtu miten energiankulutuksen kaksinkertaistaminen, eli muutos noin 39 kWh/m² -> 77 kWh/m², vaikuttaa maalämpöön pohjautuvien ratkaisujen kannattavuuteen.
- Alla olevassa taulukossa on esitetty yllä mainittujen ominaisenergiankulutustietojen mukaiset vuotuiset lämmitysenergiankulutuksen alueen eri kokoisille pientaloille.

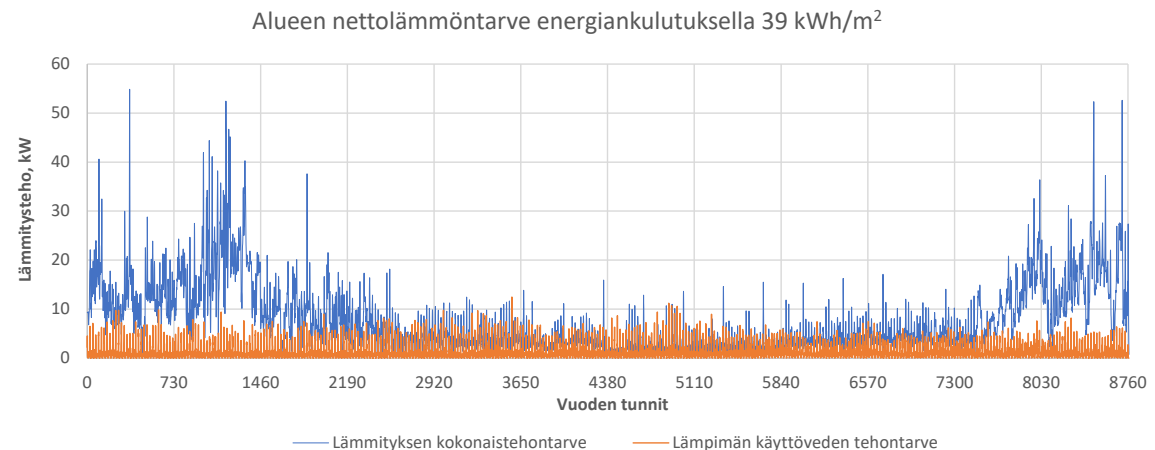
Talon bruttoala	39 kWh/m2	77 kWh/m2
100 brm2	3 900 kWh/v	7 700 kWh/v
140 brm2	5 460 kWh/v	10 780 kWh/v
150 brm2	5 850 kWh/v	11 550 kWh/v

Rakennusten energiankulutus

Alueen lämmitysenergian tarve – korttelikohtaiset ja koko alue

- Edellä esitettyjen rakennuskohtaisten lämmitystarpeiden pohjalta koostetut korttelikohtaiset lämmitystarpeet on esitetty alla olevassa taulukossa kortteleille 4, 5 ja 6.
- Jokaisessa korttelissa on 4 kpl asuintaloja, korttelissa 4 kaikki ovat 150 m², korttelissa 5 kaikki ovat 140 m² ja korttelissa 6 kaikki ovat 100 m².
- Lisäksi on esitetty koko alueen lämmitysenergian tarve, jossa siis kaikki korttelit summattuna yhteen.
- Elinkaarikustannuslaskennan lähtökohdaksi otettiin matalaenergiarakennus, jonka laskennallinen energiankulutus on noin 39 kWh/m². Tämän lisäksi raportissa on vertailtu miten energiankulutuksen tuplaaminen, noin 39 kWh/m² -> 77 kWh/m² vaikuttaa maalämpöön pohjautuvien ratkaisujen kannattavuuteen.

Talon bruttoala	39 kWh/m2	77 kWh/m2
Kortteli 4	23 400 kWh/v	46 200 kWh/v
Kortteli 5	21 800 kWh/v	43 120 kWh/v
Kortteli 6	15 600kWh/v	30 800 kWh/v
Koko alue	60 840 kWh/v	120 120 kWh/v

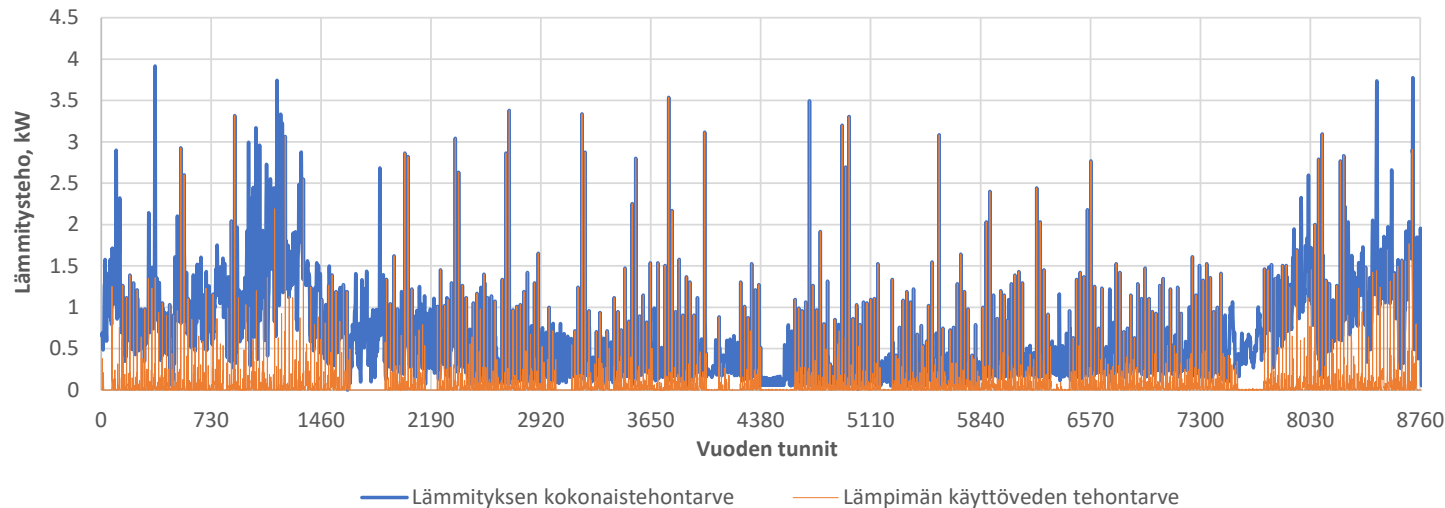


Rakennusten energiankulutus

Tilalämmityksen ja lämpimän käyttöveden energiankulutus

- Oheisessa kuvassa on esitetty miten tilalämmityksen (lattialämmitys) ja lämpimän käyttöveden energiankulutus jakaantuu vuoden aikana esimerkin matalaenergiarakennuksessa.
 - Kuvassa esitetty lämpimän käyttöveden kulutusprofiili on yksilöllinen ja riippuu pitkälti asukkaiden lukumäärästä ja veden kulutuksen tottumuksista. Aluetason ratkaisuihin yhteisprofiili tasoittuu, kun yksittäisten talojen kulutuspiikit eivät tapahdu täsmälleen samaan aikaan.

Yhden 100 m² rakennuksen nettolämmöntarve energiankulutuksella 39 kWh/m²

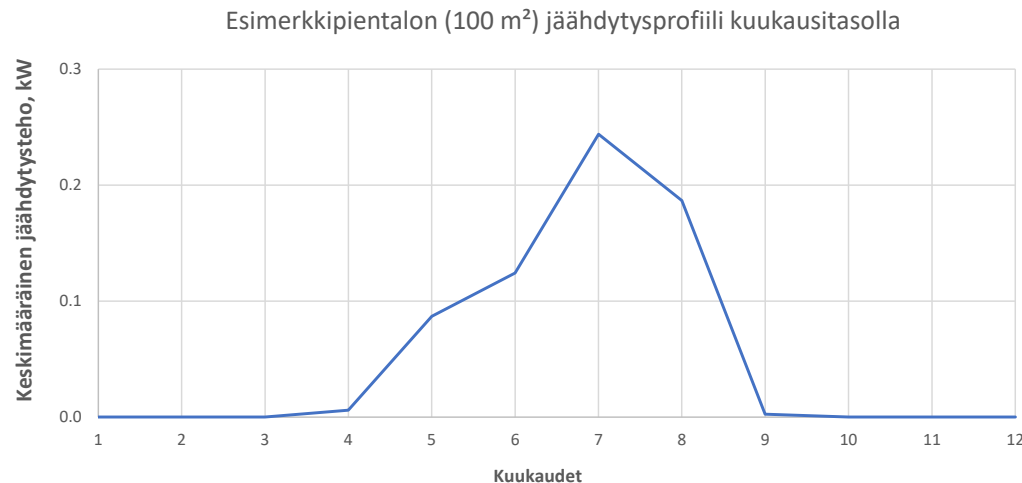


- Rakennustasolla lämpimän käyttöveden osuus lämmityksen kokonaisenergiankulutuksesta on esimerkkirakennuksessa noin 15 %.
- Lämpimän käyttöveden kulutusprofiilista nähdään, että kulutus on melko epätasaisesti jakaantunut ja tässä tapauksessa mittausdatan perusteella tiettyinä viikkoina asunnossa ei ole ollut ihmisiä paikalla lainkaan.

Rakennusten energiankulutus

Tilajäähdytyksen energiankulutus

- Oheisessa kuvassa on esitetty tilajäähdytyksen esimerkinomainen kulutusprofiili kuukausitasolla 100 m² kokoiselle pientalolle, jossa on käytössä viilennyspatteri ilmanvaihtokoneen tuloilmakanavassa. Jäähdytyksen energiankulutus esimerkin rakennuksessa on 6,5 kWh/m², kun sisäilman lämpötila kesällä on enintään 25 °C.



- Painovoimaisen ilmanvaihtoratkaisun yhteydessä voidaan arvioida, että tilajäähdytykseen tarkoitetun puhallinpatterin jäähdytysenergiankulutus on pienempi kuin koneelliseen ilmanvaihtokoneeseen integroidun patterin kulutus koska koko rakennusta ei jäähdytetä yhtä tehokkaasti.
- Arvioitu tilajäähdytyksen energiankulutus painovoimaisen ilmanvaihtoratkaisun yhteydessä on 4 – 5 kWh/m². Esimerkin 100 m² kokoiselle pientalolle tilajäähdytyksen energiankulutus on siten enintään noin 500 kWh.
- Jäähdytystarve jää siis lopulta varsin pieneksi ja on tilajäähdytyksen tapauksessa hyvin paljon riippuvainen käyttäjästä. Aurinkokuorman osuus jäähdytettävästä yllämmöstä on suuri, joten ulkoiset varjostukset (esim. tiheä puusto) voivat pienentää jäähdytystarvetta entisestään.

Rakennusten energiankulutus

Jäähdytysratkaisut

- Kohteisiin ei olla tällä hetkellä suunnittelemassa mukavuusjäähdytystä. Jos jäähdytys haluttaisiin toteuttaa, ratkaisuvaihtoehtoina olisivat lattialämmitysjärjestelmän käyttö kesäisin lattiaviilennyksessä tai jäähdytykseen tarkoitetun puhallinpatterin hyödyntäminen keskeisellä sijainnilla rakennuksissa, esimerkiksi olohuoneessa ja makuuhuoneessa.
- Toisena vaihtoehtona on myös ilmanvaihdon jäähdytys, joka on helppo tapa tuottaa rakennuksille mukavuusjäähdytystä, mutta se vaatisi koneellisen ilmanvaihdon. Kolmantena vaihtoehtona on jäähdytyksen tuottaminen ilmalämpöpumpulla.
- Lämpöpumppuratkaisuissa jäähdytys voitaisiin kuitenkin integroida samaan järjestelmään; maalämpökaivoista kesäaikaan voidaan saada vapaajäähdytystä samalla ladata lauhdelämpöä kaivoihin ja myös järvilämmön keruupiiriä voitaisiin hyödyntää kesäisin jäähdytyksen tuotannossa.
 - Lämpökaivojen lataaminen parantaa kaivojen lämmöntuottoa jonkin verran ja pienentää tarvittavia kaivometrejä erityisesti isompitehoisissa lämpöpumppujärjestelmissä.
 - Vaakaputkijärjestelmässä ei välttämättä saada riittävän viileää vettä tuotettua ilman kompressoria, jolloin jäähdytys kasvattaa sähkönkulutusta. Lisäksi hukkalämmön varastoinnin kannattavuus maaperän pintakerrokseen riippuu maaperän tyypistä.
- Keskitetyissä ratkaisuissa jäähdytyksen jakoa varten tarvitaan kuitenkin erillinen aluejäähdytysverkko, joka luonnollisesti kasvattaa investointikustannusta. Pienillä jäähdytystarpeilla alueverkon investointikustannus on tarpeeseen suhteutettuna kohtuuttoman suuri.
- Alue on metsäinen ja rakennukset tulevat olemaan todennäköisesti varsin varjostettuja -> aurinkokuorma on pieni ja sisäolosuhteet voivat pysyä hyvinä pitkälti ilman jäähdytystäkin. Jos jäähdytystarve jää pieneksi, nousevat kalliiden lisäjärjestelmien elinkaarikustannukset korkeiksi.

Rakennusten energiankulutus

Ilmanvaihtoratkaisu

- Ilmanvaihto voidaan toteuttaa painovoimaisesti tai koneellisesti.
 - Ilmanvaihtoratkaisun valinnassa on mietittävä kokonaisvaikutuksia alueen lämmitysenergiankulutukseen ja viilennysratkaisujen toteutettavuuteen.
 - Koneellista ilmanvaihtoa puoltaa yksilöllinen ilmanvaihdon säädettävyys; tehostus esim. ruoanlaiton yhteydessä ja kesällä yöaikainen tehostus lämpöolosuhteiden parantamiseksi sekä taattu ilmanvaihtuvuus kaikissa olosuhteissa.
 - Painovoimaista ilmanvaihtoa puoltaa sen sijaan pieni sähköenergiankulutus, kun puhaltimia ei ole.
 - Kesän lämpöolosuhteiden hallinnan kannalta painovoimainen ilmanvaihtoratkaisu on haastava erityisesti, jos rakennuksiin muuttavat ihmiset arvostavat yksilöllisesti säädettävää ilmanvaihtoa.
 - Painovoimainen ilmanvaihto voi lisätä alueella jälkiasenteisten huoneistokohtaisten ilmalämpöpumppujen käyttöä jäähdytykseen ihmisten mieltymyksistä riippuen.
 - Viilennysratkaisujen toteutettavuuden kannalta jäähdytyspatteri tulo-poistoilmanvaihtokoneen tuloilmakanavassa on yksinkertaisin ja varmatoimisin toteutusratkaisu.
 - Ratkaisua puoltaa ilmanvaihdon kautta tasaisesti jaettava viilennys koko kiinteistöön ja nopea reagointi olosuhteiden muutoksiin. Mahdollisia kondenssiongelmiä ei myöskään esiinny.

Tarkasteltavat energiaratkaisut

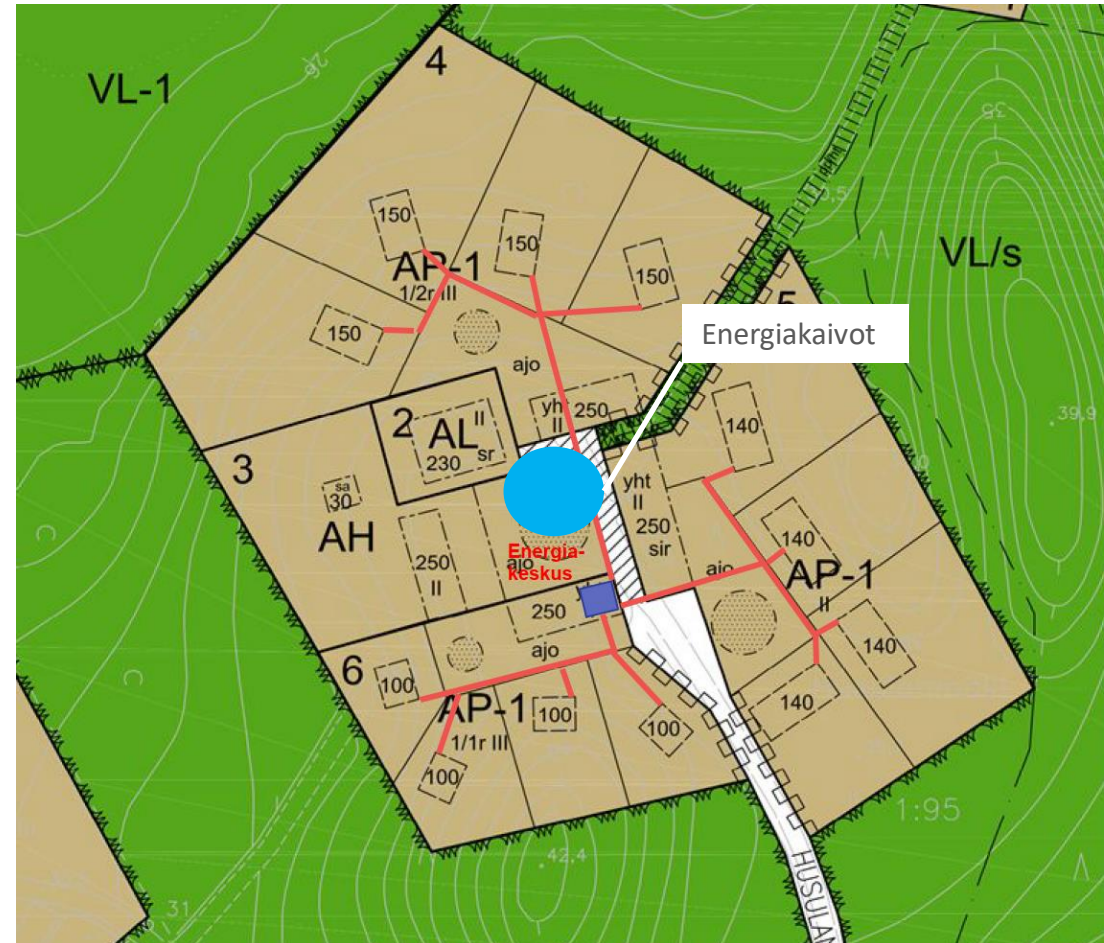
Keskitetty ratkaisu – maalämpö (perinteinen)

- Keskitetty lämmitysenergian tuotantoratkaisu, jossa lämpö kerätään maasta alueen keskelle sijoitettavasta kaivokentästä ja nostetaan hyödynnettävään lämpötilatasoon keskitetyssä lämpöpumppulaitoksessa. Huipputuotantokapasiteettina lämpöpumpun rinnalla on sähkökattila.
- Lämpöpumppulaitokselta lämpö jaetaan kaikille asuintaloille erillisen matalalämpöverkon avulla ja matalalämpöverkon lämpötilataso optimoidaan niin, että lämpöpumpun hyötysuhde pysyy mahdollisimman korkeana. Esimerkiksi niin, että matalalämpöverkon lämpötila on 40°C (lattialämmityspiirin mitoituslämpötila) ja lämpimän käyttöveden (55°C) priimaus sähkövastuksilla.
- Järjestelmän tilantarpeet: kaivokenttä alueen keskellä, alueelle sijoitettava pieni energiakeskus, jossa lämpöpumppuyksikkö ja kattila, kaivokentän lämmönkeruupiiri sekä alueellinen matalalämpöverkko energiakeskukselta rakennuksille.
- Tähän ratkaisuun voidaan lisäksi integroida pieni aurinkokeräinkenttä pellon laitaan niin, että kesäaikaan matalalämpöverkko hyödyntää ensisijaisesti aurinkokeräinten tuotantoa ja ylimäärä ladataan keskitettyyn kaivokenttään.
- Huomioita ratkaisusta:
 - Keskitetyn järjestelmän yksikkökustannukset ovat hajautettua järjestelmää alhaisemmat. Toisaalta erillinen alueverkko nostaa investointikustannusta selvästi.
 - Aurinkokeräinjärjestelmä joudutaan sijoittamaan jonkin matkan päähän pellolle (125 - 250m, riippuen putkiyhteyden reitistä), jolloin siirtoputken investointi on suhteessa merkittävä ja siirtohäviöt kasvavat. Muilta osin kaivokenttä soveltunee hyvin ylimääräisen lämmön varastointiin ja parantaa kaivojen lämmöntuoton tehokkuutta (/pientää tarvittavien kaivometrien määrää).

Energiaratkaisujen tarkastelu

Energiajärjestelmien alustava sijoittelu: Keskitetty maalämpöjärjestelmä energiakaivoilla

- Kuvaan on hahmoteltu energiakaivokentän sijainti lämmönjakokeskuksen viereen.
 - Järjestelmään sisältyy 3 energiakaivoa á 320 metriä
- Aluelämpöverkosto (kuvassa punaisella viivalla) koostuu maahan kaivettavista kaksoisputkista (Mpuk), joiden kokonaispituus on arviolta 330 metriä.
 - Putkihalkaisijat ovat DN25 – DN40 riipuen onko kyseessä talokohtainen putki tai runkoputki lämmönjakokeskukselta.
 - Putkien kaivuussyvyys on luokkaa 0,7 – 1 metri.
 - Lämpöhäviöiden minimoimiseksi suositellaan käytettävän yhdistettyä lämmönsiirtoverkostoa (Mpuk), jonka sisällä kulkevat sekä meno- että paluuputki. Ratkaisu on myös taloudellisempi erillisputkiin verrattuna pienessä alueverkossa
- Keskitetyn aluelämpöratkaisun yhteydessä tarvitaan arviolta 20 m² kokoinen tilavaraus lämpöpumppu-järjestelmää varten, kuvassa sijoitus tontin 6 yhteiskäyttötilan yhteyteen.
 - Tekniseen tilaan sijoitetaan lämpöpumppu, pumput, nestevaraajat ja lisälämmönlähteenä käytettävä sähkökattila.



Energiaratkaisujen tarkastelu

Keskitetty ratkaisu- maalämpöjärjestelmä energiakaivoilla

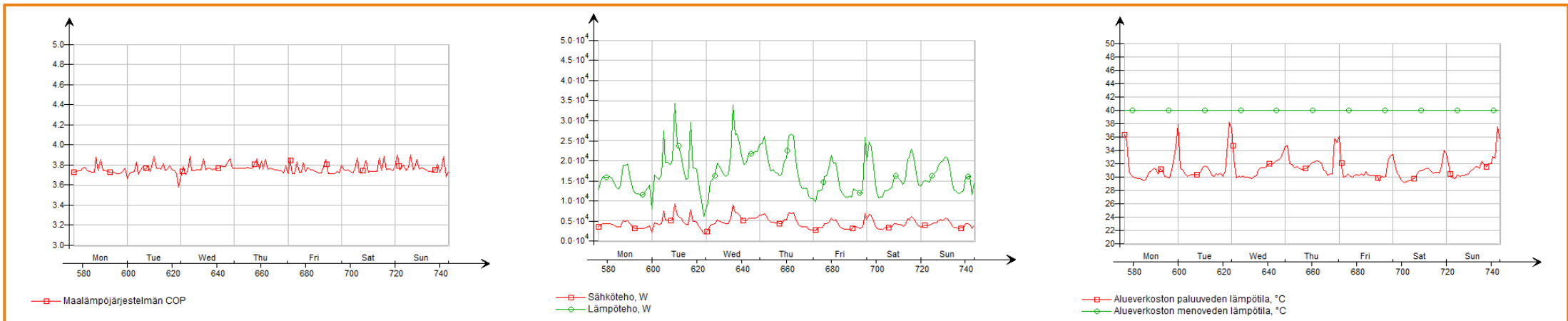
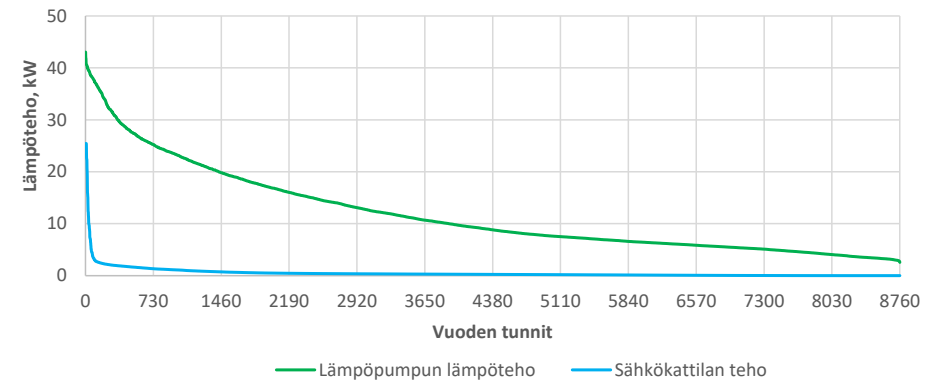
- Lämpöpumppujärjestelmän mitoitus tiedot on esitetty alla:
 - Keskitetyssä maalämpöjärjestelmässä (lämmitysenergiankulutus 39 kWh/m²) hyödynnetään noin 55 kW lämpöpumppua (toimintapiste 0 °C / 35 °C), joka palvelee koko aluelämpöverkosta. Ratkaisussa lämpöpumppu syöttää kiinteistöille vakiolämpöistä vettä mitoituksesta riippuen, 35 – 45 °C vuodenajasta riippumatta.
 - Lämmin käyttövesi priimataan kiinteistöissä pienen sähkövaraajan avulla, teho luokkaa 5 kW per kiinteistö. Tällä tavoin optimoidaan lämpöpumpun hyötysuhde sekä pyritään minimoimaan aluelämpöverkon lämpöhäviöt.
 - Maalämpöjärjestelmässä hyödynnetään energiakaivoja (3 kpl 320 metriä syviä kaivoja), jotka porataan noin 15 metrin etäisyydelle toisistaan.
 - Keskitetty maalämpöjärjestelmä vaatii ylimääräisen sähköliittymän lämpökeskukselle, pääsulake 3 x 80 A.
 - Keskitetyllä energiakaivoihin perustuvalla ratkaisulla alueverkon laskennallinen lämmitysenergiankulutus, verkostohäviöt mukaanlukien, on noin 101 MWh/v.
 - Ratkaisulla tuotetaan noin 94 % kiinteistöjen lämmöntarpeesta maalämmöllä. Esimerkkiratkaisussa maalämpöjärjestelmän keskimääräinen lämpökerroin on 3,6 aluelämpöverkon menoveden lämpötilalla 40 °C.
 - Noin 73 % tuotetusta lämpöenergiasta on peräisin maasta ja loput sähköenergiaa.
 - Elinkaarikustannuslaskennassa oletuksena oli, että maalämpöjärjestelmän laitteet voidaan sijoittaa alueelle joka tapauksessa rakennettaviin huolto- tai teknisiin rakennuksiin, eli erillistä rakennusta maalämpöjärjestelmää varten ei tarvita.

Energiaratkaisujen tarkastelu

Keskitetty ratkaisu – maalämpöjärjestelmä energiakaivoilla

- Aluetason maalämpöjärjestelmän toimintaa ja tehontarpeen jakaumaa (lattialämmitys ja lämmin käyttövesi) on havainnollistettu alla oheisissa kuvissa yhden talviviikon osalta.
 - Maalämpöjärjestelmän lämpökerroin (COP), vaihtelee n. 3,6 – 3,9 välillä hetkellisten lämpötilatasojen mukaan
 - Maalämpöjärjestelmän lämpö- ja sähkötehot
 - Verkon meno- ja paluuveden lämpötilat lämpökeskuksen kohdalla

Lämmitystehon pysyvyyskäyrät



Energiaratkaisujen tarkastelu

Keskitetty ratkaisu – maalämpö energiakaivoilla

- Keskitetyn maalämpöjärjestelmän kannattavuutta on vertailtu alla referenssiratkaisuun (rakennuskohtainen sähkölämmitys):
 - Ilmoitetut investointikustannukset ovat lisäinvestointeja referenssiratkaisuun verrattuna
 - Sähkön kokonaishinta on vakio 88,7 €/MWh

Toimenpide	Investointi [€]	Säästö kaukolämmössä		Säästö sähköenergiassa		Huolto- kustannusten lisäys [€/v]	Kustannus- säästö yhteensä [€/v]	Säästöt CO ₂ - päästöissä [tCO ₂ /v]	Suora takaisinmaksuaika [vuotta]	Diskontattu takaisinmaksuaika [vuotta]	Sisäinen korkotuotto 25 v ajanjaksolla [%]	Elinkaari- kustannus- säästöt [€/25v]
		[MWh/v]	[€/v]	[MWh/v]	[€/v]							
Referenssiratkaisu: Rakennuskohtainen sähkölämmitys	0 €	0	0 €	0	0 €	0 €	0 €	0.0	-	-	-	-
Keskitetty energiaratkaisu: Maalämpö energiakaivoilla	140 100 €	0	0 €	47	2 900 €	700 €	2 200 €	3.2	63.7	yli 25 v	-3 %	-84 800 €

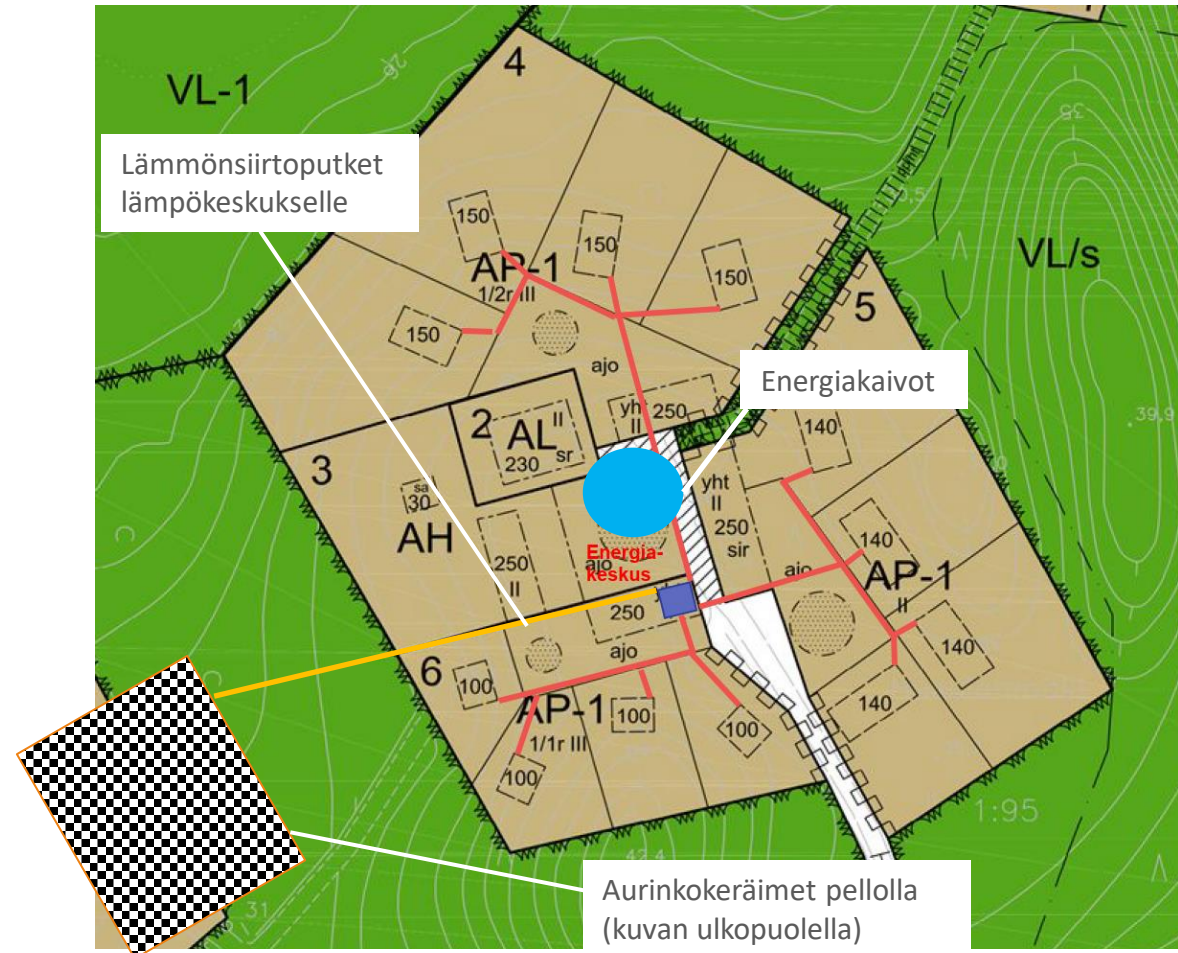
- Keskitetyn maalämpöjärjestelmän elinkaarikustannussäästöt ovat negatiiviset 25 vuoden tarkasteluajanjaksolla, eli järjestelmä ei maksa itseään takaisin referenssiratkaisuun verrattuna.
 - Aluetason ratkaisun kannattavuutta heikentää merkittävästi suuret investointikustannukset suhteessa energiankulutukseen. Erityisesti verkoston lämpöhäviöt vaikuttavat negatiivisesti alueratkaisun kannattavuuteen, jos alueen energiankulutus on hyvin pieni.
 - Aluetason järjestelmän käyttökustannussäästöt ovat 2 400 € vuodessa referenssijärjestelmään verrattuna.
- Ratkaisu pienentää CO₂ –päästöjä keskimäärin 3,2 tonnia per vuosi eli n. 59% referenssiratkaisuun verrattuna.
 - CO₂ –päästöissä on huomioitu ainoastaan energiankulutuksen (ts. sähkökulutuksen) päästöt käyttäen raportin lopussa (s. 51) esitettyä päästökerrointa kgCO₂/MWh kulutetulle sähköenergialle. Säästöt kuvaavat siis lämpöpumppuratkaisun pienemmästä sähkönenergian kulutuksesta syntyvää CO₂ –päästöjen pienenemistä suoraan sähkölämmitysratkaisuun verrattuna.



Energiaratkaisujen tarkastelu

Energiajärjestelmien alustava sijoittelu: Keskitetty maalämpöjärjestelmä energiakaivoilla ja aurinkokeräimillä

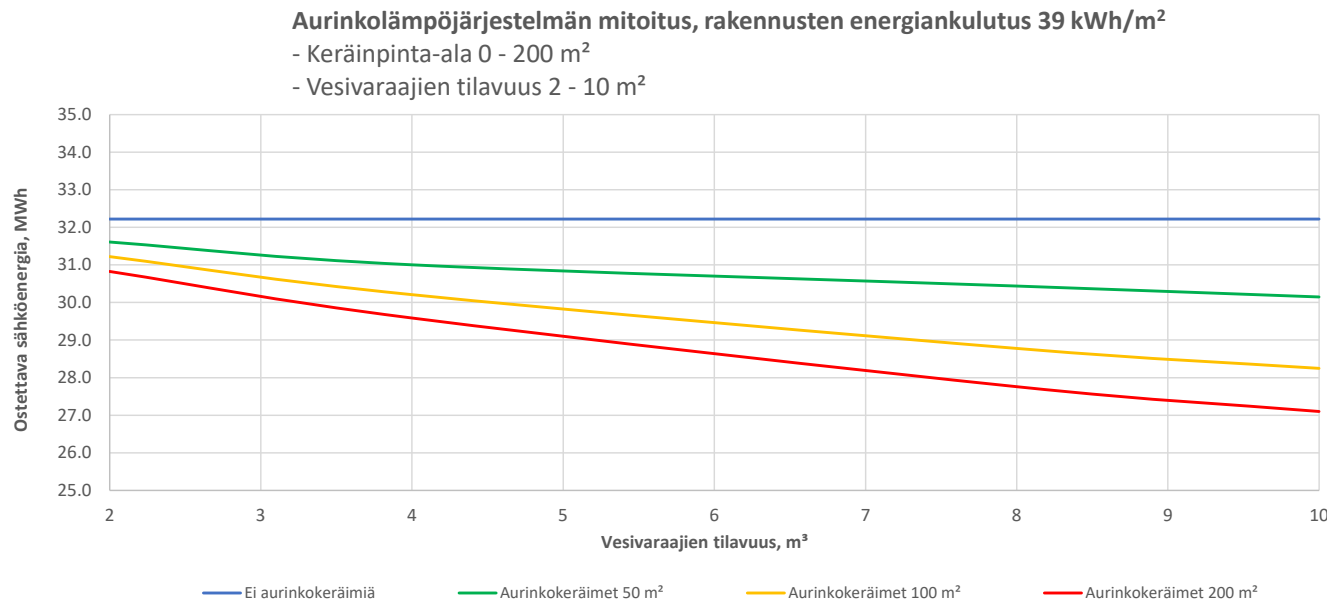
- Kuvaan on hahmoteltu aurinkolämpökeräimien sijaintia asuinalueen vieressä olevalla pellolla.
 - Tarvittavan eristetyin lämmönsiirto-putkiston pituus lämmönjakokeskukselta pellolle on luokkaa 150 metriä. Tarvittava putkikoko esimerkiksi 50 m² tai 100 m² keräinpinta-alalla on DN50.
 - Lämmönsiirto-putkisto toteutetaan jäätymättömällä liuoksella, esimerkiksi etanoli-vesi.
- Aurinkokeräimiltä saatava lämpöenergia ladataan ensisijaisesti keskitetyn aluejärjestelmän vesivaraajiin ja ylijäämälämmöllä ladataan maalämpöjärjestelmän energiakaivoja.
 - Energiakaivojen lataus mahdollistaa lyhyempien energiakaivojen hyödyntämisen.
- Lämmönjakokeskukselta lähtee aluelämpöverkoston runkoputket rakennuksiin. Alueverkostoa on tarkemmin kuvattu keskitetyn maalämpöratkaisun yhteydessä.



Energiaratkaisujen tarkastelu

Keskitetty maalämpöjärjestelmä energiakaivoilla ja aurinkokeräimillä: Kulutus 39 kWh/m²

- Aurinkokeräimien mitoitus ja aurinkolämmön hyödynnettävyyttä tarkasteltiin kolmella eri aurinkokeräinpinta-alalla 50 m², 100 m² ja 200 m², kun rakennusten lämmitysenergiankulutus on 39 kWh/m².
- Hyödyntämättömän aurinkolämmön käyttöä energiakaivojen lataukseen selvitettiin lisäksi kaivosimulointien avulla: tavoitteena esittää miten paljon energiakaivojen lataus vähentää tarvittavia kaivometrejä.
- Keräinpinta-alan lisäksi selvitettiin vesivaraajien tilavuuden, 2 m³, 4 m³ ja 8 m³, vaikutusta aurinkolämmön hyödynnettävyyteen.



- Mitoituslaskelmista nähdään, että aurinkokeräimistä saatava hyöty ostoenergiankulutuksen pienentämiseksi on lähes olematon pienellä vesivaraajan tilavuudella 2 m³.
- Suurin hyöty järjestelmästä saadaan reilummalla vesitilavuudella, luokkaa 8 m³ ja keräinpinta-alalla 50 - 100 m².
 - Keräinpinta-alan kasvattaminen ei ole mielekasta, jos lämmöntarve alueverkostossa on hyvin pientä kesällä.

Energiaratkaisujen tarkastelu

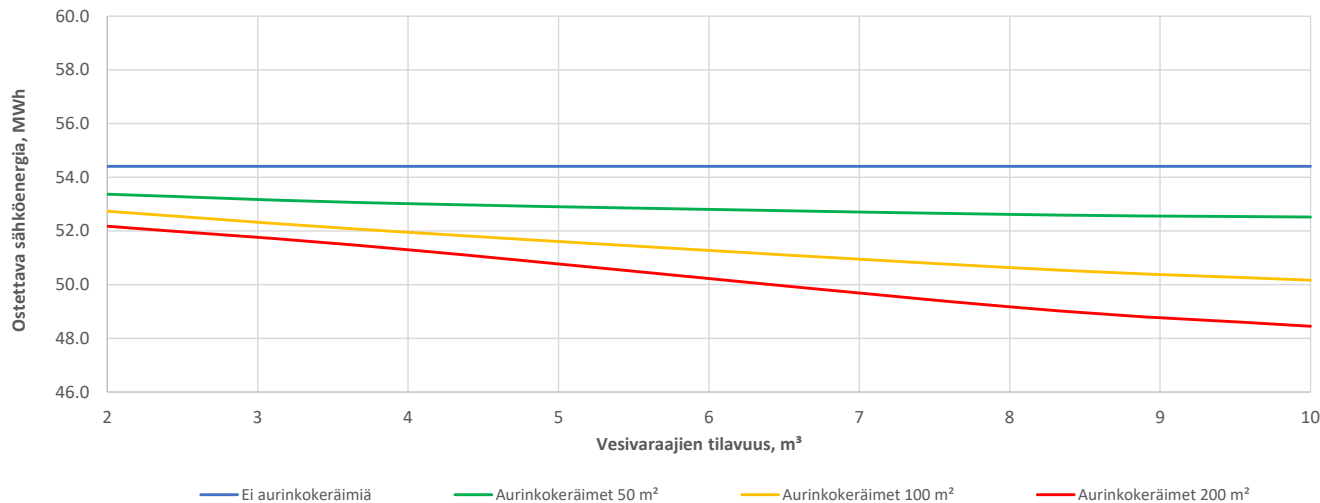
Keskitetty maalämpöjärjestelmä energiakaivoilla ja aurinkokeräimillä: Kulutus 77 kWh/m²

- Aurinkokeräimien mitoitusta ja aurinkolämmön hyödynnettävyyttä tarkasteltiin kolmella eri aurinkokeräinpinta-alalla 50 m², 100 m² ja 200 m², kun rakennusten lämmitysenergiankulutus on 77 kWh/m².
- Hyödyntämättömän aurinkolämmön käyttöä energiakaivojen lataukseen selvitettiin lisäksi kaivosimulointien avulla: Tavoitteena esittää miten paljon energiakaivojen lataus vähentää tarvittavia kaivometrejä.
- Keräinpinta-alan lisäksi selvitettiin vesivaraajien tilavuuden, 2 m³, 4 m³ ja 8 m³, vaikutusta aurinkolämmön hyödynnettävyyteen.

Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus, rakennusten energiankulutus 77 kWh/m²

- Keräinpinta-ala 0 - 200 m²

- Vesivaraajien tilavuus 2 - 10 m³



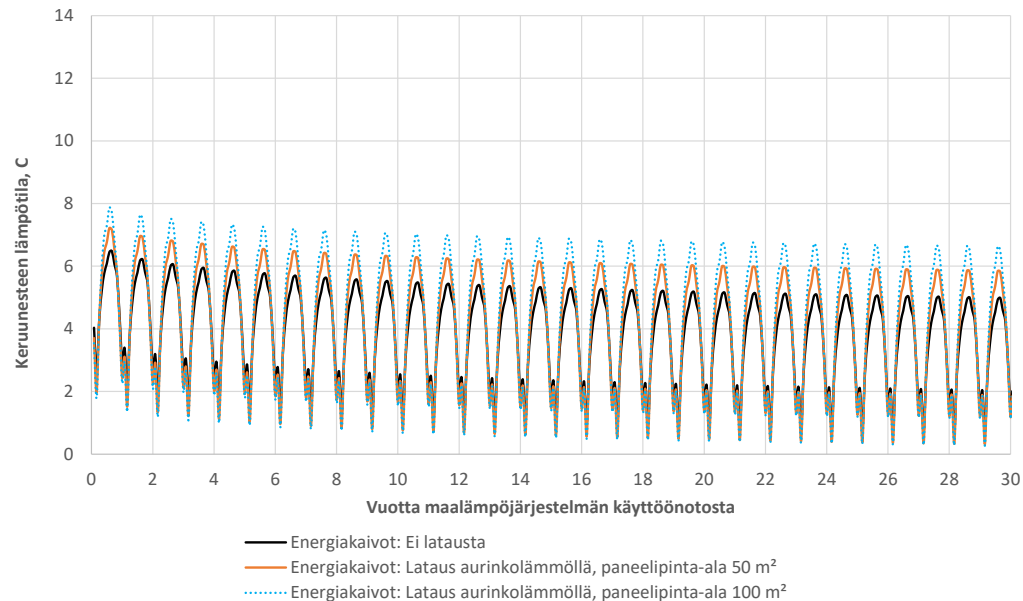
- Aurinkokeräimistä saatava hyöty kasvaa jonkin verran, jos alueen energiankulutus kaksinkertaistuu tasoon 77 kWh/m² (matalaenergiarakennuksessa 39 kWh/m²)
 - Vaikutus sähköenergiankulutukseen on kuitenkin enimmillään vain noin -1 MWh vuositasolla.

Energiaratkaisujen tarkastelu

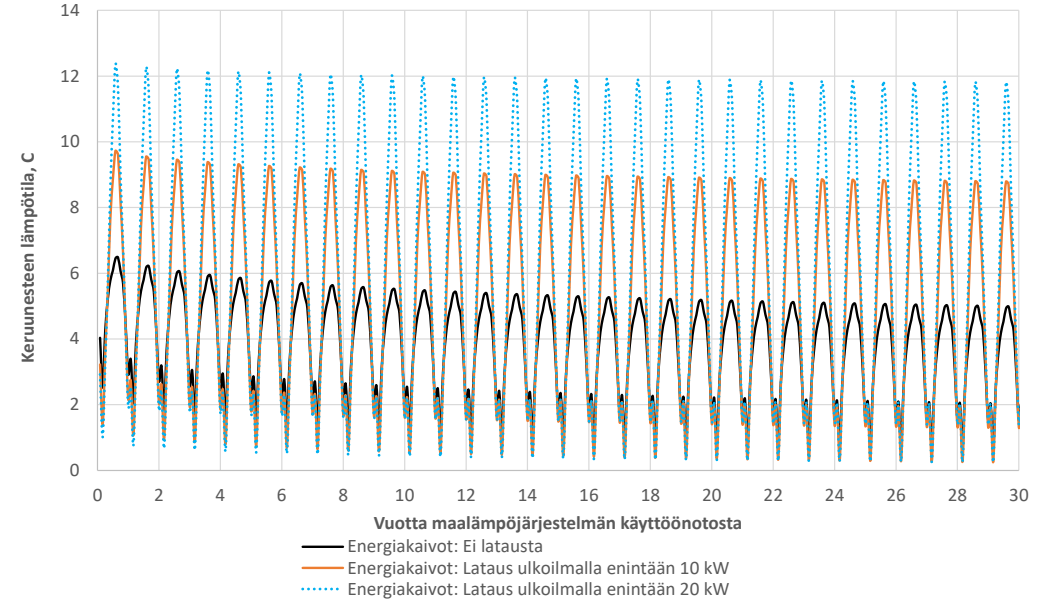
Energiakaivojen lataus hukkalämmöllä ja vaikutus kaivomitoitukseen

- Energiakaivojen latausta hyödyntämättömällä aurinkolämmöllä on havainnollistettu oheisten kaivosimulointien pohjalta aurinkokeräinpinta-alalla 50 m² ja 100 m².
- Vaihtoehtoista latausmahdollisuutta puhallinpatterin avulla, hyödyntämällä lämmintä ulkoilmaa kesällä, selvitettiin niin ikään kaivosimulointien avulla kahdella latauksen enimmäisteholla 10 kW ja 20 kW.

Energiakaivojen lataus hyödyntämättömällä aurinkolämmöllä



Energiakaivojen lataus lämpimällä ulkoilmalla



Energiaratkaisujen tarkastelu

Energiakaivojen lataus hukkalämmöllä ja vaikutus kaivomitoitukseen

- Energiakaivojen lataus aurinkolämmöllä tai ulkoilmalla pienentää tarvittavien kaivometrien määrää luokkaa 10 – 20 %, kun rakennusten lämmitysenergiankulutus on luokkaa 39 kWh/m² .
 - Aurinkolämmöllä ladatessa hetkittäiset lämpötehot voivat olla ulkoilmalataukseen verrattuna paljon korkeammat, mutta lataustehoa saadaan vain hetkittäin. Alustavan selvityksen perusteella aurinkolämpölatauksessa tarvittavia kaivometrejä voidaan pienentää 10 – 15 %.
 - Lämpimän ulkoilman avulla kaivoja voidaan ladata kesällä pitkiä aikoja, mutta huomattavasti pienemmällä lämpöteholla kuin aurinkolämmöllä. Tarvittavia kaivometrejä voidaan käytettävästi lataustehosta riippuen helposti pienentää vähintään 15 %.
- Tähän selvitykseen valittiin energiakaivojen lataustavoista ainoastaan lataus aurinkolämmön avulla koska se voidaan toteuttaa ilman merkittäviä lisäinvestointeja aurinkolämpöjärjestelmän toteutuksen yhteydessä.
- Energiakaivojen lataus lämpimällä ulkoilmalla ei ole kustannustehokas ratkaisu pienessä mittakaavassa koska tarvittavan puhallinpatterin kustannus asennettuna ylittää helposti säästöt, jotka saavutetaan latauksen avulla säästetyissä kaivometreissä.
 - Energiakaivojen lataus ulkoilmalla muuttuu kuitenkin kustannustehokkaaksi vaihtoehdoksi isoissa maalämpöön pohjautuvissa aluejärjestelmissä, joissa energiakaivojen määrä on huomattavasti suurempi kuin nyt tutkitussa järjestelmässä.
- Rakennuskohtaisessa maalämpöratkaisussa energiakaivojen lataus tilajäähdityksestä saatavalla lämpöenergialla ei merkittävästi pienennä tarvittavia kaivometrejä pienestä latausenergiasta johtuen.
 - Merkittävin hyöty on rakennuskohtaisesta energiakaivoista saatava vapaajäähdytysenergia tilajäähditykseen.

Energiaratkaisujen tarkastelu

Keskitetty ratkaisu – maalämpöjärjestelmä aurinkokeräimillä

- Keskitetyn maalämpöjärjestelmän kannattavuutta aurinkokeräimillä on vertailtu alla referenssiratkaisuun (rakennuskohtainen sähkölämmitys):
 - Ilmoitetut investointikustannukset ovat lisäinvestointeja referenssiratkaisuun verrattuna. Sähkön kokonaishinta on vakio 88,7 €/MWh.
 - Aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuuslaskelmat tehtiin kahdella eri keräinpinta-alalla 50 m² ja 100 m² sekä kahdella eri vesivaraajan koolla 4 m³ ja 8 m³

Toimenpide	Investointi [€]	Säästö kaukolämmössä		Säästö sähköenergiassa		Huolto- kustannusten lisäys [€/v]	Kustannus- säästö yhteensä [€/v]	Säästöt CO ₂ - päästöissä [tCO ₂ /v]	Suora takaisinmaksuaika [vuotta]	Diskontattu takaisinmaksuaika [vuotta]	Sisäinen korkotuotto 25 v ajanjaksolla [%]	Elinkaari- kustannus- säästöt [€/25v]
		[MWh/v]	[€/v]	[MWh/v]	[€/v]							
Referenssiratkaisu: Rakennuskohtainen sähkölämmitys	0 €	0	0 €	0	0 €	0 €	0 €	0.0				
Keskitetty aluelämpö: Energiakaivot, aurinkokeräimet 50 m ² ja varaajat 4 m ³	176 100 €	0	0 €	48	3 100 €	700 €	2 400 €	3.4	73.4	yli 25 v	-4 %	-117 200 €
Keskitetty aluelämpö: Energiakaivot, aurinkokeräimet 100 m ² ja varaajat 4 m ³	203 900 €	0	0 €	49	3 200 €	700 €	2 500 €	3.4	81.6	yli 25 v	-5 %	-143 200 €
Keskitetty aluelämpö: Energiakaivot, aurinkokeräimet 50 m ² ja varaajat 8 m ³	181 500 €	0	0 €	49	3 100 €	700 €	2 400 €	3.4	75.6	yli 25 v	-4 %	-121 300 €
Keskitetty aluelämpö: Energiakaivot, aurinkokeräimet 100 m ² ja varaajat 8 m ³	209 200 €	0	0 €	51	3 300 €	700 €	2 600 €	3.5	80.5	yli 25 v	-5 %	-145 300 €

- Keskitetyn maalämpöjärjestelmän ja aurinkokeräimien yhteydessä elinkaarikustannussäästöt ovat negatiiviset 25 vuoden tarkasteluajanjaksolla, eli järjestelmä ei maksa itseään takaisin referenssiratkaisuun verrattuna. Takaisinmaksuaika on pidempi verrattuna ratkaisuun ilman aurinkolämpöä.
 - Isoilla vesivaraajilla varustettu aurinkolämpöjärjestelmä (8 m³) hyödyntää tehokkaimmin auringosta saatavan lämmön yhdessä 100 m² aurinkokeräimien yhteydessä, mutta hyöty säästettyyn sähköenergiaan on hyvin pieni koska lämmön kulutus kesällä on vähäistä.
 - Aluetason järjestelmän käyttökustannussäästöt ovat 2 600 - 2 800 € vuodessa referenssijärjestelmään verrattuna riippuen järjestelmän mitoituksista.
 - Investointikustannuksissa on otettu huomioon hukkalämmön lataus energiakaivoihin siten, että kaivojen kokonaissyvyys pienenee 120 – 150 m aurinkokeräimien pinta-alasta riippuen. Ilman aurinkokeräimiä tarvittava kaivosyvyys on noin 960 m.
- Ratkaisu pienentää CO₂ –päästöjä keskimäärin 3,4 tonnia per vuosi eli vain n. 1-2 %-yksikköä enemmän kuin järjestelmä ilman aurinkolämpöä

Energiaratkaisujen tarkastelu

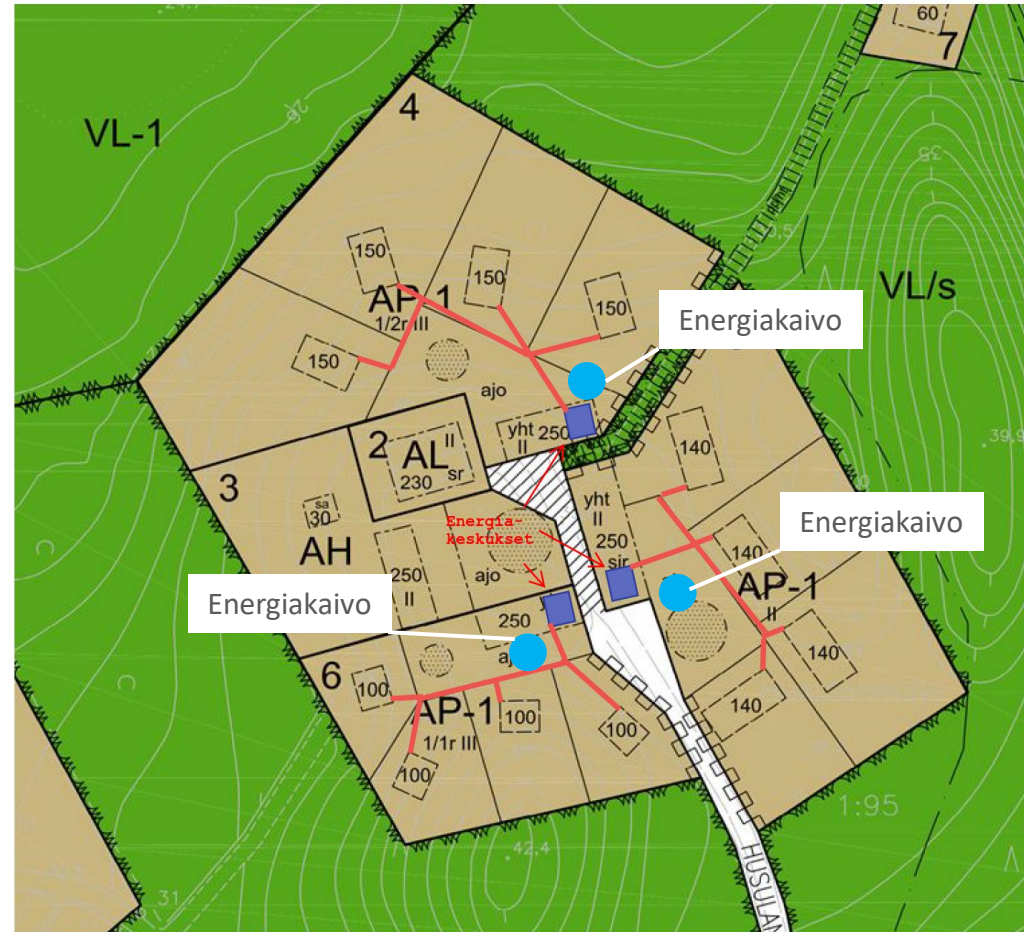
Korttelikohtainen ratkaisu - maalämpö

- Korttelikohtaisesti keskitetty lämmitysenergian tuotantoratkaisu, jossa lämpö kerätään maasta korttelikohtaisesti yhteisistä lämpökaivoista ja nostetaan hyödynnettävään lämpötilatasoon kortteiden yhteiskäyttötiloihin sijoitettavilla lämpöpumpuilla. Lämpö jaetaan kortteissa rakennuksiin erillisellä matalalämpöverkolla. Huipputehon tarve tuotetaan sähkövastuksilla kortteiden energiakeskuksissa.
- Järjestelmän tilantarpeet: 3 kpl maalämpökaivokenttiä kortteiden yhteiskäyttötilojen lähellä, kaikissa yhteiskäyttötiloissa tilavaraus energiakeskukselle, jossa lämpöpumppuyksikkö oheislaitteineen, kaivokentän lämmönkeruupiiri sekä alueellinen matalalämpöverkko energiakeskuksilta rakennuksille.
- Alustavasti havaittuja mahdollisuuksia/riskejä:
 - Korttelikohtaisen järjestelmän yksikkökustannukset täysin hajautettua alhaisemmat. Toisaalta erilliset alueverkot nostavat tässäkin tapauksessa investointikustannusta.
 - Huoltokustannukset ovat pienemmät, kun tarkastusta ja huoltoa tarvitaan vain kolmelle lämpöpumppuyksikölle rakennuskohtaisten lämpöpumppujen (12 kpl) sijasta.
 - Sisältää hajautettua ratkaisua suuremman riskin alueen rakentumisen vaihestumisen suhteen jos koko korttelia ei rakenneta kerralla. Toisaalta koko alueen käsittävään keskitettyyn ratkaisuun verrattuna riski on pienempi. Lämpöpumppujärjestelmää voidaan laajentaa myös jälkeenpäin, mutta se nostaa kustannuksia ja on haastavampaa kun osa rakennuksista on jo asuinkäytössä.

Energiaratkaisujen tarkastelu

Energiajärjestelmien alustava sijoittelu: Korttelikohtainen maalämpöjärjestelmä

- Kuvaan on hahmoteltu energiakaivojen sijainnit korttelikohtaisten huoltorakennusten (3 kpl) viereen.
 - Jokaista korttelia varten tarvitaan yksi energiakaivo á 220 - 290 metriä.
- Aluelämpöverkosto koostuu maahan kaivettavista kaksoisputkista (Mpuk), joiden kokonaispituus on arviolta 280 metriä.
 - Putkihalkaisijat ovat DN25 – DN40 riipuen onko kyseessä talokohtainen putki tai runkoputki lämmönjakokeskuksesta.
 - Putkien kaivuussyvyys on luokkaa 0,7 – 1 metri.
- Korttelikohtaisen aluelämpöratkaisun yhteydessä tarvitaan kolme teknistä tilaa, jotka sijoitetaan kortteleiden 4, 5 ja 6 huoltorakennusten yhteyteen. Tilantarve on noin 13 m² per tekninen tila.
 - Huoltorakennuksiin sijoitetaan lämpöpumppu, pumput, nestevaraajat ja lisälämmönlähteenä käytettävä sähkökattila.



Energiaratkaisujen tarkastelu

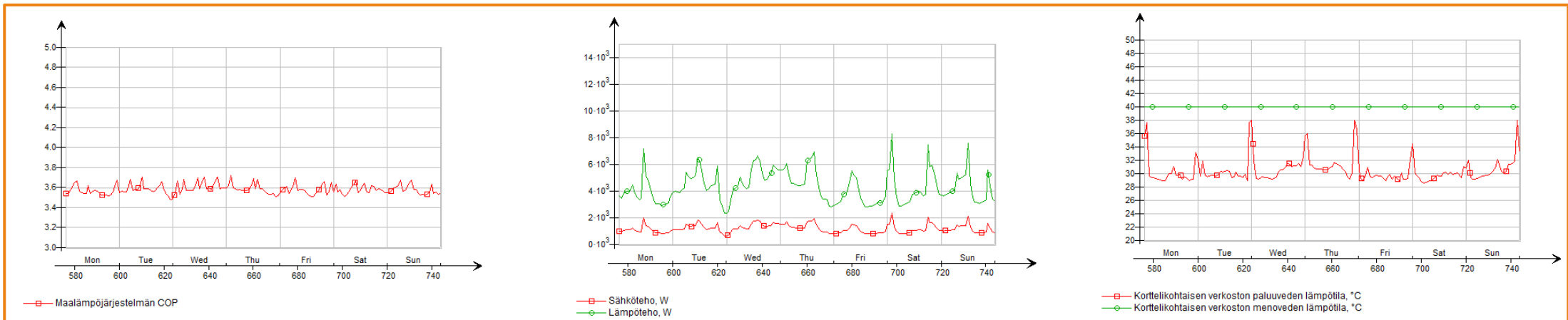
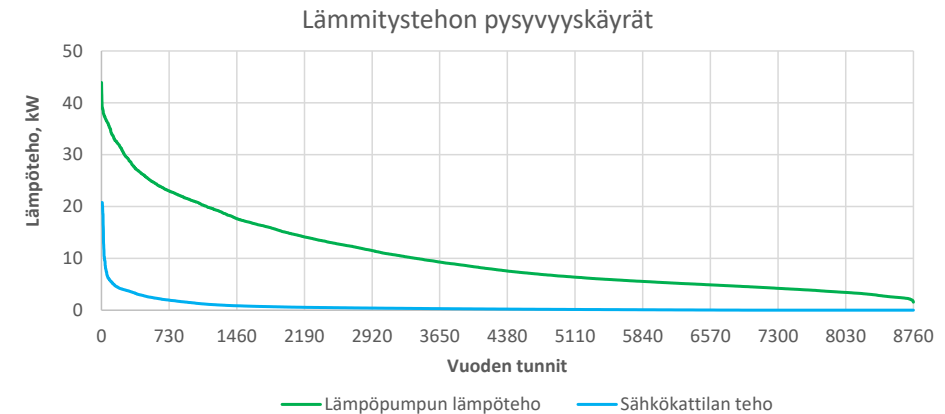
Korttelikohtainen ratkaisu – maalämpöjärjestelmä energiakaivoilla

- Lämpöpumppujärjestelmän mitoitus tiedot on esitetty alla:
 - Korttelikohtaisessa maalämpöjärjestelmässä (lämmitysenergiankulutus 39 kWh/m²) hyödynnetään 15 kW – 20 kW lämpöpumppua (toimintapiste 0 °C / 35 °C), joka palvelee neljän rakennuksen muodostamaa korttelia. Ratkaisussa lämpöpumppu syöttää kiinteistöille vakiolämpöistä vettä mitoituksesta riippuen, 35 – 45 °C vuodenajasta riippumatta.
 - Lämmin käyttövesi priimataan kiinteistöissä pienen sähkövaraajan avulla, teho noin 5 kW per kiinteistö.
 - Jokaisen korttelin yhteyteen tarvitaan yksi 220 – 290 metriä syvä energiakaivo, joka sijoitetaan huoltorakennusten läheisyyteen. Tarvittava kaivosyvyys riippuu korttelin koosta (100 – 150 m² rakennuksia).
 - Korttelikohtainen aluelämpöratkaisu vaatii kolme ylimääräistä sähköliittymää lämpökeskuksille, pääsulake 3 x 50 A per lämpökeskus.
 - Korttelikohtaisella energiakaivoihin pohjautuvalla maalämpöratkaisulla alueverkon laskennallinen energiankulutus verkostohäviöt mukaanlukien on noin 97 MWh
 - Ratkaisulla tuotetaan noin 94 % kiinteistöjen lämmöntarpeesta maalämmöllä. Esimerkkiratkaisussa maalämpöjärjestelmän keskimääräinen lämpökerroin on 3,7 menoveden lämpötilalla 40 °C
 - Noin 73 % tuotetusta lämpöenergiasta on peräisin maasta ja loput sähköenergiaa
 - Elinkaarikustannuslaskennassa oletuksena oli, että maalämpöjärjestelmän laitteet voidaan sijoittaa alueelle joka tapauksessa rakennettaviin korttelikohtaisiin huoltorakennuksiin. Eli erillisiä rakennuksia maalämpöjärjestelmää varten ei tarvita.

Energiaratkaisujen tarkastelu

Korttelikohtainen ratkaisu – maalämpöjärjestelmä energiakaivoilla

- Korttelikohtaisen maalämpöjärjestelmän toimintaa ja tehontarpeen jakaumaa (lattialämmitys ja lämmin käyttövesi) on havainnollistettu oheisissa kuvissa.
- Maalämpöjärjestelmän toimintaa on havainnollistettu yhden talviviikon osalta korttelissa, missä on neljä 140 m² kokoista pientaloa.
 - Maalämpöjärjestelmän lämpökerroin (COP)
 - Maalämpöjärjestelmän lämpö- ja sähkötehot
 - Verkoston neno- ja paluuveden lämpötilat lämpökeskuksen kohdalla



Energiaratkaisujen tarkastelu

Korttelikohtainen ratkaisu - maalämpöjärjestelmä energiakaivoilla

- Korttelikohtaisen maalämpöjärjestelmän kannattavuutta on vertailtu alla referenssiratkaisuun (rakennuskohtainen sähkölämmitys):
 - Ilmoitetut investointikustannukset ovat lisäinvestointeja referenssiratkaisuun verrattuna
 - Sähkön kokonaishinta on vakio 88,7 €/MWh

Toimenpide	Investointi [€]	Säästö kaukolämmössä		Säästö sähköenergiassa		Huolto- kustannusten lisäys [€/v]	Kustannus- säästö yhteensä [€/v]	Säästöt CO ₂ - päästöissä [tCO ₂ /v]	Suora takaisinmaksuaika [vuotta]	Diskontattu takaisinmaksuaika [vuotta]	Sisäinen korkotuotto 25 v ajanjaksolla [%]	Elinkaari- kustannus- säästöt [€/25v]
		[MWh/v]	[€/v]	[MWh/v]	[€/v]							
Referenssiratkaisu: Rakennuskohtainen sähkölämmitys	0 €	0	0 €	0	0 €	0 €	0 €	0.0	-	-	-	-
Korttelikohtainen alueverkosto: Energiakaivot	117 100 €	0	0 €	48	2 700 €	600 €	2 100 €	3.3	55.8	yli 25 v	-2 %	-64 000 €

- Korttelikohtaisen maalämpöjärjestelmän elinkaarikustannussäästöt ovat negatiiviset 25 vuoden tarkasteluajanjaksolla, eli järjestelmä ei maksa itseään takaisin referenssiratkaisuun verrattuna.
 - Aluetason ratkaisun kannattavuutta heikentää merkittävästi suuret investointikustannukset suhteessa energiankulutukseen. Erityisesti verkoston lämpöhäviöt vaikuttavat negatiivisesti alueratkaisun kannattavuuteen, jos alueen energiankulutus on hyvin pieni.
 - Aluetasolla järjestelmän kustannussäästöt ovat 2 200 € vuodessa referenssijärjestelmään verrattuna.
- Ratkaisu pienentää CO₂ –päästöjä keskimäärin 3,3 tonnia per vuosi eli n. 61% referenssiratkaisuun verrattuna.

Energiaratkaisujen tarkastelu

Rakennuskohtainen ratkaisu - maalämpö

- Hajautettu lämmitysenergian tuotantoratkaisu, jossa lämpö kerätään maasta rakennuskohtaisista lämpökaivoista ja nostetaan hyödynnettävään lämpötilatasoon rakennuskohtaisilla lämpöpumpuilla. Huipputehon tarve katetaan myös rakennuskohtaisesti varaajaan liitetyillä sähkövastuksilla.
- Lämpöpumppujen tuottama lämpötilataso optimoidaan niin, että lämpöpumpun hyötysuhde pysyy mahdollisimman korkeana. Esimerkiksi niin, että tuottolämpötila rajoitetaan 40°C (lattialämmityspiirin mitoituslämpötila) ja lämpimän käyttöveden (55°C) priimaus tapahtuu sähkövastuksilla.
- Järjestelmän tilantarpeet: maalämpökaivot rakennusten lähellä (1 per rakennus), pieni tilavaraus rakennuksissa lämpöpumppuyksikölle.
- Yleisiä huomioita rakennuskohtaiseen maalämpöratkaisuun liittyen
 - Etuna lyhyet etäisyydet kaivon ja rakennusten välillä, eikä tarvetta erilliselle aluelämpöverkolle.
 - Hajautettu järjestelmässä on helposti skaalattavissa eikä sisällä riskejä liittyen alueen rakentumisen vaiheistukseen, kun energiajärjestelmät asennetaan vasta siinä vaiheessa kun talotkin.
 - Hajautetussa järjestelmässä koko alueen energiajärjestelmän yksikkökustannukset voivat nousta korkeammiksi kun asennetaan useita pieniä yksiköitä yhden suuren sijasta. Myös käytönaikaiset ovat samasta syystä korkeammat.

Energiajärjestelmien alustava sijoittelu: Rakennuskohtaiset maalämpöjärjestelmät

-
- The map shows a residential area with a proposed energy trench (Energiakaivo) running through it. The trench is marked with a green line and a white label. The area is divided into several plots, some of which are labeled with numbers (1, 2, 3, 4, 5, 6) and letters (AH, AL, AP). Building footprints are shown as dashed outlines, and some are labeled with dimensions (e.g., 150, 140, 100). The map also includes contour lines and a scale bar (1:95).

Energiaratkaisujen tarkastelu

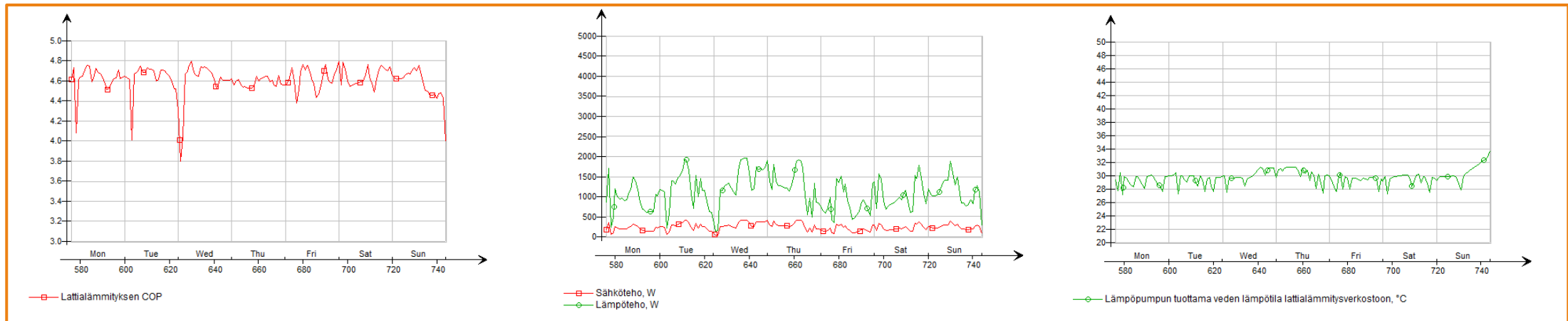
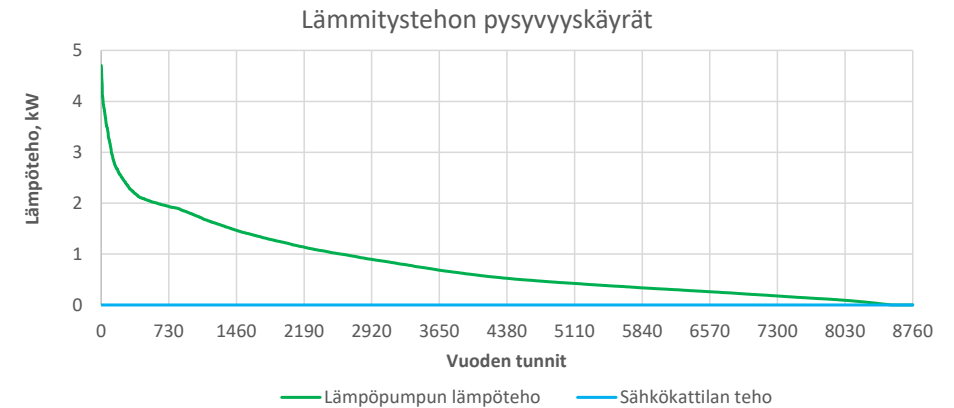
Rakennuskohtainen ratkaisu – maalämpö

- Lämpöpumppujärjestelmän mitoitus tiedot on esitetty alla:
 - Rakennuskohtaisessa maalämpöjärjestelmässä (lämmitysenergiankulutus 39 kWh/m²) hyödynnetään noin 6 kW lämpöpumppua (toimintapiste 0 °C / 35 °C). Ratkaisu riittää yksittäisiä lämmityspiikkejä lukuun ottamatta tuottamaan koko rakennuksen tarvitseman lämpöenergian.
 - Lämpöpumpussa on sisäänrakennettu sähkövastus, 3 – 6 kW, jolla tuotetaan tarvittaessa lisälämpöä rakennukseen.
 - Jokaiselle tontille tarvitaan yksi energiakaivo, jonka syvyys on 45 – 70 metriä rakennuksen koosta riippuen (100 m² - 150 m²).
 - Rakennuskohtaisille maalämpöratkaisuille riittää tavallinen sulakekoko 3x 25 A.
 - Koko aluetasolla rakennuskohtaisen rakennuskohtaisen maalämpöratkaisun energiankulutus on noin 78 MWh.
 - Ratkaisulla tuotetaan lähes 100 % kiinteistöjen lämmöntarpeesta maalämmöllä. Esimerkkiratkaisussa maalämpöjärjestelmän keskimääräinen lämpökerroin on 4,1, kun lattialämmityksen korkein menoveden lämpötila on 35 °C ja lämmin käyttövesi tuotetaan lämpöpumpulla.
 - Noin 76 % tuotetusta lämpöenergiasta on peräisin maasta ja loput sähköenergiaa.

Energiaratkaisujen tarkastelu

Korttelikohtainen ratkaisu – rakennuskohtainen maalämpö

- Rakennuskohtaiset maalämpöjärjestelmän toimintaa ja tehontarpeen jakaumaa (lattialämmitys ja lämmin käyttövesi) on havainnollistettu oheisissa kuvissa.
- Maalämpöjärjestelmän toimintaa on havainnollistettu yhden talviviikon aikana 140 m² kokoisessa pientalossa.
 - Maalämpöjärjestelmän lämpökerroin (COP) tehtäessä lämpöä lattialämmitysverkostoon
 - Maalämpöjärjestelmän lämpö- ja sähkötehot
 - Lämpöpumpun tuottama veden lämpötila lattialämmitysverkostoon



Energiaratkaisujen tarkastelu

Keskitetty ratkaisu – rakennuskohtainen maalämpö

- Rakennuskohtaisen maalämpöjärjestelmän kannattavuutta on vertailtu alla referenssiratkaisuun (rakennuskohtainen sähkölämmitys):
 - Ilmoitetut investointikustannukset ovat lisäinvestointeja referenssiratkaisuun verrattuna
 - Sähkön kokonaishinta on vakio 88,7 €/MWh

Toimenpide	Investointi [€]	Säästö kaukolämmössä		Säästö sähköenergiassa		Huolto- kustannusten lisäys [€/v]	Kustannus- säästö yhteensä [€/v]	Säästöt CO ₂ - päästöissä [tCO ₂ /v]	Suora takaisinmaksuaika [vuotta]	Diskontattu takaisinmaksuaika [vuotta]	Sisäinen korkotuotto 25 v ajanjaksolla [%]	Elinkaari- kustannus- säästöt [€/25v]
		[MWh/v]	[€/v]	[MWh/v]	[€/v]							
Referenssiratkaisu: Rakennuskohtainen sähkölämmitys	0 €	0	0 €	0	0 €	0 €	0 €	0.0				
Rakennuskohtainen maalämpö	111 400 €	0	0 €	61	5 400 €	200 €	5 200 €	4.2	21.4	21.4	4 %	19 500 €

- Rakennuskohtainen maalämpöjärjestelmä maksaa itsensä takaisin tarkastellulla 25 vuoden ajanjaksolla. Rakennuskohtaiset elinkaarikustannussäästöt riippuvat kuitenkin merkittävästi rakennuksen koosta ja todellisesta energiankulutuksesta (kWh/m² /vuosi).
 - Maalämpöjärjestelmän elinkaarikustannussäästöt kasvavat merkittävästi, jos kyseessä on isompi rakennus tai yleisesti kun rakennuksen energiankulutus kasvaa lasketusta tasosta.
 - Koko alueen tasolla järjestelmän käyttökustannussäästöt ovat yhteensä 4 900 € vuodessa referenssijärjestelmään verrattuna.
- Ratkaisu pienentää CO₂ –päästöjä keskimäärin 4,2 tonnia per vuosi eli n. 77% referenssiratkaisuun verrattuna. Suuremmat säästöt alueratkaisuihin verrattuna johtuvat pitkälti lämpöpumpun mitoituksesta.

Energiaratkaisujen tarkastelu

Keskitetty ratkaisu – vaakakeruuputkimaalämpö

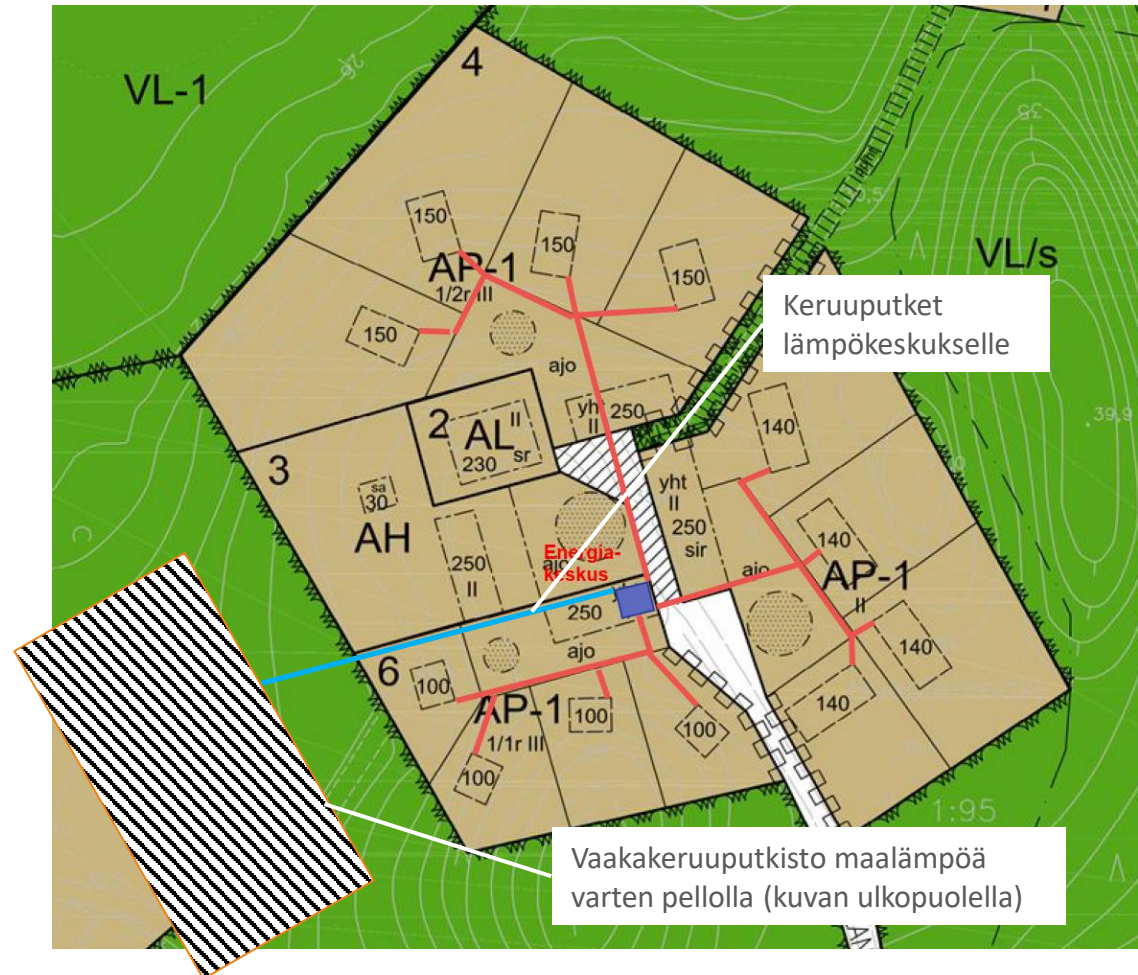
- Keskitetty lämmitysenergian tuotantoratkaisu, jossa lämpö kerätään maasta läheiselle pellolle lähelle maanpintaa asennettavan vaakakeruuputkiston avulla ja nostetaan hyödynnettävään lämpötilatasoon keskitetyssä lämpöpumppulaitoksessa. Huipputuotantokapasiteettina lämpöpumpun rinnalla on sähkökattila.
- Lämpöpumppulaitokselta lämpö jaetaan kaikille asuintaloille erillisen matalalämpöverkon avulla ja matalalämpöverkon lämpötilataso optimoidaan niin, että lämpöpumpun hyötysuhde pysyy mahdollisimman korkeana.
- Järjestelmän tilantarpeet: vaakakeruuputkijärjestelmä läheisellä pellolla, alueelle sijoitettava pieni energiakeskus, jossa lämpöpumppuyksikkö ja kattila, siirtoputki pellon ja energiakeskuksen välille (linnuntietä n. 125 m, tietä pitkin 220 - 250 m) sekä alueellinen matalalämpöverkko energiakeskukselta rakennuksille. Elinkaarilaskelmissa on käytetty siirtoputkiston pituutta 150 metriä.
- Tähän ratkaisuun voitaisiin lisäksi integroida pieni aurinkokeräinkenttä pellon keruujärjestelmän yhteyteen niin, että kesäaikaan matalalämpöverkko hyödyntää ensisijaisesti aurinkokeräinten tuotantoa ja ylimäärä voidaan ladata pellon vaakakeruuputkiston avulla maahan.
- Alustavasti havaittuja mahdollisuuksia/riskejä:
 - Aurinkokeräinjärjestelmä voidaan sijoittaa lämpövaraston välittömään läheisyyteen, joten siirtohäviöitä ei juuri synny
 - Maaperän soveltuvuus tarkastellulle energiaratkaisulle? Maanpinnan lähellä ulkolämpötilan vaikutus maan lämpötilaan on suuri ja vaihtelee siis vuodenaikojen mukaan.
 - Ratkaisun soveltuvuus lämpövarastoksi on heikko. Maaperän lämmönvarastointikyky maaperän tyypistä riippuvaista ja lämpöhäviöt voivat nousta suuriksi. Elinkaarilaskennassa käytettiin maaperän keskimääräistä lämmönjohtavuutta 1,7 W/mK.



Energiaratkaisujen tarkastelu

Energiajärjestelmien alustava sijoittelu: Maalämpö vaakakeruuputkistolla

- Kuvassa on havainnollistettu vaakakeruuputkiston sijoittelua asuinalueen viereiselle pellolle.
 - Tarvittavan keruuputkiston pituus (runkoputket) lämmönjakokeskukselta pellolle on luokkaa 150 metriä, putkikoko DN80 – DN100.
 - Keruuputkisto toteutetaan jäätymättömällä liuoksella, esimerkiksi etanoli-vesi.
- Vaakakeruuputkiston tarvittava pituus on 4500 – 5500 m riippuen peltomaan lämpöteknisistä ominaisuuksista.
 - Keruuputkisto toteutetaan 40 mm kollektoriputkillä, jota kaivetaan noin 1,2 metrin syvyyteen ja kahden vierekkäisen putken etäisyys on noin 1 metri.
 - Putkisto toteutetaan putkilenkeittäin siten, että yhden putkilenkin maksimipituus on 500 metriä. Putkilenkit liitetään kokoojakaivoon sijoitettuun jakotukkiin, josta keruuputket vievät edelleen lämpökeskukselle.
- Lämmönjakokeskukselta lähtee aluelämpöverkoston runkoputket rakennuksiin. Alueverkostoa on tarkemmin kuvattu keskitetyn maalämpöratkaisun yhteydessä.



Energiaratkaisujen tarkastelu

Keskitetty ratkaisu – maalämpö vaakakeruuputkillä

- Lämpöpumppujärjestelmän mitoitus tiedot on esitetty alla:
 - Keskitetyssä maalämpöjärjestelmässä (lämmitysenergiankulutus 39 kWh/m²) hyödynnetään noin 55 kW lämpöpumppua (toimintapiste 0 °C / 35 °C), joka palvelee koko aluelämpöverkostoa. Ratkaisussa lämpöpumppu syöttää kiinteistöille vakio lämpöistä vettä mitoitukselta riippuen, 35 – 45 °C vuodenajasta riippumatta.
 - Lämmin käyttövesi priimataan kiinteistöissä pienen sähkövaraajan avulla, teho luokkaa 5 kW per kiinteistö.
 - Maalämpöjärjestelmässä hyödynnetään asuinalueen viereiselle pellolle sijoitettavaa vaakakeruuputkistoa, jonka arvioitu laajuus on 4500 – 5500 metriä maaperän ominaisuuksista riippuen. Putkisto toteutetaan 40 mm kollektoriputkillä putkilenkeittäin, putkilenkin maksimipituus 500 metriä. Ylärajan putkilenkin pituudelle asettaa putkiston enimmäispainehäviö suunnitellulla virtaamalla.
 - Keskitetty maalämpöjärjestelmä vaatii ylimääräisen sähköliittymän lämpökeskukselle, pääsulake 3 x 80 A.
 - Keskitetyllä energiakaivoihin perustuvalla ratkaisulla alueverkon laskennallinen energiankulutus verkostohäviöt mukaanlukien on noin 101 MWh
 - Ratkaisulla tuotetaan noin 94 % kiinteistöjen lämmöntarpeesta maalämmöllä. Esimerkkiratkaisussa maalämpöjärjestelmän keskimääräinen lämpökerroin on 3,7 menoveden lämpötilalla 40 °C
 - Noin 73 % tuotetusta lämpöenergiasta on peräisin maasta ja loput sähköenergiaa
 - Elinkaarikustannuslaskennassa oletuksena oli, että maalämpöjärjestelmän laitteet voidaan sijoittaa alueelle joka tapauksessa rakennettaviin huolto- tai teknisiin rakennuksiin. Eli erillistä rakennusta maalämpöjärjestelmää varten ei tarvita.
 - Hyödyntämättömän aurinkolämmön lataus vaakakeruuputkistoon ei ole yhtä järkevä toimenpide kuin energiakaivojen lataus koska maaperä pintamaassa regeneroituu kesällä tehokkaasti jo luonnollisella lämmön latauksella -> ylijäämälämmön latauksen vaikutus jää marginaaliseksi.

Energiaratkaisujen tarkastelu

Keskitetty ratkaisu – maalämpö vaakakeruuputkilla

- Keskitetyn maalämpöjärjestelmän kannattavuutta vaakakeruuputkilla on vertailtu alla referenssiratkaisuun (rakennuskohtainen sähkölämmitys):
 - Ilmoitetut investointikustannukset ovat lisäinvestointeja referenssiratkaisuun verrattuna
 - Sähkön kokonaishinta on vakio 88,7 €/MWh

Toimenpide	Investointi [€]	Säästö kaukolämmössä		Säästö sähköenergiassa		Huolto- kustannusten lisäys [€/v]	Kustannus- säästö yhteensä [€/v]	Säästöt CO ₂ - päästöissä [tCO ₂ /v]	Suora takaisinmaksuaika [vuotta]	Diskontattu takaisinmaksuaika [vuotta]	Sisäinen korkotuotto 25 v ajanjaksolla [%]	Elinkaari- kustannus- säästöt [€/25v]
		[MWh/v]	[€/v]	[MWh/v]	[€/v]							
Referenssiratkaisu: Rakennuskohtainen sähkölämmitys	0 €	0	0 €	0	0 €	0 €	0 €	0.0				
Keskitetty energiaratkaisu: Maalämpö vaakakeruuputkistolla	143 900 €	0	0 €	49	3 100 €	700 €	2 400 €	3.4	60.0	yli 25 v	-3 %	-84 700 €

- Vaakakeruuputkiin pohjautuva maalämpöjärjestelmän elinkaarikustannussäästöt ovat negatiiviset 25 vuoden tarkasteluajanjaksolla, eli järjestelmä ei maksa itseään takaisin referenssiratkaisuun verrattuna.
 - Aluetason ratkaisun kannattavuutta heikentää merkittävästi suuret investointikustannukset suhteessa energiankulutukseen. Erityisesti verkoston lämpöhäviöt vaikuttavat negatiivisesti alueratkaisun kannattavuuteen, jos alueen energiankulutus on hyvin pieni.
 - Aluetasolla järjestelmän käyttökustannussäästöt ovat 2 600 € vuodessa referenssijärjestelmään verrattuna.
- Ratkaisu pienentää CO₂ –päästöjä keskimäärin 3,4 tonnia per vuosi eli n. 61% referenssiratkaisuun verrattuna.
- Latausmahdollisuutta aurinkokeräimistä saatavan hukkalämmön avulla ei selvitetty tarkemmin koska pintamaan lämpötila nousee kesällä merkittävästi jo luonnollisella lämmön latauksella (lämmin ulkoilma ja auringon säteily maan pintaan). Lämmön varastointi pintamaahan on myös ongelmallista isoista lämpöhäviöistä johtuen.

Energiaratkaisujen tarkastelu

Keskitetty ratkaisu - järvilämpö

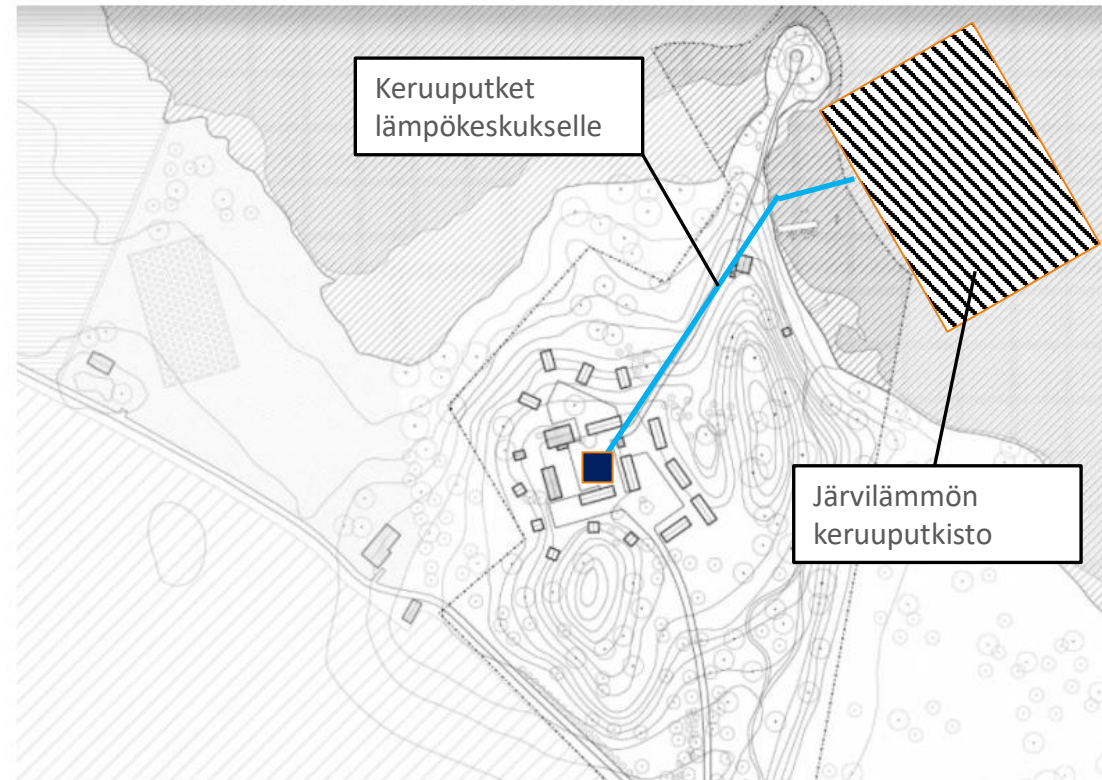
- Keskitetty lämmitysenergian tuotantoratkaisu, jossa lämpö kerätään läheisestä järvestä sen pohjaan (pohjan päälle) sijoitettavan keruujärjestelmän avulla ja nostetaan hyödynnettävään lämpötilatasoon keskitetyssä lämpöpumppulaitoksessa. Huipputuotantokapasiteettina lämpöpumpun rinnalla on sähkökattila.
- Lämpöpumppulaitokselta lämpö jaetaan kaikille asuintaloille erillisen matalalämpöverkon avulla ja matalalämpöverkon lämpötilataso optimoidaan niin, että lämpöpumpun hyötysuhde pysyy mahdollisimman korkeana. Esimerkiksi niin, että matalalämpöverkon lämpötila on 40°C (lattialämmityspiirin mitoituslämpötila) ja lämpimän käyttöveden (55°C) priimaus sähkövastuksilla.
- Järjestelmän tilantarpeet: keruuputkijärjestelmä järveen, alueelle sijoitettava pieni energiakeskus, jossa lämpöpumppuyksikkö ja kattila, siirtoputki järven rannan ja energiakeskuksen välille (lennontietä n. 130 - 150 m) sekä alueellinen matalalämpöverkko energiakeskukselta rakennuksille.
- Kerättyjen tietojen perusteella Lapinjärvi on todella matala, keskisyvyys alle 2 m ja syvin kohtakin vain n. 2,6 m. Matalissa vesistöissä veden lämpötila myös pohjalla on hyvin alhainen talviaikaan, mikä heikentää lämpöpumppulaitoksen hyötysuhdetta ja kasvattaa tarvittavan keruuputkiston pituutta, ja jos järvi jäätyy pohjaan asti ei lämpöpumppua voida käyttää lainkaan.
- Alustavasti havaittuja mahdollisuuksia/riskejä:
 - Järven soveltuvuus lämmönlähteeksi: energia- ja kustannustehokkuus, jäätymisriski rannan läheisyydessä.
 - Järven ranta sijaitsee jonkin matkan päässä alueelta, jollon siirtoputken investointi ja lämpöhäviöt kasvavat.
 - Järven mataluudesta johtuen keruuputket joudutaan mahdollisesti viemään kauas rannasta, jotta vähimmäissyvyys 2 m saavutetaan.



Energiaratkaisujen tarkastelu

Energiajärjestelmien alustava sijoittelu: Keskitetty järvilämpö

- Kuvassa on havainnollistettu järvilämpöputkiston sijoittelua asuinalueen viereiselle järviolueelle.
 - Tarvittavan keruuputkiston pituus (runkoputket) lämmönjakokeskukselta järvelle on vähintään 150 metriä.
 - Keruuputkisto toteutetaan jäätymättömällä liuksella, esimerkiksi etanoli-vesi.
- Järviputkiston tarvittava pituus on noin 2800 m alustavan arvion pohjalta. Putkisto on tärkeä asentaa vähintään 2 metrin syvyyteen, jolloin putkia joudutaan tarvittaessa viemään huomattavan kauas rannasta.
 - Keruuputkisto toteutetaan 40 mm kollektoriputkillä, jotka asetetaan järven pohjaan betonipainojen avulla.
 - Putkisto toteutetaan putkilenkeittäin siten, että yhden putkilenkin maksimipituus on 500 metriä. Putkilenkit liitetään rannalla sijaitsevaan kokoojakaivoon ja jakotukin kautta keruuputket viedään edelleen lämpökeskukselle.
- Lämmönjakokeskukselta lähtee aluelämpöverkoston runkoputket rakennuksiin. Alueverkostoa on tarkemmin kuvattu keskitetyn maalämpöratkaisun yhteydessä.



Energiaratkaisujen tarkastelu

Keskitetty ratkaisu – järvilämpö

- Lämpöpumppujärjestelmän mitoitus tiedot on esitetty alla:
 - Keskitetyssä järvilämpöjärjestelmässä (lämmitysenergiankulutus 39 kWh/m²) hyödynnetään noin 55 kW lämpöpumppua (toimintapiste 0 °C / 35 °C), joka palvelee koko aluelämpöverkoston. Ratkaisussa lämpöpumppu syöttää kiinteistöille vakiolämpöistä vettä mitoitukselta riippuen, 35 – 45 °C vuodenaikasta riippumatta.
 - Lämmin käyttövesi priimataan kiinteistöissä pienen sähkövaraajan avulla, teho luokkaa 5 kW per kiinteistö.
 - Järvilämpöjärjestelmässä hyödynnetään asuinalueen viereiseen järveen sijoitettavaa vaakakeruuputkistoa, jonka laajuus on alustavan arvion mukaan noin 2800 metriä. Putkisto toteutetaan 40 mm kollektoriputkillalla putkilenkeittäin, putkilenkin maksimipituus 500 metriä. Ylärajan putkilenkin pituudelle asettaa putkiston enimmäispainehäviö suunnitellulla virtaamalla.
 - Keskitetty järvilämpöjärjestelmä vaatii ylimääräisen sähköliittymän lämpökeskukselle, pääsulake 3 x 80 A.
 - Keskitetyllä järvilämpöön perustuvalla ratkaisulla alueverkon laskennallinen energiankulutus verkostohäviöt mukaanlukien on noin 101 MWh
 - Ratkaisulla tuotetaan noin 94 % kiinteistöjen lämmöntarpeesta järvilämmöllä. Esimerkkiratkaisussa järvilämpöjärjestelmän keskimääräinen lämpökerroin on 3,6 menoveden lämpötilalla 40 °C
 - Noin 72 % tuotetusta lämpöenergiasta on peräisin järvestä saatavasta lämmöstä ja loput sähköenergiaa

Energiaratkaisujen tarkastelu

Keskitetty ratkaisu - järvilämpö

- Keskitetyn järvilämpöjärjestelmän kannattavuutta on vertailtu alla referenssiratkaisuun (rakennuskohtainen sähkölämmitys):
 - Ilmoitetut investointikustannukset ovat lisäinvestointeja referenssiratkaisuun verrattuna
 - Sähkön kokonaishinta on vakio 88,7 €/MWh

Toimenpide	Investointi [€]	Säästö kaukolämmössä		Säästö sähköenergiassa		Huolto- kustannusten lisäys [€/v]	Kustannus- säästö yhteensä [€/v]	Säästöt CO ₂ - päästöissä [tCO ₂ /v]	Suora takaisinmaksuaika [vuotta]	Diskontattu takaisinmaksuaika [vuotta]	Sisäinen korkotuotto 25 v ajanjaksolla [%]	Elinkaari- kustannus- säästöt [€/25v]
		[MWh/v]	[€/v]	[MWh/v]	[€/v]							
Referenssiratkaisu: Rakennuskohtainen sähkölämmitys	0 €	0	0 €	0	0 €	0 €	0 €	0.0				
Keskitetty aluelämpö: Järvilämpö	141 200 €	0	0 €	49	3 100 €	700 €	2 400 €	3.4	58.8	yli 25 v	-3 %	-81 600 €

- Järvilämpöön pohjautuvan lämpöpumppujärjestelmän elinkaarikustannussäästöt ovat negatiiviset 25 vuoden tarkasteluajanjaksolla, eli järjestelmä ei maksa itseään takaisin referenssiratkaisuun verrattuna.
 - Aluetason ratkaisun kannattavuutta heikentää merkittävästi suuret investointikustannukset suhteessa energiankulutukseen. Erityisesti verkoston lämpöhäviöt vaikuttavat negatiivisesti alueratkaisun kannattavuuteen, jos alueen energiankulutus on hyvin pieni.
 - Aluetasolla järjestelmän kustannussäästöt ovat 2 600 € vuodessa referenssijärjestelmään verrattuna.
- Ratkaisu pienentää CO₂ –päästöjä keskimäärin 3,4 tonnia per vuosi eli n. 61% referenssiratkaisuun verrattuna.

Energiaratkaisujen elinkaarikustannusvertailu

Vaihtoehtojen elinkaarikustannusvertailu

- Raportissa esitettyjen elinkaarikustannuslaskelmien perusteella aluelämpöön pohjautuvan maalämpöratkaisun kannattavuus on heikko, kun verrataan rakennuskohtaiseen suoraan sähkölämmitykseen.
 - Rakennusten lämmitysenergiankulutuksella 39 kWh/m^2 /vuosi keskitetyn maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika refereenssiratkaisuun on noin 58 vuotta ja korttelikohtaisella ratkaisulla noin 53 vuotta.
- Alueverkoston kustannustehokkuutta laskevat korkeat investointikustannukset ja lämmönsiirtoputkiston häviöt alueen matalaan energiankulutukseen suhteutettuna.
 - Keskitetyn maalämpöjärjestelmän taloudellinen kannattavuus paranee suhteessa merkittävästi, jos kiinteistöjen lämmitysenergiankulutus kasvaa lasketusta tasosta (noin 39 kWh/m^2 /vuosi). Lämmitysenergiankulutuksen vaikutusta taloudelliseen kannattavuuteen on havainnollistettu yhteenvetotaulukossa tämän raportin seuraavalla sivulla.
 - Aluelämpöratkaisun kannattavuuteen vaikuttaa myös menoveden lämpötila alueverkoston lämpöhäviöiden kautta erityisesti, jos aluetason lämmitysenergiankulutus on matalahko. Laskentaan menoveden lämpötilaksi valittiin 40°C .
 - Lattialämmitysjärjestelmän yhteydessä käytännön minimitaso aluelämpöverkoston lämpötilalle on 35°C mutta häviöt ja mitoitus tekniset varmuusvarat huomioiden noin 40°C on toimivampi mitoituslämpötila.
 - Alueverkoston lämpötilatason nostaminen esimerkiksi 45°C tasoon ei paranna kustannustehokkuutta. Lämpöpumpun hyötysuhteen heikkeneminen ja alueverkoston lisääntyvät lämpöhäviöt merkitsevät kokonaisuudessa enemmän kuin hyödyt, jotka saavutetaan korkeammasta lämpimän käyttöveden lämmitysosuudesta lämpöpumppujärjestelmän avulla.

Energiaratkaisujen elinkaarikustannusvertailu

Vaihtoehtojen elinkaarikustannusvertailu: Lämmityksen energiankulutus 39 vs. 77 kWh/m² - Sähkön kokonaishinta on vakio 88,7 €/MWh

- Yhteenvedo alueen elinkaarikustannuslaskelmien tuloksista lämmityksen energiankulutuksella 39 kWh/m² on esitetty alla olevassa taulukossa.

Toimenpide	Investointi [€]	Säästö kaukolämmössä		Säästö sähköenergiassa		Huolto- kustannusten lisäys [€/v]	Kustannus- säästö yhteensä [€/v]	Säästöt CO ₂ - päästöissä [tCO ₂ /v]	Suora takaisinmaksuaika [vuotta]	Diskontattu takaisinmaksuaika [vuotta]	Sisäinen korkotuotto 25 v ajanjaksolla [%]	Elinkaari- kustannus- säästöt [€/25v]
		[MWh/v]	[€/v]	[MWh/v]	[€/v]							
Referenssiratkaisu: Rakennuskohtainen sähkölämmitys	0 €	0	0 €	0	0 €	0 €	0 €	0.0				
Keskitetty energiaratkaisu: Maalämpö energiakaivoilla	140 100 €	0	0 €	47	2 900 €	700 €	2 200 €	3.2	63.7	yli 25 v	-3 %	-84 800 €
Keskitetty aluelämpö: Energiakaivot, aurinkokeräimet 100 m ² ja varaajat 8 m ³	209 200 €	0	0 €	51	3 300 €	700 €	2 600 €	3.5	80.5	yli 25 v	-5 %	-145 300 €
Keskitetty aluelämpö: Vaakakeruuputkisto	143 900 €	0	0 €	49	3 100 €	700 €	2 400 €	3.4	60.0	yli 25 v	-3 %	-84 700 €
Keskitetty aluelämpö: Järvilämpö	141 200 €	0	0 €	49	3 100 €	700 €	2 400 €	3.4	58.8	yli 25 v	-3 %	-81 600 €
Korttelikohtainen alueverkosto: Energiakaivot	117 100 €	0	0 €	48	2 700 €	600 €	2 100 €	3.3	55.8	yli 25 v	-2 %	-64 000 €
Rakennuskohtainen maalämpö	111 400 €	0	0 €	61	5 400 €	200 €	5 200 €	4.2	21.4	21.4	4 %	19 500 €

- Alueen lämmitysenergiankulutuksen vaikutusta maalämpöjärjestelmien kannattavuuteen selvitettiin lisäksi alueen keskimääräisellä lämmitysenergiankulutuksella 77 kWh/m² (kaksinkertainen kulutus matalaenergiarakennuksen kulutukseen). Elinkaarikustannuslaskelmien tulokset on esitetty alla olevassa taulukossa.

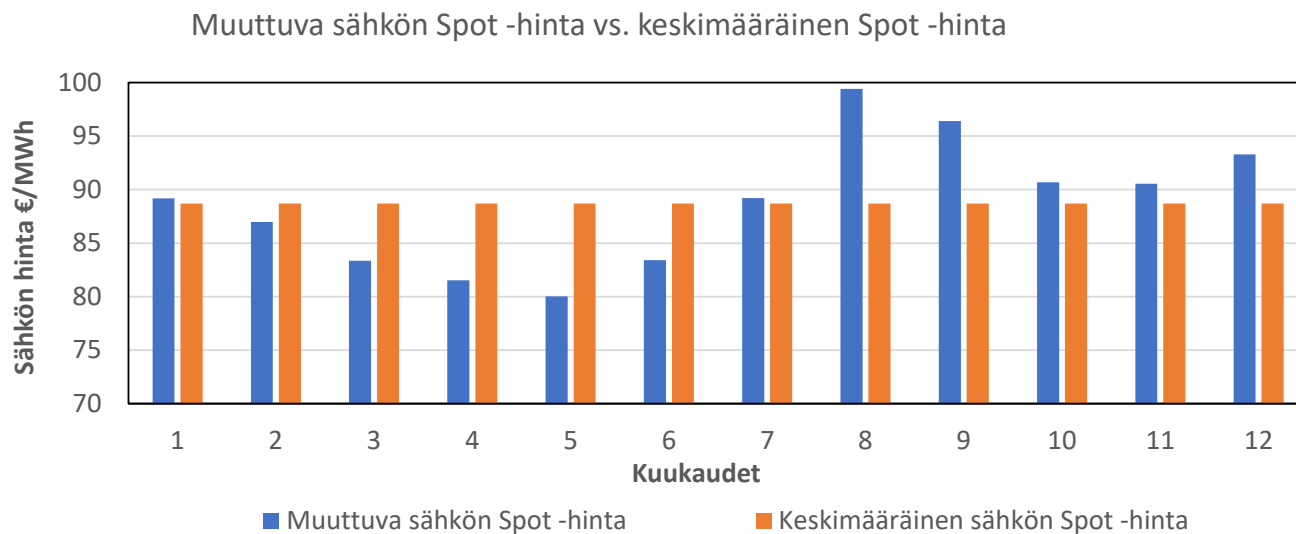
Toimenpide	Investointi [€]	Säästö kaukolämmössä		Säästö sähköenergiassa		Huolto- kustannusten lisäys [€/v]	Kustannus- säästö yhteensä [€/v]	Säästöt CO ₂ - päästöissä [tCO ₂ /v]	Suora takaisinmaksuaika [vuotta]	Diskontattu takaisinmaksuaika [vuotta]	Sisäinen korkotuotto 25 v ajanjaksolla [%]	Elinkaari- kustannus- säästöt [€/25v]
		[MWh/v]	[€/v]	[MWh/v]	[€/v]							
Referenssiratkaisu: Rakennuskohtainen sähkölämmitys	0 €	0	0 €	0	0 €	0 €	0 €	0.0				
Keskitetty aluelämpö: Energiakaivot	173 500 €	0	0 €	104	8 100 €	900 €	7 200 €	7.2	24.1	24.2	3 %	5 900 €
Korttelikohtainen alueverkosto: Energiakaivot	141 100 €	0	0 €	106	7 900 €	800 €	7 100 €	7.4	19.9	20.4	5 %	34 600 €
Rakennuskohtainen maalämpö	131 600 €	0	0 €	121	10 700 €	400 €	10 300 €	8.4	12.8	12.3	9 %	127 200 €



Energiaratkaisujen elinkaarikustannusvertailu

Sähkön kokonaishinnan vaikutus kannattavuuteen: muuttuva Spot –hinta 80,1 – 99,5 €/MWh vs. keskimääräinen kokonaishinta 88,7 €/MWh

- Lämmityksen energiankulutuksella 39 kWh/m² Spot –hinnan mukaan laskettava sähkön kokonaishinta säästää vuositasolla enintään 10 € koko alueen tasolla, joten muuttuva sähköenergian hinnoittelu ei käytännössä vaikuta taloudelliseen kannattavuuteen.
 - Aluetason lämmitysenergiankulutuksen kasvattaminen tasoon 77 kWh/m² ei muuta kannattavuusasetelmaa merkittävästi.



- Muuttuvan sähkön Spot –hinnan huomioiminen vaikuttaa tilastollisesti positiivisesti maaliskuun – kesäkuun välisellä ajanjaksolla.
- Muuttuva sähkön Spot –hinta on toisaalta tilastollisesti kalliimpi ajanjaksolla elokuu – joulukuu.
- Viereisessä kuvaajassa esitetyt sähköenergian Spot – hinnat ovat keskimääräisiä vuosien 2018 – 2020 ajalta.
 - Ilmoitetut kuukausipohjaiset Spot –hinnat ovat keskimääräisiä kolmen vuoden ajalta.

Energiaratkaisujen elinkaarikustannusvertailu

Vaihtoehtojen elinkaarikustannusvertailu

- Elinkaarikustannuslaskelmien perusteella havaittiin, että maalämpöjärjestelmän kannattavuuteen vaikuttaa merkittävästi rakennuksen koko tai yleisesti rakennuksen energiankulutus.
 - Laskelmissa käytetyllä kiinteistökohtaisella lämmitysenergiankulutuksella 39 MWh/m², rakennuskohtaisen maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika on esimerkiksi luokkaa 21 vuotta vesikiertoiseen suoraan sähkölämmitykseen verrattuna.
 - Lämmitysenergiankulutuksella 77 kWh/m² takaisinmaksuaika laskee vastaavasti noin 13 vuoteen.
- Aluetason energiajärjestelmissä on havaittavissa samankaltainen kannattavuuden parantuminen.
 - Lämmitysenergiankulutuksella 77 kWh/m² kaikkien aluetason energiaratkaisujen takaisinmaksuaika referenssi-ratkaisuun verrattuna on enintään 24 vuotta, korttelikohtaisella ratkaisulla noin 20 vuotta.
 - Suurempitehoisen lämpöpumppujärjestelmän (110 kW vs. 55 kW) kannattavuutta parantaa suhteessa lämpöpumppujen parempi hyötysuhde: COP - parannus isompitehoisessa versiossa noin +0,5.
- Aluetason ratkaisuista paras kannattavuus saavutetaan korttelikohtaisilla energiajärjestelmillä.
 - Korttelikohtaisten ratkaisujen edut aluetason järjestelmään verrattuna ovat pienemmät lämmönsiirtoputkiston häviöt, pienemmät investointikustannukset alueverkostoon ja kertaluokkaa pienemmät lämpöpumppujärjestelmät, jolloin investointikustannukset pysyvät jonkin verran pienempinä.

Energiaratkaisujen elinkaarikustannusvertailu

Vaihtoehtojen elinkaarikustannusvertailu

- Pienimmät vuosittaiset ja elinkaaren aikaiset huoltokustannukset saavutetaan rakennuskohtaisilla ratkaisuilla, joilla kustannukset koostuvat yksittäisten lämpöpumppujärjestelmien kertahuolloista. Vuosittaisia huoltotoimenpiteitä ei velvoiteta tekemään.
 - Korttelikohtaisissa lämpöpumppuratkaisuissa vuosittaisia huoltotoimenpiteitä ei lain mukaan velvoiteta tekemään, mutta toimintavarmuuden takaamiseksi vuosihuolto joudutaan käytännössä tekemään. Arvio korttelikohtaisesta vuosihuollon kustannuksesta on noin 200 €/kortteli.
 - Keskitettyä lämpöpumppujärjestelmää tulee lain mukaan huoltaa lämpöpumpun huolto-ohjelman mukaisesti. Arvio keskitetyn lämpöpumppujärjestelmän vuosihuollon kustannuksista on 800 – 1000 €.
- Aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuus aluelämpöjärjestelmän yhteydessä osoittautui heikoksi.
 - Yksi merkittävä haste liittyy pitkään putkivetoon aurinkokeräimiltä lämmönjakokeskukselle, mikä kasvattaa lämpöhäviöitä ja investointikustannuksia. Lämpöhäviöitä kasvattavat myös korkeahko lämmönsiirtonesteen lämpötilataso varaajan ja aurinkokeräimien välillä (esimerkiksi 30 – 40 °C).
 - Paras kannattavuus saavutettaisiin rakennuskohtaisilla järjestelmillä, joilla esilämmitetään käyttövettä matalassa lämpötilatasossa. Rakennuskohtaisten järjestelmien haasteena havaittiin kuitenkin metsäisen tontin varjostukset.
 - Toinen haste liittyy aurinkolämmön varastointiin ja jo muutenkin pieneen lämmitysenergiankulutukseen kesällä. Tehtyjen simulointien perusteella havaittiin, että aurinkolämmön tehokas hyödyntäminen edellyttää vähintään 8 m³ kokoisen vesivaraajan (esimerkiksi 4 kpl 2 m³ varaajaa) lämmönjakokeskuksessa ja keräinpinta-alaa luokkaa 100 m². Keräinpinta-alan kasvattaminen ei merkittävästi paranna aurinkolämmön hyödynnettävyyttä.

Energiaratkaisujen elinkaarikustannusvertailu

Vaihtoehtojen elinkaarikustannusvertailu

- Aurinkolämpöjärjestelmällä saavutettava hyöty ostoenergiankulutuksen pienentämiseksi on keskitetyn lämpöpumppujärjestelmän yhteydessä niin pieni, että järjestelmää ei voida suositella elinkaarikustannusnäkökulmasta.
 - Järjestelmästä saatavat hyödyt korostuvat vasta suuremman kokoluokan energiajärjestelmissä, joissa on enemmän energiakaivoja, joihin hyödyntämätöntä aurinkolämpöä voidaan ladata.
 - Aurinkolämpöä hyödyntävä lämpöpumppujärjestelmä on suositeltavaa perustaa energiakaivoihin, jotta latauslämpöä voidaan tehokkaasti hyödyntää. Vaakakeruuputkiston yhteydessä latauslämmön hyödyntäminen ei ole mielekästä isoista lämpöhäviöistä johtuen.
- Lataus ulkoilman avulla ei ole kustannustehokas ratkaisu pienessä alueverkossa mutta isommassa mittakaavassa ratkaisu on perusteltu lisäinvestoinneista huolimatta.
- Kokonaan keskitettyjen energiajärjestelmien osalta järvilämpö osoittautui niukalla marginaalilla kustannustehokkaimmaksi järjestelmäksi.
 - Järvilämpöön liittyy kuitenkin toteutettavuuteen liittyviä epävarmuuksia: Miten kauas rannasta lämmönsiirtoputket joudutaan viemään, jotta vähimmäissyvyys 2 metriä saavutetaan? Todelliset elinkaarikustannukset voivat siis hyvin asettua samaan tasoon maalämpöjärjestelmän kanssa.
- Lämpöhäviöiden minimoimiseksi aluetason ratkaisuissa olisi suositeltavaa käyttää yhdistettyä lämmönsiirtoputkistoa (Mpuk), joka sisältää sekä meno- että paluuputket samassa eristetyssä putkessa. Ratkaisu on myös taloudellisempi erillisputkiin verrattuna pienessä alueverkossa.

Energiaratkaisujen elinkaarikustannusvertailu

Viilennysratkaisujen hyödynnettävyys rakennuskohtaisesti ja aluetasolla

- Tilajäähditys rakennuksiin voidaan kustannustehokkaasti toteuttaa vain rakennuskohtaisesti, hyödyntämällä vapaajäähditysenergiaa rakennuskohtaisesta energiakaivosta.
 - Painovoimaisen ilmanvaihdon yhteydessä jäähdytys voidaan toteuttaa esimerkiksi puhallinpatterin avulla, jonka kautta viileää keruunestettä kierrätetään energiakaivosta. Jäähdytysratkaisun toimivuus edellyttää, että puhallinpatteri sijoitetaan keskeiselle sijainnille asunnossa.
 - Rakennuskohtaisella viilennysratkaisulla ei ole merkittävää vaikutusta energiakaivon mitoitukseen koska latausenergia on hyvin pieni maasta kerrättävään lämpöenergiaan verrattuna.
- Alue- tai korttelitaso ratkaisujen yhteydessä viilennysratkaisut edellyttävät erillistä jäähdytyskäyttöön tarkoitettua alue- tai korttelitaso putkiverkostoa.
 - Ratkaisu on toteutettavissa, mutta kustannustehokkuuden kannalta ratkaisua ei voida suositella. Korttelitasolla viilennysratkaisun kustannustehokkuus paranee, mutta rakennuskohtaisen viilennysratkaisuun verrattuna investointikustannukset ovat korkeat.
 - Aluetasolla jäähdytysenergiaa voidaan hyödyntää tehokkaammin energiakaivojen lataukseen, mutta pienestä latausenergiasta saatava hyöty energiakaivojen mitoitukseen ja sitä kautta investointikustannuksiin on silti hyvin pieni.

YHTEYSTIEDOT

Sami Sihvonen

Sami.Sihvonen@granlund.fi

p. 040 631 0025

Niklas Söderholm

Niklas.Soderholm@granlund.fi

p. 044 357 4375

Laskennan lähtötiedot ja tarkentavat yksityiskohdat

- Elinkaarikustannuslaskennan lähtötiedot
- CO₂-päästökertoimet
- Alueverkoston lämpöhäviöt
- Lämpöpumpun keruunesteen lämpötila vuoden aikana maalämpö- ja järvilämpöratkaisujen yhteydessä

Elinkaarikustannuslaskennan lähtötiedot

Elinkaarikustannuslaskennan lähtötiedot, kaikki esitetyt hinnat ovat alv. 0 %

- Tarkasteluajanjakso: 25 vuotta
- Investoinnin tuotto-odotus: 3 %
- Sähköenergian hinnan nousuvaraus +3 % (keskimääräinen vuosikorotus)
- Sähköenergia:
 - Kokonaishinta, vaihtoehto 1: 88,7 €/MWh kiinteä hinnoittelu koko vuoden ajalta
 - Kokonaishinta, vaihtoehto 2: Muuttuva Spot –hintaan pohjautuva hinnoittelu eri vuoden aikoina
 - Laskelmissa käytetty sähköenergian kokonaishinta sisältää energia- ja siirtomaksut sekä sähköveron
 - Vaihtoehto 1: Sähköenergian hintana on käytetty Suomen alueen keskimääräistä Spot –hintaa, 49,1 €/MWh vuosien 2018 – 2020 aikana
 - Vaihtoehto 2: Sähköenergian hintana on käytetty kuukausikohtaisia keskimääräisiä Spot –hintoja vuosien 2018 – 2020 aikana: kuukausikohtaisen Spot –hinnan vaihteluväli 40,5 €/MWh – 59,9 €/MWh
 - Sähköenergian siirtomaksu on Kymenlaakson Sähkön mukaan 19,4 €/MWh yleissähkölle
- Perusmaksu:
 - Rakennuskohtaiset sähköliittymät, referenssiratkaisu sähkökattilalla ja rakennuskohtaiset maalämpöratkaisut 16,3 €/kk
 - Korttelikohtaisten maalämpöratkaisujen perusmaksut 3 x 45,7 €/kk (lisäkustannus koko aluetasolla)
 - Keskitetyn lämpöpumppuratkaisun perusmaksu 106,5 €/kk (lisäkustannus koko aluetasolla)
- Liittymishinta (vaikutus investointikustannuksiin):
 - Korttelikohtaisen maalämpöratkaisun yhteydessä tarvitaan 3 kpl (3x 50 A) lisäsähköliittymää, joiden yhteenlaskettu lisäkustannus on noin 16 200 € rakennuskohtaisiin ratkaisuihin verrattuna.
 - Keskitetyn lämpöpumppuratkaisun yhteydessä tarvitaan 1 kpl (3x 80 A) lisäsähköliittymä, jonka lisäkustannus on noin 8 700 €.

CO₂ -päästökertoimet

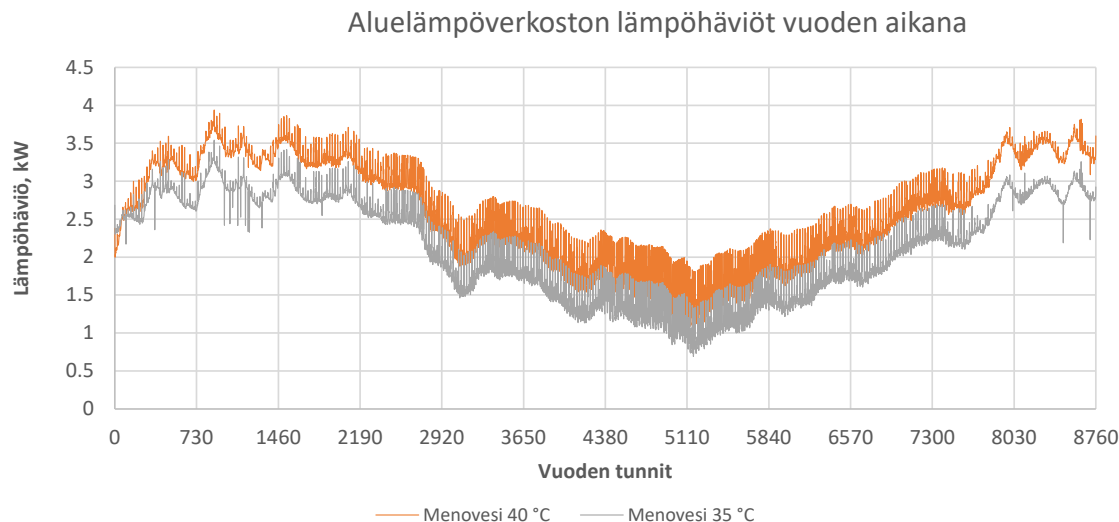
Elinkaarilaskennan lähtötiedot

- Elinkaarilaskennassa käytettiin sähköenergian CO₂ -päästökertomina vuoden 2020 sekä tulevaisuuden vuosien 2030 ja 2040 ennustettuja keskiarvoja -> huomioitu sähköntuotannon päästöjen kehittyminen tarkastelujaksolla.
- Tarkasteluajanjakson keskimääräinen CO₂ -päästökerroin sähköenergialle on 69 kg/MWh
- Päästökertoimet pohjautuvat Ympäristöministeriön rakennusten vähähiilisyyden arviointimenetelmään, liite 4.

Alueverkoston putkisto

Elinkaarilaskennan lähtötiedot

- Alueverkoston lämmönsiirtoputkiston mallinnus pohjautuu yhdistettyyn meno- paluuputkeen (Mpuk), jolla saavutetaan pienissä järjestelmissä parempi kustannustehokkuus ja pienemmät lämpöhäviöt erillisputkiin verrattuna (2Mpuk).
 - Järjestelmätasolla keskitetyn alueverkoston lämpöhäviöitä on havainnollistettu alla olevassa kuvassa kahdella verkoston lämpötilatasolla 40 °C (laskennoissa käytetty taso) ja 35 °C. Tarkastelun kohteena olevan lämmönsiirtokanaalin kokonaispituus on noin 330 metriä.

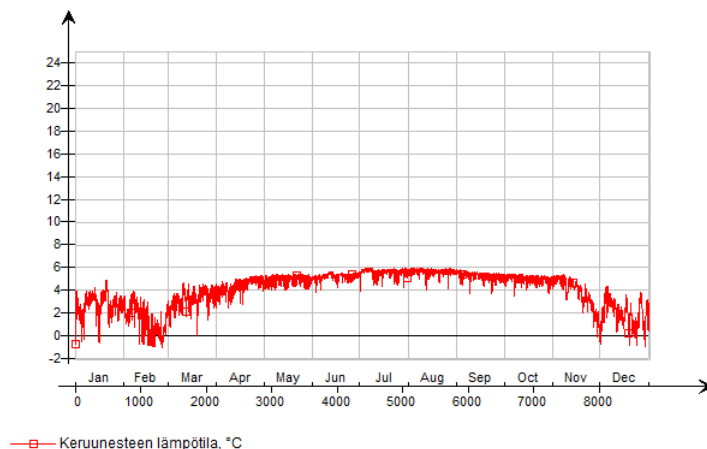


- Alueverkoston lämpöhäviöt suhteutettuna alueen nettolämmöntarpeeseen ovat laskennoissa käytetyllä 40 °C menoveden lämpötilalla noin 23 MWh.
 - Laskennoissa käytetyllä kiinteistökohtaisella lämmöntarpeella 39 kWh/m² (78 MWh), verkoston lämpöhäviön osuus on noin 29 %.
 - Tuplasti korkeammalla lämmöntarpeella, noin 77 kWh/m² lämpöhäviön osuus olisi noin 15 %.

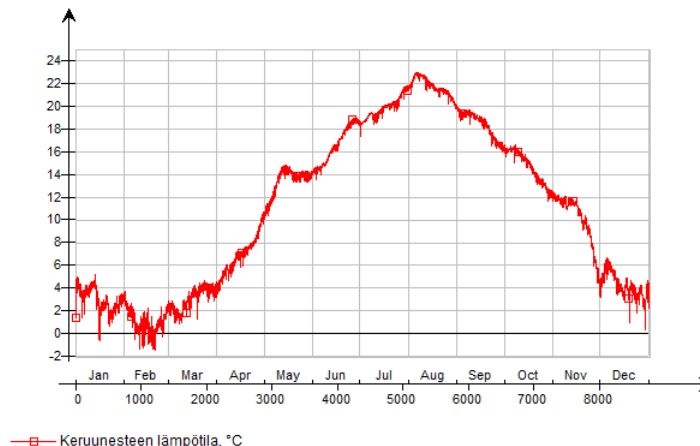
Alueverkoston putkisto

Lämpöpumpun toiminta maalämpö- ja järvilämpöratkaisuissa

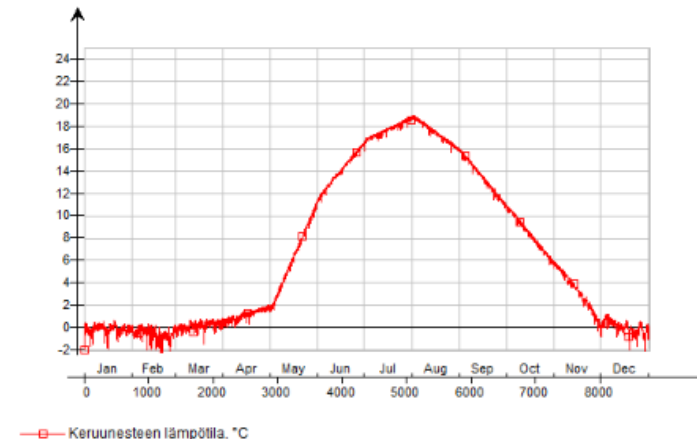
Energiakaivot ilman latausta



Vaakakeruuputkisto



Järvilämpö



Energiakaivot + lataus 100 m² aurinkokeräimistä

