

samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

SUSANNA HAKALA

Tehtaan energiaratkaisujen arviointi

Ehdotuksia energiatehokkuuden
parantamiseen

ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN
TUTKINTO-OHJELMA
2026

TIIVISTELMÄ

Hakala, Susanna: Tehdashallin energiaratkaisujen arvionti, ehdotuksia energiatehokkuuden parantamiseen

Opinnäytetyö, AMK

Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Helmikuu 2026

Sivumäärä: 42

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin Polartherm Oy:n teollisuuskiinteistön energiatehokkuuden parantamismahdollisuuksia keskittyen aurinkosähkön hyödyntämiseen, hukkalämmön talteenottoon lämpöpumppuratkaisulla sekä e-metaanin soveltavuuteen lämmitysenergian vaihtoehtona. Työn taustalla olivat energiajärjestelmän murros, kiristyvät ilmasto- ja energiatavoitteet sekä tarve vähentää fossiilisiin polttoaineisiin perustuvaa lämmitystä. Työn tavoitteena oli arvioida, miten vähäpäästöisiä ja uusiutuvia energiaratkaisuja voidaan soveltaa teollisuusympäristössä teknisesti ja taloudellisesti perustellulla tavalla.

Työssä analysoitiin yrityksen energiankulutuksen rakennetta ja tarkasteltiin eri energiaratkaisujen soveltuvuutta käytettävissä olevien lähtötietojen ja laskennallisten arvioiden perusteella. Aurinkosähkön tuotantopotentiaalia arvioitiin suhteessa kiinteistöjen sähkönkulutukseen, ja hukkalämmön hyödyntämistä tarkasteltiin lämpöpumppujen näkökulmasta. Tulosten perusteella aurinkosähkön hyödyntäminen tarjoaa mahdollisuuden vähentää kohteen ostoenergian tarvetta ja parantaa energiankäytön kustannustehokkuutta. Lämpöpumppuratkaisut näyttävät tarkastelun perusteella potentiaalisina vaihtoehtoina lämmitysjärjestelmän kehittämiseksi erityisesti energiatehokkuuden näkökulmasta. Lisäksi e-metaania voidaan pitää pitkän aikavälin vaihtoehtona fossiilisten polttoaineiden korvaamiseen tilanteissa, joissa suora sähköistäminen ei ole teknisesti tai taloudellisesti tarkoituksenmukaista.

Avainsanat: Hukkalämpö, e-metaani, aurinkosähkö, päästövaikutus

ABSTRACT

Hakala, Susanna: Industrial Hall Energy Review, Development Proposals for Improving Energy Efficiency

Bachelor's thesis

Energy and environmental engineering

February 2026

Number of pages: 42

This bachelor's thesis examined ways to improve the energy efficiency of an industrial facility owned by Polartherm Oy. The study focused on the use of solar power, the utilization of waste heat with heat pump solutions, and the potential of e-methane as an alternative heating energy source. The background of the study was the ongoing transition of the energy system, stricter climate and energy targets, and the need to reduce the use of fossil fuels in heating. The objective was to assess how low-emission and renewable energy solutions can be applied in an industrial setting in a technically and economically feasible way.

The structure of the company's energy consumption was analyzed, and different energy solutions were evaluated based on available data and calculation-based estimates. The potential of solar power was examined in relation to the electricity consumption of the facility, while waste heat utilization was assessed from the perspective of heat pump technologies. The results indicated that the utilization of solar power can reduce the demand for purchased electricity and improve cost efficiency, while heat pump solutions were identified as potential options for improving energy efficiency depending on site-specific conditions. In addition, e-methane was identified as a possible long-term alternative to fossil fuels in applications where direct electrification is not feasible.

Keywords: waste heat, e-methane, solar power, emission impact

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 ILMASTO- JA ENERGIAPOLIITTINEN TOIMINTAYMPÄRISTÖ.....	5
2.1 Euroopan unionin ilmasto- ja energiapolitiikka	5
2.2 Energiajärjestelmän murros ja infrastruktuurin merkitys	6
2.3 Alueellinen ja paikallinen konteksti	7
2.4 Energiakatselmuksen periaatteet	8
3 UUSIUTUVAT JA VÄHÄPÄÄSTÖISET ENERGIARATKAISUT.....	8
3.1 Aurinkosähkö teollisuudessa	8
3.2 Suurtehoiset pumput	9
3.3 Kaukolämpö vaihtoehtona	10
3.4 E-metaanin mahdollisuuksia.....	11
4 LÄHTÖTIEDOT.....	14
5 TULOKSET	18
5.1 Eurajoen kunnan toimintaympäristö	18
5.2 Päästövaikutusten arviointiperusteet ja standardit	22
5.3 Aurinkosähkön potentiaali	25
5.4 Lämpöpumppujen potentiaali	25
5.5 Hukkalämmön hyödyntäminen ORC-teknologialla	27
5.6 Kaukolämpö ja e-metaani vertailuvaihtoehtona.....	32
5.6.1 Kaukolämpö.....	32
5.6.2 E-metaani	32
6 ANALYYSI JA KUSTANNUSRAKENNE.....	33
6.1 Energiansäästöpotentiaali	33
6.2 Investointikustannukset ja takaisinmaksuaika	34
7 KEHITYSEHDOTUKSET	36
7.1 Suositeltu ratkaisu	36
7.2 Toteutettavuuden arviointi	36
8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	38
LÄHTEET.....	40

1 JOHDANTO

Energiatehokkuutta edistävä katselmointi auttaa yritystä tunnistamaan energiankäytön ongelmakohdat ja tehostamismahdollisuudet. Katselmuksissa analysoidaan rakennusten ja prosessien kokonaisenergiankäyttöä, arvioidaan säästöpotentiaalia ja esitetään konkreettisia toimenpide-ehdotuksia, jotka voivat tuoda merkittäviä kustannus- ja päästövähennyksiä.

Työ- ja elinkeinoministeriön tukema energiakatselmustoiminta on ollut laajasti käytössä, ja suurin osa teollisuuden katselmuksista on osoittanut merkittäviä säästömahdollisuuksia. Lisäksi ELY-keskukset ja Työ- ja elinkeinoministeriö voivat myöntää tukea katselmuksiin sekä niiden pohjalta tehtäviin energiatehokkuusinvestointeihin, jos ne täyttävät ohjelmien kriteerit. Katselmuksissa esiin tulevat säästöpotentiaalit, takaisinmaksuajat ja kustannusarviot arvioidaan tapauskohtaisesti, ja ne muodostavat perustan yrityksen energiatehokkuuden pitkäjänteiselle kehittämiselle (Energiavirasto, n.d.).

2 ILMASTO- JA ENERGIAPOLIITTINEN TOIMINTAYMPÄRISTÖ

2.1 Euroopan unionin ilmasto- ja energiapolitiikka

EU kiristi ilmasto- ja energiavoitteitaan merkittävästi, kun komissio esitti vuonna 2020 kasvihuonekaasujen nettopäästöjen vähentämistä vähintään 55 %:lla vuoteen 2030 mennessä vuoden 1990 tasosta. Tavoitteen saavuttamiseksi laadittiin laaja Fit for 55-valmiuspaketti, joka uudistaa päästökauppaa, laajentaa sen soveltamisalaa meriliikenteeseen sekä luo erillisen päästökaupan tieliikenteelle ja rakennusten lämmitykselle (Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2022, s.16-18). Taakanjakosektorin päästövähennyskiristys nousee

40 %:iin, ja Suomi kuuluu tiukimpien velvoitteiden maihin. Samalla uusiutuvan energian direktiivin (RED III) tavoitetaso nostetaan 40–45 %:iin ja energiatehokkuusdirektiivin velvoitteet kiristyvät siten, että EU-tason energian loppukäyttöä tulee vähentää 36–39 %. Suomessa tämä tarkoittaa, että vuoden 2030 energian loppukäyttö rajataan enintään 239–250 TWh tasolle (Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2022, s.17). Kokonaisuutena paketti sisältää muutoksia verotukseen, liikenteen puhtaisiin polttoaineisiin, hiilirajamekanismin (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM) käyttöönoton ja kasvavat seurantavelvoitteet, ja sen lainsäädäntö on tarkoitus tulla voimaan vaiheittain vuodesta 2023 alkaen (Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2022, s.17-18).

2.2 Energiajärjestelmän murros ja infrastruktuurin merkitys

Energiateollisuuden (n.d.) mukaan kilpailukykyisen ja luotettavan energian saatavuus on keskeinen tekijä Euroopan taloudellisen kilpailukykyyn ja teollisen toiminnan kannalta. Suomen energiajärjestelmä osoittaa, että toimivilla markkinoilla on mahdollista yhdistää kohtuullinen energian hinta, toimitusvarmuus ja päästöjen vähentäminen. Euroopan unionin rakenteellisen kilpailukykyyn vahvistamiseksi on tarpeen luoda selkeä ja ennakoitava siirtymä pois kriisiajan energiapoliittisista poikkeustoimista.

Toimiva energiainfrastrukturi on edellytys puhtaan energian hyödyntämiselle, sillä ilman riittäviä siirto- ja jakeluverkkoja tuotanto ei kohtaa loppukäyttäjiä. Energiajärjestelmä on myös rakenteellisesti muuttumassa: perinteisen keskitetyn tuotannon sijaan järjestelmästä on kehittymässä hajautetumpi ja joustavampi kokonaisuus, joka perustuu useisiin eri tuotantomuotoihin ja edellyttää kuluttajien aktiivisempaa roolia markkinoilla. Tämän kehityksen myötä sähkön, lämmön ja vedyn kaltaisten energiamuotojen yhteensovittaminen korostuu (Energiateollisuus, n.d.).

Rakennusten lämmityksen päästövähennysten toteutumista hidastaa monin paikoin vaihtoehtoisen infrastruktuurin puutteellisuus, erityisesti kaukolämmön ja sähkön osalta. Vaihtoehtoiselle lämmitysinfrastruktuurille tulisi asettaa selkeät kehittämistavoitteet, ja jäsenvaltioiden tulisi varmistaa, että

kiinteistönomistajilla ja loppukäyttäjillä on tosiasialliset mahdollisuudet siirtyä vähäpäästöisiin lämmitysratkaisuihin (Energiateollisuus, n.d.).

Rakennusten energiankäyttöä ja lämmitystä koskevaa sääntelyä leimaa tällä hetkellä osin hajanaisuus, mikä vaikeuttaa kokonaisuuden hallintaa. Sääntelyn yksinkertaistaminen ja selkeämpien ohjaavien tavoitteiden painottaminen voisivat edistää investointien toteutumista. Rakentamisen energiatehokkuutta koskevassa sääntelyssä tulisi ensisijaisesti keskittyä teknologianeutraaleihin kriteereihin, kuten elinkaaripäästöihin ja energijärjestelmän joustavuuteen, yksittäisten teknisten ratkaisujen ohjaamisen sijaan (Energiateollisuus, n.d.).

2.3 Alueellinen ja paikallinen konteksti

Ohjaavien ministeriöiden ja Satakunnan Elinkeino-, liikenne-, ja ympäristökeskus (ELY) välisessä tulossopimuksessa vuosille 2025–2028 asetetaan tavoitteeksi, että vuoteen 2026 mennessä Satakunnan elinkeinorakenne on kehittynyt aiempaa monipuolisemmaksi ja kilpailukykyisemmäksi. Yritystoiminnan uudistumista tuetaan hyödyntämällä monipuolisesti EU:n rahoitusinstrumentteja, kuten EAKR- ja ESR+-rahoitusta, sekä Porin seudun innovaatioekosysteemyhteistyötä (ELY-keskus, 2025, s. 11).

Rahoituksen ja kehittämistoimenpiteiden tavoitteena on uusien yritysten ja työpaikkojen syntyminen sekä olemassa olevien työpaikkojen säilyttäminen ja osaamistason vahvistaminen. Erityisesti yritysten tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiopanostusten kasvua pidetään keskeisenä, ja painopisteitä ovat puhdas siirtymä, datatalous sekä kestävät energiaratkaisut. Investointien vetytalous, kiertotalousinnovaatioihin ja puhtaaseen energiaan arvioidaan etenevän kohti toteutusta tulevana vuosina. Lisäksi yhteistyötä maakunnan liiton ja muiden alueellisten toimijoiden kanssa jatketaan uusien liiketoimintaekosysteemien ja puhtaan siirtymän investointien edistämiseksi (ELY-keskus, 2025, s. 11).

Eurajoki osallistuu aktiivisesti kuntien väliseen ilmastoyhteistyöhön hyödyntämällä valtakunnallisia ilmastotyön verkostoja. Kunta on mukana Hinku-verkostossa, jota koordinoi Suomen ympäristökeskus, sekä tuulivoimakuntien

verkostossa, jota ylläpitää Suomen tuulivoimayhdistys. Lisäksi Eurajoki on sitoutunut kunta-alan energiatehokkuussopimukseen (KETS), jonka tavoitteena on edistää energiatehokkuuden parantamista kunnan toiminnoissa (Eurajoen kunta, FCG, 2024, s. 27).

Hinku-verkoston tavoitteet eivät aseta suoria velvoitteita yksityisten yritysten omistamille teollisuuskiinteistöille. Tehdashallien öljylämmitykseen vaikuteetaan kuitenkin välillisesti kuntatason ilmastopolitiikan, energiatehokkuustoitien, neuvonnan sekä investointeja ohjaavien kannustimien kautta.

2.4 Energiakatselmuksen periaatteet

Energiatehokkuuslain (1429/2014, 2 luku § 4 mom.) mukaan yrityksen energiakatselmus on järjestelmällinen menetelmä, jonka avulla saadaan kattava kuva yrityksen tai konsernin energiankulutusprofiilista ja tunnistetaan kustannustehokkaat mahdollisuudet energiansäästöön. Katselmuksessa tarkastellaan kaikkia merkittäviä energiankäytön kohteita, kuten rakennuksia, teollisia prosesseja, palvelutoimintoja ja liikennettä

Luotettavan kokonaiskuvan varmistamiseksi energiakatselmukseen sisällytetään myös riittävä määrä erillisiä kohdekohtaisia katselmuksia, joiden avulla voidaan todentaa yrityksen merkittävimmät energiatehokkuuden parantamismahdollisuudet ja määrittää säästöjen suuruus (Energiatehokkuuslaki 1429/2014, 2 luku § 4 mom.).

3 UUSIUTUVAT JA VÄHÄPÄÄSTÖISET ENERGIARATKAISUT

3.1 Aurinkosähkö teollisuudessa

Mitoituksessa lähtökohtana käytetään Polarthermin kiinteistön pohjakulutusta, eli sitä vähimmäismäärää sähköä, jonka tehdas ja sen laitteet kuluttavat joka

tunti. Tuntikohtaiset kulutustiedot voidaan hakea jakeluverkkoyhtiöltä, ja niiden avulla nähdään selvästi, millainen kulutus on silloin, kun tuotanto tai lämmitys ei ole huipussaan.

Tuotannon vaihtelut on huomioitava erityisesti teollisuuskohteessa, jossa kulutus vaihtelee työvuorojen, laitekäytön ja vuodenaikojen mukaan. Optimaalinen järjestelmä mitoitetaan niin, että aurinkoisen kauden ylimääräistä tuotantoa voidaan myydä verkkoon, mutta mahdollisimman paljon tuotetusta energiasta pystytään hyödyntämään itse. Tätä voidaan tehostaa automaation avulla, esimerkiksi sähkölaitteiden, ilmanvaihdon tai lämpöpumppujen käyttöä voidaan ajoittaa päiväsaikaan, jolloin paneelit tuottavat eniten. Hyvä automaatio minimoi verkkoon myytävän sähkön määrän ja parantaa investoinnin kannattavuutta.

Polarthermin tapauksessa kulutustietojen tarkastelu aloitetaan selvittämällä Luvian tehtaan tunti- ja kuukausikulutus. Tehtaiden kulutus vaihtelee erityisesti lämmityskauden mukaan, sillä tuotantotiloja lämmitetään öljylämmityksen lisäksi lämpöpumpuilla ja ilmanvaihdon lämmityksellä. Talvikuukausina sähkönkulutus nousee huomattavasti lämmityksen ja tuotannon kuormituksen vuoksi, kun taas kesällä kulutus on selvästi pienempi. Tästä syystä aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa huomioidaan erityisesti talven peruskulutus sekä kesän tuotanto, jotta järjestelmästä saadaan paras mahdollinen hyöty Polarthermin kiinteistöille.

3.2 Suurtehoiset pumput

Suurtehoisten pumppujen sekä niitä palvelevien lämmitys- ja jakelujärjestelmien kustannusvaikutusten arviointi edellyttää huolellista esisuunnittelua. Monissa kohteissa on tarpeen selvittää ja yhteensovittaa myös vanhojen järjestelmien tekniset tiedot, sillä teollisuuslaitoksissa järjestelmät on usein rakennettu eri ajankohtina ja erilaisilla mitoituseriaahteilla.

Erityisesti vanhoissa teollisuuskiinteistöissä mahdolliset lämpötilatason muutokset vaikuttavat usein laajemmin kuin pelkästään tarkasteltavaan prosessiin.

Laajoja tehdaskiinteistöjä palvelevat lämmitysjärjestelmät edellyttävät verkoston toiminnan perusteellista analysointia, jotta lämpötilatason alentaminen tai pumppujen käyttöolosuhteiden muuttaminen ei aiheuta häiriöitä kiinteistön muissa osissa tai rinnakkaisissa prosesseissa. Suurtehoisten pumppujen osalta tämä korostaa oikean mitoituksen, säätöjen ja kokonaisjärjestelmän toiminnan merkitystä energiatehokkuuden parantamisessa (Motiva, 2024, s. 56 selvitysraportti)

3.3 Kaukolämpö vaihtoehtona

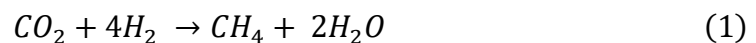
Kaukolämpö kehitty nopeasti kohti entistä puhtaampaa ja energiatehokkaampaa lämmitysmuotoa, sillä sen tuotannosta jo yli puolet on ilmastoneutraalia ja päästöt ovat puolittuneet viimeisen kymmenen vuoden aikana. Energiatehokkuus paranee, kun kaukolämpöverkostojen ja kiinteistöjen lämmönjakokeskusten lämpötiloja lasketaan, mikä mahdollistaa tehokkaamman uusiutuvan energian, hukkalämpöjen ja lämpöpumppujen hyödyntämisen tuotannossa.

Motivan (2022) mukaan lämmönjakokeskus on asiakkaan rajapinta kaukolämpöön, ja sen elinkaari on noin 20–25 vuotta, minkä vuoksi sen uusiminen kannattaa tehdä suunnitelmallisesti ja samalla parantaa rakennuksen lämmönjakoa ja energiatehokkuutta. Kaukolämpöjärjestelmä on polttoainejoustava ja pystyy hyödyntämään sekä bioenergiaa että teollisuuden ja kaupunkien hukkalämpöjä, mutta se mukautuu myös tilanteisiin, joissa fossiilisia polttoaineita tarvitaan tilapäisesti toimitusvarmuuden varmistamiseksi. Kokonaisuutena kaukolämpö tarjoaa asiakkailleen helppokäyttöisen, luotettavan ja yhä vähäpäästöisemmän lämmitysjärjestelmän, joka on tärkeä osa Suomen monipuolista ja kehittyvää energiantuotantoa.

3.4 E-metaanin mahdollisuuksia

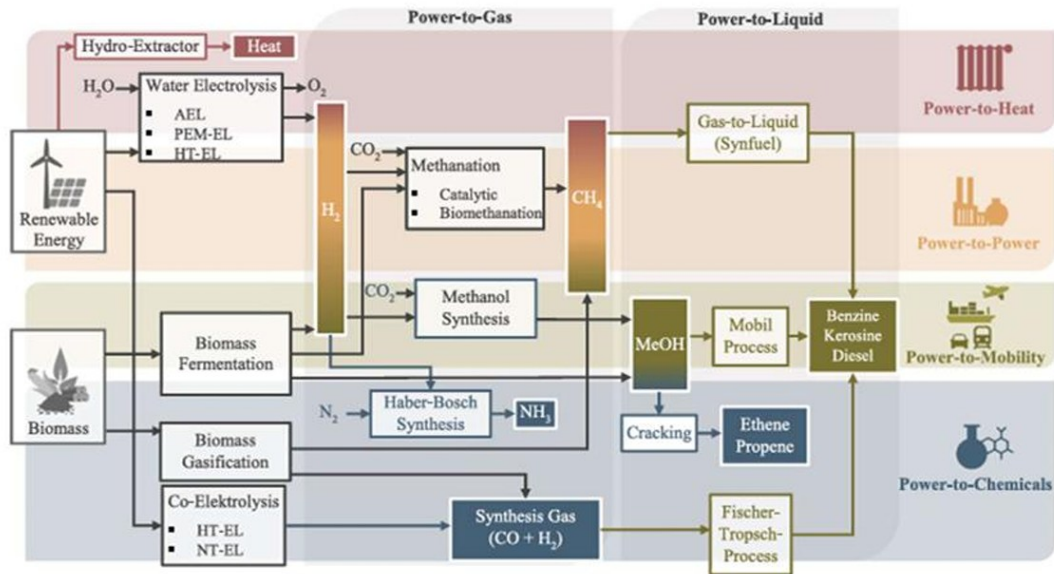
Metanoinnissa hiilidioksidi ja vety reagoivat keskenään muodostaen metaania. Prosessi voidaan toteuttaa joko kemiallisesti katalyyttisesti, tyypillisesti nikkelipohjaisen katalyytin avulla, tai biologisesti mikro-organismien avulla. Kemiallisen metanoinnin hyötysuhde voi parhaimmillaan nousta noin 80 prosenttiin, ja hukkalämmön hyödyntäminen parantaa prosessin kokonaistehokkuutta (Karelia, n.d.)

E-metaanin tuotanto teknologiana perustuu Sabatier-reaktioon, jossa vety ja hiilidioksidi yhdistyvät metaaniksi katalyytin vaikutuksesta (kaava 1). Reaktiossa hiilidioksidi (CO₂) reagoi vedyn (H₂) kanssa muodostaen metaania (CH₄) ja vettä (H₂O).



E-metaanin valmistus perustuu kolmeen keskeiseen vaiheeseen: vedyn tuotantoon, hiilidioksidin talteenottoon ja metanointiin. Hiilidioksidin talteenottoon käytetään useita teknologioita, kuten savukaasujen jälkikäsittelyyn perustuvaa absorptiota sekä esipoltt- ja happipolttomenetelmiä.

E-metaanin tuotanto perustuu uusiutuvalla sähköllä toteutettuun veden elektrolyysiin, jossa syntynyt vety yhdistetään hiilidioksidin kanssa metanointiprosessissa. Hiilidioksidi voidaan ottaa talteen esimerkiksi teollisuuden päästövirroista tai biokaasulaitoksista, jolloin e-metaanin tuotanto edistää hiilen kiertoa ja vähentää nettopäästöjä. Kuva 1 esittää e-metaanin tuotannon osana laajempaa Power-to-X-kokonaisuutta, jossa eri teknologiat, kuten metanointi, metanolisynteesi ja synteetikaasun tuotanto, kytkeytyvät toisiinsa. Tämä havainnollistaa, että e-metaanin tuotanto ei ole erillinen prosessi, vaan se voidaan integroida muihin energian ja kemikaalien valmistusketjuihin (Eggers ym., 2021, s.3-4).

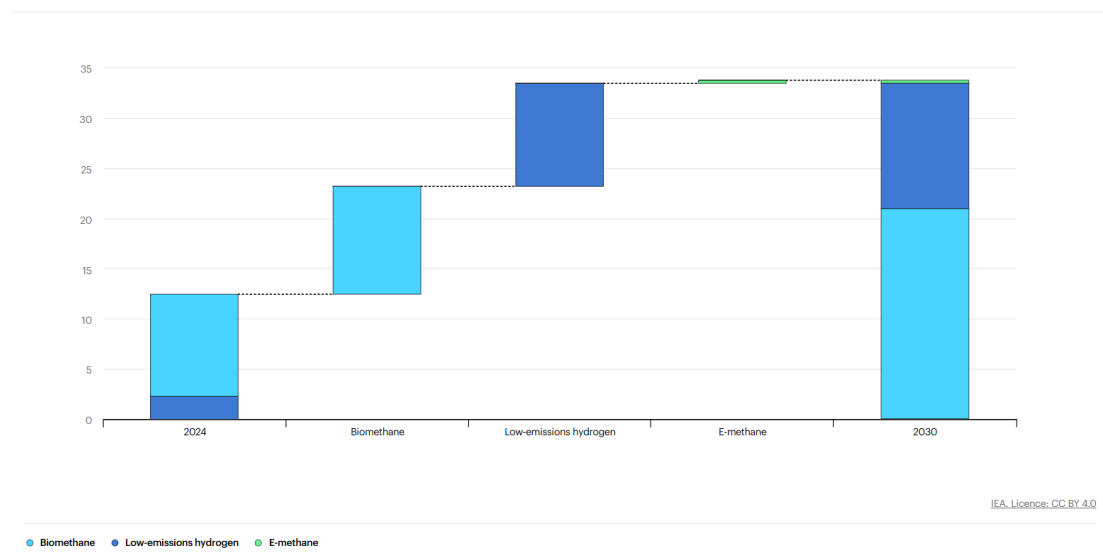


Kuva 1. E-metaanin prosessi (Eggers ym., 2021, s.4)

E-metaani tarjoaa tulevaisuudessa merkittävän mahdollisuuden korvata fossiilista maakaasua sekä teollisissa prosesseissa, että energiantuotannossa. Energia-ala käy läpi merkittävää muutosta, kun fossiilisia polttoaineita korvataan vähäpäästöisillä vaihtoehdoilla. Merkittävä etu on se, että e-metaani on kemiallisesti identtinen maakaasun kanssa. Tämän ansiosta sitä voidaan hyödyntää olemassa olevissa polttolaitteissa, varavoimalaitoksissa sekä kaasuinfrastruktuurissa ilman merkittäviä teknisiä muutoksia, mikä tekee e-metaanista yhden teknisesti kypsimmistä synteettisistä polttoaineista (Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2022, s. 183–191).

Pidemmillä etäisyyksillä vetyä voidaan kuljettaa nesteytettynä (LH₂), mikä edellyttää erittäin alhaisia lämpötiloja, tai kemiallisina kantajina, kuten ammoniakina tai nestemäisiin orgaanisiin yhdisteisiin sitoutuneena. Näin vety voidaan toimittaa tuotantolaitoksilta e-metaanin tuotantopaikoille, joissa se yhdistetään hiilidioksidin kanssa metanointiprosessissa (Intergovernmental Panel on Climate Change, IEA, 2019). Hallitusten välinen ilmastonmuutospaneeli (IPCC, 2024, s. 14–15) korostaa, että hiilidioksidin talteenoton laajamittainen käyttöönotto on välttämätöntä nettonollatavoitteiden saavuttamiseksi, mutta sen yleistyminen edellyttää kustannusten alentumista sekä infrastruktuurin kehittämistä.

Vähäpäästöisten kaasujen tuotannon ennustetaan kasvavan voimakkaasti vuoteen 2030 mennessä, mutta niiden osuus globaalista kaasumarkkinasta jää edelleen pieneksi. Kuva 2 perusteella vähäpäästöisten kaasujen tuotannon arvioidaan kasvavan merkittävästi vuoteen 2030 mennessä, erityisesti biometaanin ja vähäpäästöisen vedyn ansiosta. E-metaanin osuus kokonaiskasvusta on vielä suhteellisen pieni, mutta sen roolin nähdään kasvavan osana pitkän aikavälin energiasiirtymää. Kasvu perustuu pääosin biometaanin ja vähäpäästöiseen vetyyn, kun taas e-metaanin käyttöönotto etenee hitaammin ja edellyttää vielä toimivien toimitusketjujen, tukimekanismien ja kustannustehokkuuden kehittymistä (IEA, 2025)



Kuva 2. Vähäpäästöisten kaasujen tuotannon ennustettu kasvu vuosina 2024–2030 (IEA, 2025) CC BY 4.0.

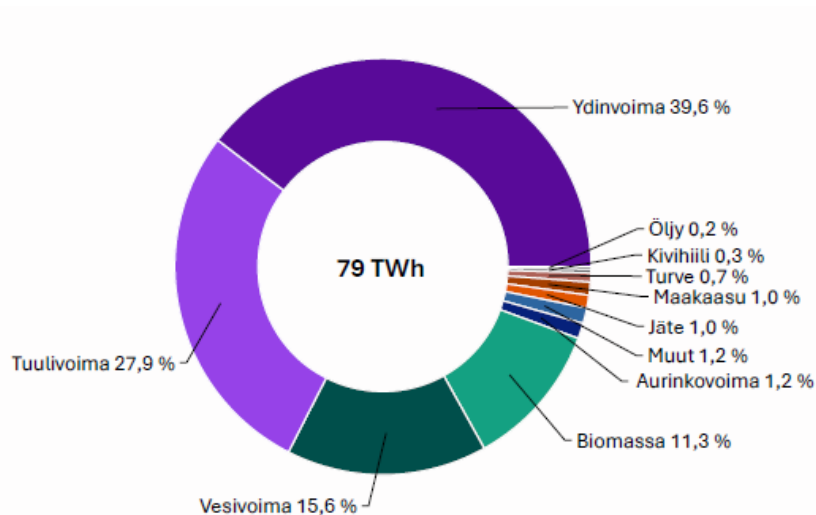
Suomessa e-metaani on vielä uusi ilmiö, mutta ensimmäiset pilottilaitokset ja investoinnit ovat jo käynnistyneet. Suomen vahvuuksia ovat kattava biokaasu- ja kaasuverkosto sekä kaasuverkon hallinnointi Gasgridin toimesta, mikä mahdollistaa synteettisten kaasujen syöttämisen suoraan verkkoon. Tulevaisuudessa e-metaanin markkinat riippuvat sekä teknologisesta kehityksestä että poliittisista ohjaukeinoista. Tuotantokustannusten odotetaan laskevan merkittävästi 2030-luvulle mentäessä, kun elektrolyysiteknologia kehittyy ja uusiutuvan sähkön määrä kasvaa (CE Delft, 2020, s. 61–65).

Valtioneuvoston periaatepäätöksössään vedystä (2022) Suomessa pyritään edistämään sähkön, vedyn sekä vedyntuotannon jatkojalosteiden, kuten e-

metaanin ja muiden synteettisten polttoaineiden, mahdollisimman tehokasta hyödyntämistä. Vedyntuotannon sivutuotteet, kuten lämpö ja happi, nähdään arvokkaina resursseina, jotka tulisi integroida osaksi energiaverkkoja ja teollisia prosesseja. Tavoitteena on, että hankkeiden suunnitteluvaiheessa huomioidaan eri tuotantoketjujen yhteisvaikutukset, resurssien kokonaisyödyntäminen sekä ratkaisut, jotka minimoivat ympäristö- ja luontovaikutukset. Samalla Suomi pyrkii vahvistamaan asemaansa vetytalouden kehittäjänä houkuttelemalla uusia vetyinvestointeja, tukemalla yritysten EU-tasoisia yhteistyötä sekä kehittämällä kansainvälisiä kumppanuuksia. Tätä työtä edistävät työ- ja elinkeinoministeriö, ympäristöministeriö, Business Finland sekä kansalliset vetyverkostot.

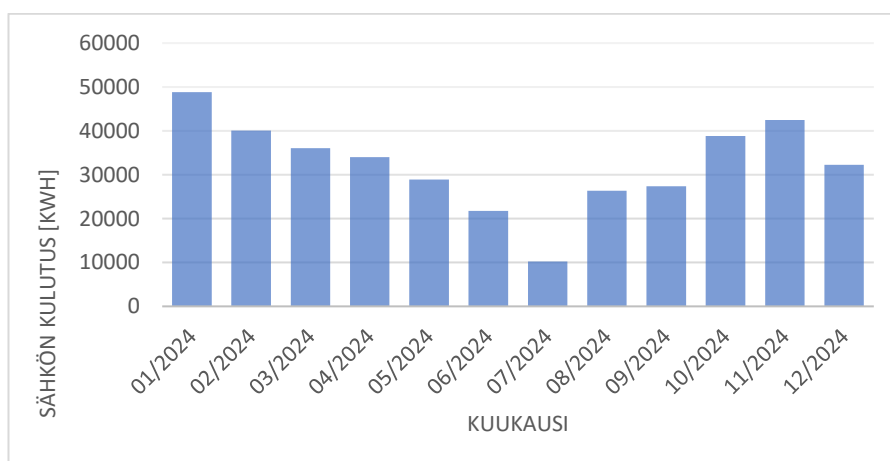
4 LÄHTÖTIEDOT

Suomen sähköntuotanto on jo pitkälti hiilidioksidineutraalia, mikä ilmenee kuviossa 1 esitetystä tuotantorakenteesta. Sähköä tuotetaan pääosin vähäpäästöisillä tuotantomuodoilla, kuten ydin-, tuuli- ja vesivoimalla, ja fossiilisten polttoaineiden osuus sähköntuotannosta on vähäinen. Tämä tuotantorakenne tukee sähkön käytön lisäämistä energiatehokkuustoimissa ja lämmitysratkaisuissa, sillä sähköistämiseen perustuvien ratkaisujen epäsuorat päästöt ovat Suomessa kansainvälisesti vertaillen alhaiset. Näin ollen esimerkiksi lämpöpumppujen ja aurinkosähkön hyödyntäminen on ympäristön kannalta perusteltua.



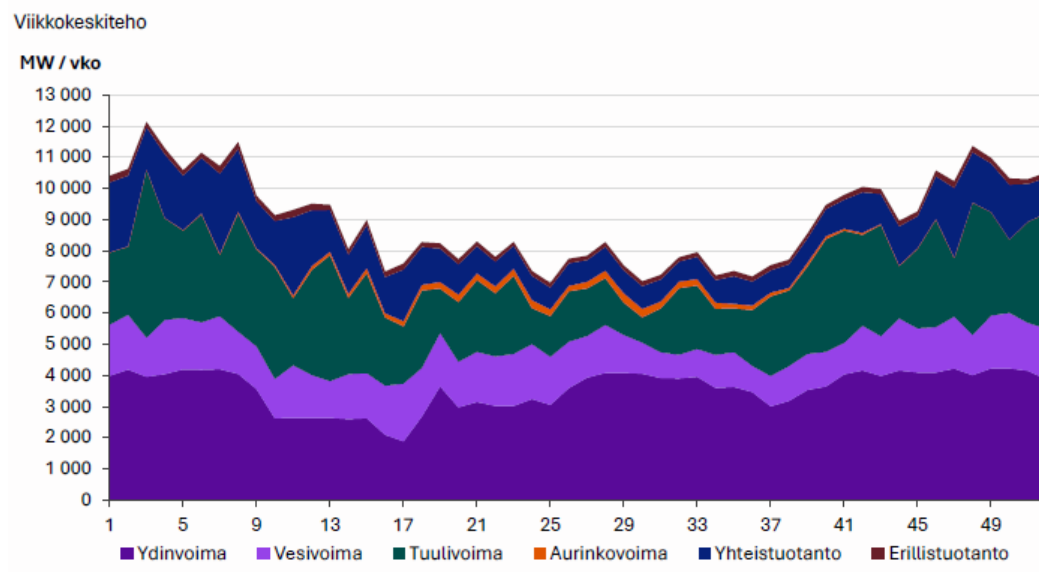
Kuvio 1. Hiilidioksidi neutraalin sähkön osuus 96 % Suomen energiantuotannosta (Energiateollisuus, 2026, s.9)

Kuvassa 3 esitetään Polarthermin sähkönkulutuksen kuukausittainen vaihtelu vuonna 2024. Sähkönkulutus on selvästi korkeampaa talvikuukausina, mikä liittyy lämmityksen ja tuotannon samanaikaiseen kuormitukseen. Kesäkaudella kulutus laskee merkittävästi, erityisesti heinäkuussa, jolloin tuotannon ja lämmitystarpeen väheneminen näkyy alhaisempana sähkönkäyttönä. Vuodenaikojen mukainen kulutusvaihtelu korostaa peruskuorman merkitystä aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa sekä sähkönkulutuksen ja tuotannon ajallisen yhteensovittamisen tarvetta (Polartherm, 2025).



Kuva 3. Sähkön kulutus vuonna 2024 (Polartherm, 2025)

Kuvassa 4 esitetään Suomen sähköntuotannon aikavaihtelu vuonna 2025 eri tuotantomuotojen mukaan. Tuotanto vaihtelee selvästi vuoden aikana erityisesti tuuli- ja vesivoiman saatavuuden mukaan, kun taas ydinvoima muodostaa tasaisen perustuotannon. Aurinkovoiman osuus korostuu kesäkaudella, mutta sen vaikutus kokonaisuuteen on vielä rajallinen. Aikavaihtelu korostaa joustavan energiantuotannon ja -kulutuksen merkitystä sekä tarvetta sovittaa sähkön käyttö tuotannon ajalliseen vaihteluun (Energiateollisuus, 2026).



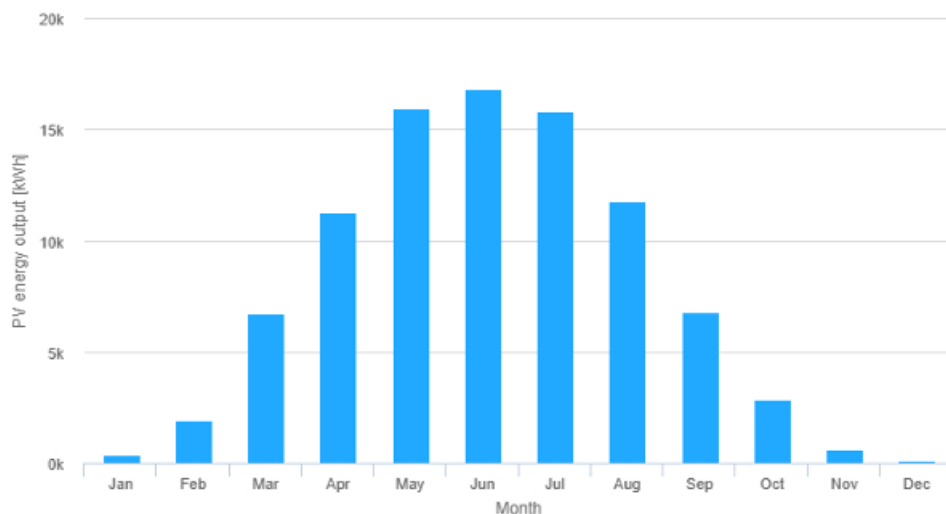
Kuva 4. Suomen sähkön tuotannon aikavaihtelu vuonna 2025 (Energiateollisuus, 2026, s.22)

Hallin katolle suunnitellun aurinkosähköjärjestelmän nimellisteho on 100 kW, ja se koostuu paneeleista, joiden yhteenlaskettu huipputeho on 120 kWp. Paneelitehon ylisuunnittelu parantaa järjestelmän tuotantopotentiaalia erityisesti kesäkaudella ja mahdollistaa paremman sähköntuoton vaihtelevissa olosuhteissa. Järjestelmä on kolmivaiheinen verkkoon liitettävä ON-Grid-aurinkosähköjärjestelmä, joka kytketään suoraan sähköverkkoon ilman erillistä energia-varastointia. Järjestelmän kokonaishinta asennettuna ja käyttöön otettuna on 72 500 euroa (alv 0 %) (Sähköalan palveluntarjoaja, 2025).

Aurinkosähköjärjestelmän vuosituotanto on arvioitu Euroopan komission PVGIS-laskentatyökalulla. Laskelman perusteella järjestelmän arvioitu

vuotuinen sähköntuotanto on noin 91 000 kWh. Tuotanto painottuu kevät- ja kesäkuukausiin, jolloin aurinkosähkön tuotanto vastaa hyvin kiinteistön sähkönkulutuksen tarpeisiin. Järjestelmän arvioitu kokonaishäviö on noin 23 %, mikä sisältää muun muassa lämpötilan, säteilykulman ja järjestelmähäviöiden vaikutukset (Sähköalan palveluntarjoaja, 2025).

Kuvassa 5 esitetään aurinkosähköjärjestelmän arvioitu kuukausittainen energiantuotanto. Tuotanto painottuu selvästi kevät- ja kesäkuukausiin, jolloin aurinkonsäteily on suurimmillaan ja järjestelmän tuotto vastaa parhaiten kiinteistön sähkönkulutuksen tarpeisiin. Talvikaudella tuotanto jää vähäiseksi, mikä korostaa aurinkosähkön roolia täydentävänä energialähteenä erityisesti kesäajan peruskuorman kattamisessa. Kuukausittainen tuotantoprofiili tukee aiemmin esitettyä mitoitusratkaisua, jossa aurinkosähköjärjestelmä on sovitettu ensisijaisesti omakäyttöön (Euroopan komissio, 2026).



Kuva 5. Aurinkosähköjärjestelmän kuukausittainen energiantuotanto (Euroopan komissio, 2026)

Suomen sähköntuotannon keskimääräinen hiilidioksidipäästökerroin on noin 25 g CO₂/kWh (Fingrid, 2026). Arvo perustuu kansalliseen sähköntuotannon rakenteeseen, jossa merkittävä osa sähköstä tuotetaan vähäpäästöisillä tuotantomuodoilla, kuten ydin-, vesi- ja tuulivoimalla. Tätä keskimääräistä päästökerrointa on käytetty sähkönkäytön päästövaikutusten arvioinnissa tässä työssä.

Polarthermin lämmitysöljyn kulutus vuosina 2019–2024. Kulutuksessa on havaittavissa vuosittaista vaihtelua, mikä selittyy erityisesti lämmitystarpeen, tuotannon kuormituksen ja sääolosuhteiden eroilla. Tarkastelujakson keskimääräinen lämmitysöljyn kulutus on noin 43 000 litraa vuodessa, ja tätä arvoa käytetään työssä nykyisen lämmitysjärjestelmän kustannus- ja päästövaikutusten arvioinnin lähtötietona.

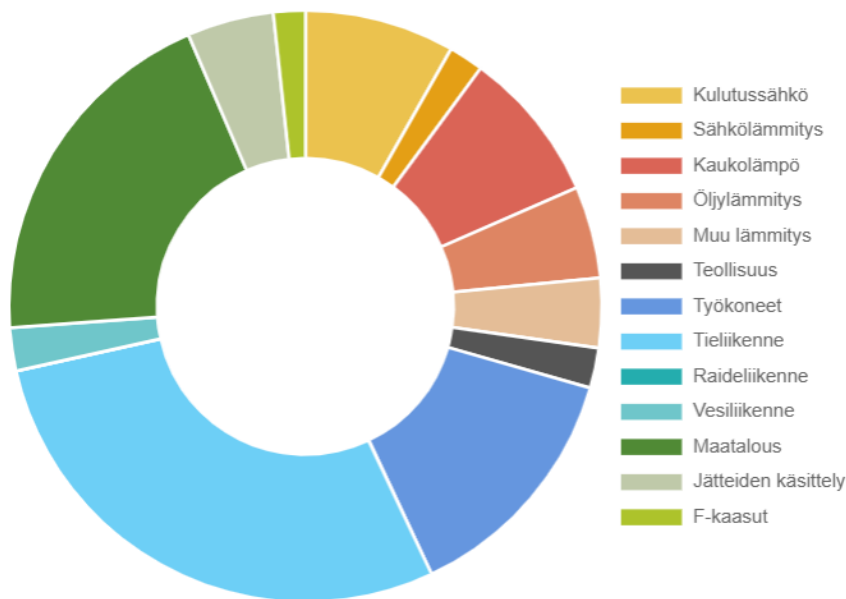
Kevyen, vähärikkisen polttoöljyn hiilidioksidipäästöt on laskettu Tilastokeskuksen ilmoittaman päästökertoimen perusteella, joka on 68,0 t CO₂/TJ (OpenCO2net, 2026). Kun päästökerroin muunnetaan tilavuusperusteiseksi kevyen polttoöljyn alempaa lämpöarvoa (noin 36 MJ/l) käyttäen, saadaan päästökertoimeksi noin 2,45 kg CO₂ litraa kohden. Tätä päästökerrointa on hyödynnetty Polarthermin lämmitysöljyn käytöstä aiheutuvien vuosittaisten hiilidioksidipäästöjen arvioinnissa.

5 TULOKSET

5.1 Eurajoen kunnan toimintaympäristö

Kuviossa 2 esitetään Eurajoen päästöjen jakautuminen vuonna 2024 ilman päästöhyvityksiä. Päästöt painottuvat erityisesti liikenteeseen, maatalouteen sekä energiankäyttöön liittyviin sektoreihin, kuten lämmitykseen ja sähkönkulutukseen. Teollisuuden osuus kokonaispäästöistä on kuvion perusteella suhteellisen maltillinen verrattuna muihin sektoreihin. Päästöjakauma osoittaa, että merkittävimmät päästövähennysmahdollisuudet kohdistuvat energiaratkaisuihin ja liikenteeseen, mikä tukee kiinteistöjen lämmitystapojen ja energiatehokkuuden tarkastelua tässä työssä.

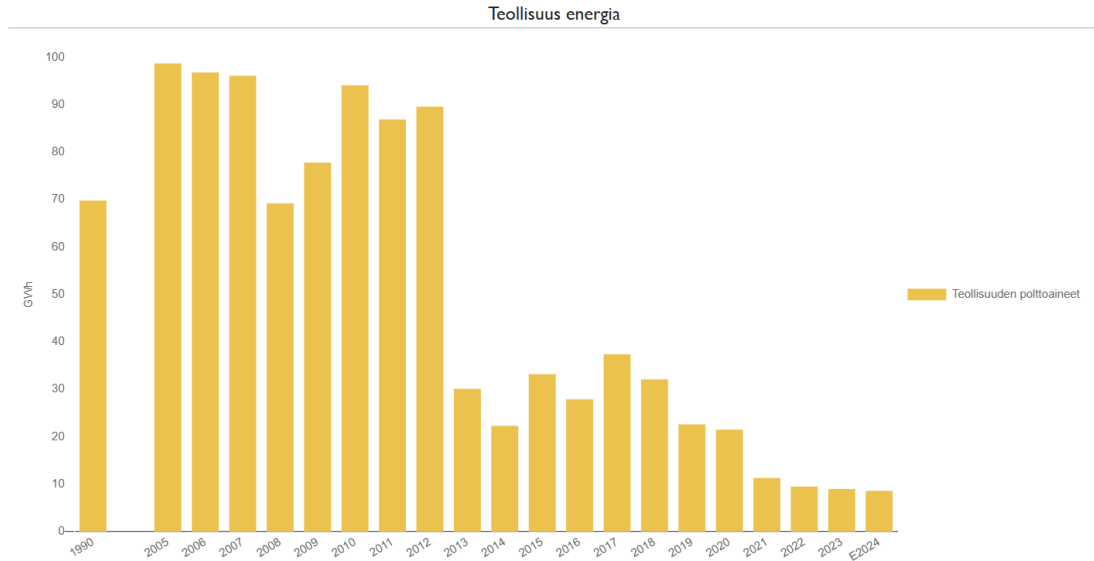
PÄÄSTÖJEN JAKAUMA E2024 — EURAJOKI



Kuvio 2. Päästölaskenta ilman päästöhyvityksiä (SYKE, 2026)

Suomen ympäristökeskus (SYKE) kuntien kasvihuonekaasupäästötilastossa teollisuus on esitetty omana sektorinaan, eikä se sisälly palvelusektoriin. Teollisuuden päästöt raportoidaan erikseen teollisuuden energiankäytön ja teollisten prosessien osalta, mikä selkeyttää eri toimintojen päästövaikutusten tarkastelua ja mahdollistaa teollisuuden päästöjen kohdentamisen tarkemmin energiankäyttöön liittyviin päästövähennystoimiin.

Kuvassa 6 esitetään Eurajoen teollisuuden polttoaineiden energiankulutuksen kehitys pitkällä aikavälillä. Polttoaineiden käyttö on vähentynyt selvästi 2000-luvun alkuvuosista lähtien, ja erityisen voimakas lasku on tapahtunut viimeisen vuosikymmenen aikana. Kehitys viittaa teollisuuden energiajärjestelmän rakenteelliseen muutokseen, jossa fossiilisten polttoaineiden käyttö on vähentynyt ja energiatehokkuus sekä vaihtoehtoiset energiaratkaisut ovat korostuneet. Tämä tukee myös teollisuuskohteiden, energiatehokkuustoimien ja lämmitysratkaisujen tarkastelua osana alueellisia päästövähennystavoitteita (SYKE, 2026).

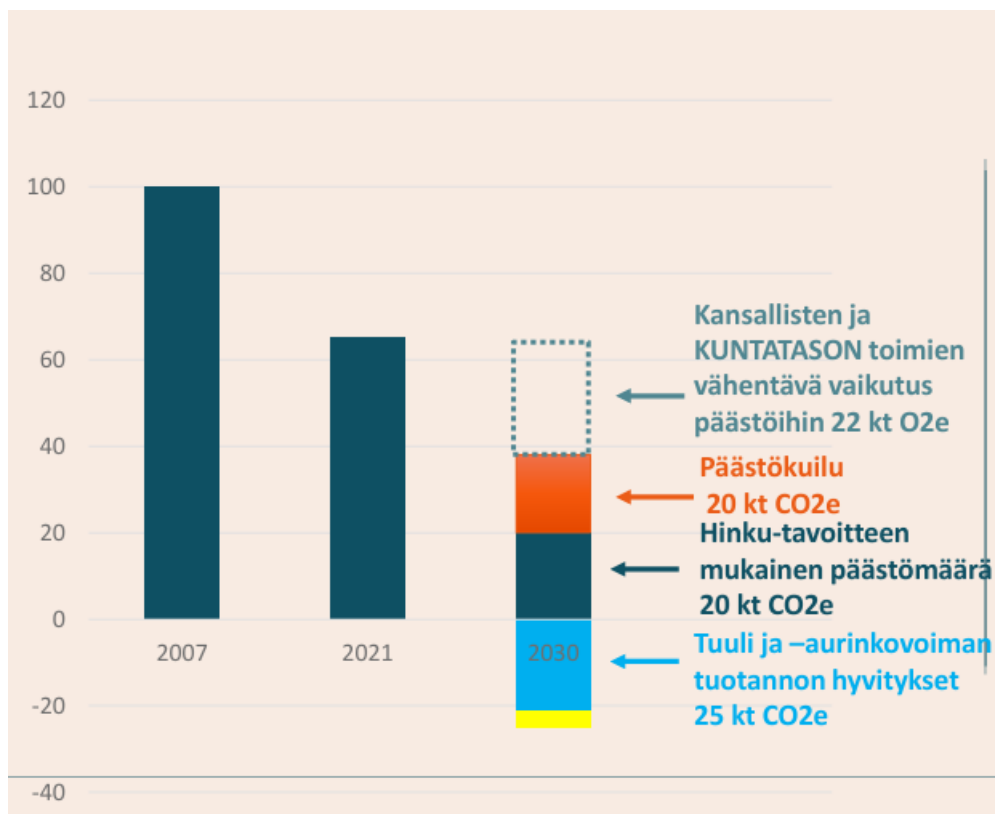


Kuva 6. Eurajoen teollisuuden polttoaineiden energiankulutus (SYKE, 2026)

Kunnan ilmastotyössä paikalliset yritykset ja yrittäjät ovat keskeisessä roolissa. Toimenpiteet kohdistuvat muun muassa pk-yrityksiin, teollisuuteen, lämpölaitoksiin sekä maa- ja metsätalousyrittäjiin. Eurajoen kunta edistää vähähiilisyttä jakamalla tietoa ja valmistelemalla yrityksille suunnattuja materiaaleja yhteistyössä yrittäjähdistyksen kanssa sekä hyödyntämällä maataloussihteerin ja maaseutupäällikön viestintäkanavia. Yrityksille suunnattuja teemoja käsitellään myös erilaisissa tilaisuuksissa ja tapaamisissa. Lisäksi kunta kannustaa yrityksiä siirtymään vähähiilisiin toimintamalleihin, tukee yrittäjien välistä yhteistyötä esimerkiksi hankkeiden kautta ja tuo omaa ilmastotyötään esiin esimerkinomaisesti. Yritysten roolia kunnan päästövähennystavoitteiden saavuttamisessa korostetaan, ja rahoitusmahdollisuuksista viestitään aktiivisesti (FCG, 2024, s. 56).

Perusskenaario on laadittu SYKE:n skenaariotyökalun avulla, ja siinä arvioidaan, miten yleinen markkinakehitys sekä voimassa oleva kansallinen ilmastopolitiikka ja lainsäädäntö vaikuttavat Eurajoen kasvihuonekaasupäästöihin. Kansallisten toimien päästöjä vähentävä vaikutus toteutuu kunnasta riippumatta. Näiden kehityskulkujen jälkeen kunnalle jää noin 26 kt CO₂e:n suurinen päästövähennystarve, joka edellyttää paikallisia toimenpiteitä.

Kuvassa 7 esitetyn Hinku-tavoiteskenaarin mukaisesti Eurajoelle jää tavoitteiden saavuttamisen jälkeen vielä noin 19,9 kt CO₂e päästöjä. Tämä osuus voidaan kattaa kompensoimalla päästöjä esimerkiksi vahvistamalla hiilinieluja tai lisäämällä uusiutuvan energian tuotantoa, kuten tuuli- ja aurinkovoimaa (FCG, 2024, s. 22).



Kuva 7. Eurajoen ilmastotoimien skenaario ja eri toimenpiteiden vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin vuoteen 2030 mennessä (FCG, 2024, s.23)

Ilmastotoimien skenaariossa esitetty tavoite luopua öljylämmitteisistä kiinteistöistä koskee myös teollisuuskiinteistöjä, kuten tehdashalleja, silloin kun öljyä käytetään rakennuksen tilojen lämmitykseen. Sen sijaan varsinaiset teolliset tuotantoprosessit ja niihin liittyvät päästöt eivät ole skenaarion keskiössä. Teollisuuskiinteistöjen osalta päästövähennyspotentiaali liittyy erityisesti lämmitysjärjestelmien muutoksiin, energiatehokkuustoimiin sekä uusiutuvien energialähteiden hyödyntämiseen (FCG, 2024, s. 23).

5.2 Päästövaikutusten arviointiperusteet ja standardit

Kasvihuonekaasujen ilmastovaikutuksia arvioidaan yleisesti ilmastonlämpenemispotentiaalin (Global Warming Potential, GWP) avulla. Hiilidioksidin GWP on määritelty vertailuarvoksi yksi, ja muiden kasvihuonekaasujen GWP-arvot kuvaavat niiden ilmastovaikutuksen suuruutta suhteessa hiilidioksidiin (taulukko 1). Tässä työssä käytetään IPCC:n kuudennen arviointiraportin (AR6) mukaisia GWP-arvoja sadan vuoden tarkastelujaksolla (IPCC, 2024).

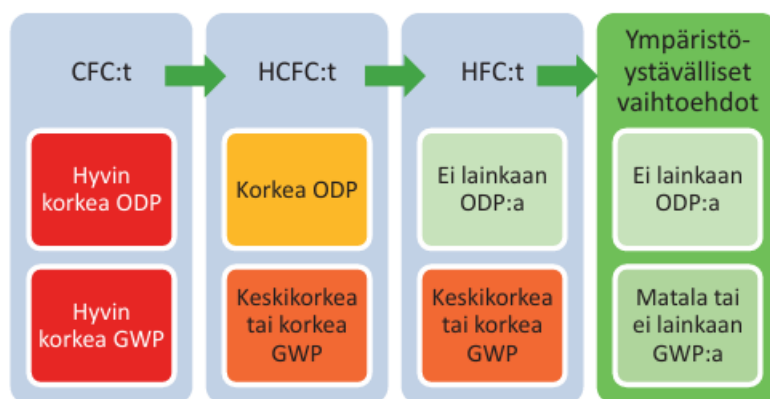
Kasvihuonekaasupäästöjä tarkastellaan hiilidioksidiekvivalenteina (CO₂e), jolloin eri kaasujen ilmastovaikutukset voidaan esittää yhteismitallisessa muodossa. Esimerkiksi metaanin ilmastovaikutus on 100 vuoden tarkastelujaksolla moninkertainen hiilidioksidiin verrattuna, minkä vuoksi sen päästöt korostuvat CO₂e-pohjaisessa tarkastelussa (IPCC, 2024).

Taulukko 1. Kasvihuonekaasujen ja energiajärjestelmissä käytettävien aineiden GWP-arvot (IPCC, 2024).

Aine / kaasu	Käyttökohde	GWP (100 v, AR6)
Hiilidioksidi (CO ₂)	Vertailuarvo	1
Metaani (CH ₄)	Poltto, biokaasu	27
Metaani (CH ₄)	Poltto, fossiiliset	29.8
Dityppioksidi (N ₂ O)	Poltto, teollisuus	273
HFC-134a	Lämpöpumput	1 530
HFO-1234yf	Lämpöpumput	<1

Kasvihuonekaasupäästöjen laskennan ja raportoinnin vertailukelpoisuuden varmistamiseksi hyödynnetään kansallisia ja kansainvälisiä standardeja. Yhdenmukaiset päästölaskentastandardit parantavat laskennan luotettavuutta ja läpinäkyvyyttä sekä vähentävät virheellisen raportoinnin ja viherpesun riskiä. Lisäksi EU:n ja kansainvälisen sääntelyn myötä yhä useammat toimijat ovat velvoitettuja raportoimaan päästönsä standardien mukaisesti.

Energiajärjestelmissä ja lämpöpumppuratkaisuissa käytettävien työ- ja kylmäaineiden ympäristövaikutuksia arvioidaan lisäksi otsonikatoa kuvaavan ODP-arvon (Ozone Depleting Potential) sekä GWP-arvon perusteella. Ympäristön kannalta edullisimpia ovat aineet, joiden ODP on nolla ja GWP mahdollisimman alhainen (Rissanen, 2014). Kylmäaineiden käytön kehitystä CFC-yhdisteistä HCFC- ja HFC-yhdisteiden kautta ympäristöystävällisempiin vaihtoehtoihin havainnollistetaan kuvassa 8.



Kuva 8. Kylmäaineiden käytön kehitys CFC-yhdisteistä HCFC- ja HFC-yhdisteiden kautta ympäristöystävällisiin vaihtoehtoihin (Reinikainen ym., 2015, s.7)

Energiajärjestelmien käytönaikaiset päästöt muodostuvat pääosin energiantuotannosta, myös järjestelmissä käytettävien työ- ja kylmäaineiden ilmastovaikutus on huomioitava. Lämpöpumppujen ja ORC-järjestelmien suunnittelussa suositaan yhä enemmän luonnollisia tai matalan GWP-arvon omaavia aineita, kuten ammoniakkaa, hiilidioksidia ja HFO-yhdisteitä. Näin voidaan vähentää järjestelmien epäsuoria ilmastovaikutuksia koko elinkaaren aikana (IPCC, 2024).

Product Category Rules (PCR) ovat tuoteryhmäkohtaisia sääntöjä, joiden perusteella laaditaan ympäristöselosteita (Environmental Product Declaration, EPD). PCR täydentää elinkaariarvioinnin yleisiä standardeja määrittelemällä tarkemmat rajaukset, laskentaperiaatteet ja vaatimukset tietyille tuoteryhmälle. PCR-järjestelmä perustuu ISO 14025 -standardiin sekä ISO 14040 ja ISO 14044 -standardien mukaiseen elinkaariarviointiin, ja sen tavoitteena on

varmistaa tuotteiden ympäristövaikutusten vertailukelpoisuus (EPD International, 2024). Keskeiset ympäristö-, energia- ja kestävyysliittävät ISO-standardit on esitetty taulukossa 2 (ISO, n.d.).

Taulukko 2. Ympäristö-, energia- ja kestävyysliittävät ISO-standardit

ISO-standardi	Aihealue	Kuvaus / käyttötarkoitus
ISO 14001	Ympäristöjohtaminen	Ympäristöjohtamisjärjestelmät (EMS)
ISO 14004	Ympäristöjohtaminen	Ohjeistus ympäristöjohtamisjärjestelmän toteuttamiseen
ISO 14006	Ekosuunnittelu	Ekosuunnittelun integrointi johtamisjärjestelmään
ISO 14040–14044	Elinkaariarviointi (LCA)	Elinkaariarvioinnin periaatteet ja menetelmät
ISO 14064-1	Päästölaskenta	Organisaatiotason kasvihuonekaasupäästöt
ISO 14064-2	Päästölaskenta	Hankkeiden ja toimenpiteiden päästölaskenta
ISO 14064-3	Päästölaskenta	Päästöjen todentaminen ja varmennus
ISO 14067	Hiilijalanjälki	Tuotteiden hiilijalanjäljen laskenta
ISO 50001	Energianhallinta	Energianhallintajärjestelmät
ISO 50006	Energiatehokkuus	Energiatehokkuuden mittaaminen
ISO 50015	Energiatehokkuus	Energiatehokkuusindikaattorit ja suorituskyvyn arviointi
ISO 26000	Yhteiskuntavastuu	Yritysvastuun ja kestävä kehityksen ohjeistus
ISO 20400	Kestävä hankinta	Kestävä hankinnan periaatteet
ISO 21930	Rakentaminen	Rakennustuotteiden ympäristövaikutusten arviointi
ISO 37120	Kestävä kaupunki	Kaupunkien kestävyysindikaattorit

5.3 Aurinkosähkön potentiaali

Aurinkosähkö voisi toimia merkittävänä tukena Polarthermin tuleville lämmitysratkaisuille. Erityisesti lämpöpumppujen yhteydessä aurinkosähköjärjestelmä vähentäisi suoraan ostosähkön tarvetta ja pienentäisi käyttökustannuksia, sillä lämpöpumput tuottavat moninkertaisesti lämpöenergiaa suhteessa kulutettuun sähkөөn. Teollisuushalleissa lämmitystarve jatkuu lähes ympäri vuoden, ja aurinkosähkön tuotanto ajoittuu pääosin keväästä syksyyn, jolloin sen hyödyntämismahdollisuudet ovat parhaimmillaan.

Aurinkosähkö tasaa myös sähkön markkinahinnan vaihteluita ja vähentää riippuvuutta ulkoisesta energiasta, mikä parantaa yrityksen energiatehokkuutta ja omavaraisuutta. Lisäksi aurinkosähkö voi tukea muita vaihtoehtoisia lämmitysratkaisuja, kuten e-metaaniin perustuvia järjestelmiä. Koska e-metaanin tuotanto ja käyttö perustuvat sähköenergiaan, oma aurinkosähköjärjestelmä voi vähentää polttoaineen käytön epäsuoria päästöjä ja parantaa koko järjestelmän kustannustehokkuutta.

Mikäli Polartherm hyödyntäisi myös esimerkiksi Luvian Sahan hukkalämpöä, aurinkosähkö voisi toimia täydentävänä energialähteenä, joka kattaa kiinteistön peruskuormaa ja vähentää tarvetta ostaa sähköä ulkopuolelta. Yhdessä nämä ratkaisut muodostavat joustavan ja monipuolisen hybridilämmitysjärjestelmän, jossa aurinkosähkö tukee muita energialähteitä sekä kustannusten että ympäristövaikutusten näkökulmasta.

5.4 Lämpöpumppujen potentiaali

Teollisuuslämpöpumppujen kehitys on viime vuosina edennyt nopeasti, ja erityisesti saavutettavat lämpötilatasot ovat nousseet merkittävästi. Nykyteknologialla lämpöpumpuilla voidaan tuottaa lämpöä jo yli 100 °C:n lämpötiloissa, mikä mahdollistaa niiden hyödyntämisen aiempaa laajemmin teollisissa prosesseissa. Tämä kehitys lisää erityisesti teollisuuden hukkalämpöjen talteenoton ja hyödyntämisen mahdollisuuksia (Motiva, 2021, s. 6–7).

Korkeammat tuottolämpötilat parantavat lämpöpumppujen soveltuvuutta vaativampiin käyttökohteisiin. Arvioiden mukaan noin 150 °C:n lämpötilataso nostaa teollisuuslämpöpumppujen teknisesti hyödynnettävissä olevan hukkalämpöpotentiaalin noin 20 terawattituntiin vuodessa. Tämä osoittaa, että lämpöpumput voivat muodostua tulevaisuudessa merkittäväksi osaksi teollisuuden energiatehokkuus- ja päästövähennystoimia (Motiva, 2021, s. 6–7).

Vaikka huomio kiinnittyy usein korkean lämpötilan prosesseihin, merkittävää hyödyntämätöntä potentiaalia löytyy edelleen myös tavanomaisemmista kohteista. Teollisuuskiinteistöjen tilojen lämmitys tarjoaa laajoja mahdollisuuksia perinteisemmille lämpöpumppuratkaisuille, kuten maa- ja ilmalämpöpumpuille, erityisesti fossiilisiin polttoaineisiin perustuvien järjestelmien korvaamisessa (Motiva, 2021, s. 6–7).

Tilastokeskuksen rakennustilastojen perusteella Suomessa on edelleen huomattava määrä öljy- tai kaasulämmitteisiä teollisuus- ja varastorakennuksia. Näitä rakennuksia on arviolta noin 13 000, ja niiden yhteenlaskettu rakennuspinta-ala on noin 17 miljoonaa neliometriä. Karkeasti arvioituna rakennusten vuotuinen lämmitysenergiatarve on noin 3 TWh, mikä havainnollistaa lämpöpumppuratkaisujen merkittävää potentiaalia fossiilisten polttoaineiden korvaajana myös teollisuuden rakennuskannassa (Motiva, 2021, s. 6–7).

Lämpöpumput nähdään energiateollisuudessa yhä keskeisempänä keinona polttopohjaisten energiaratkaisujen päästöjen vähentämisessä. Niiden avulla voidaan parantaa energiantuotannon kokonaishyötysuhdetta erityisesti tilanteissa, joissa prosesseissa syntyvää lämpöä jää hyödyntämättä. Esimerkiksi savukaasuista talteen otettu lämpö voidaan lämpöpumpun avulla nostaa sellaiseen lämpötilatasoon, jossa se on energiantuotannon kannalta käyttökelpoista (Motiva, 2021, s. 33).

Lämpöpumpputeknologia tukee eri energiasektoreiden välistä integraatiota. Teollisuuden ja kaukolämpöjärjestelmien välinen yhteistyö on tästä konkreettinen esimerkki, sillä teollisuuden prosesseista syntyviä hukkalämpövirtoja voidaan syöttää kaukolämpöverkkoon lämpöpumpuilla korotettuna. Tämä mahdollistaa teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntämisen osana paikallista

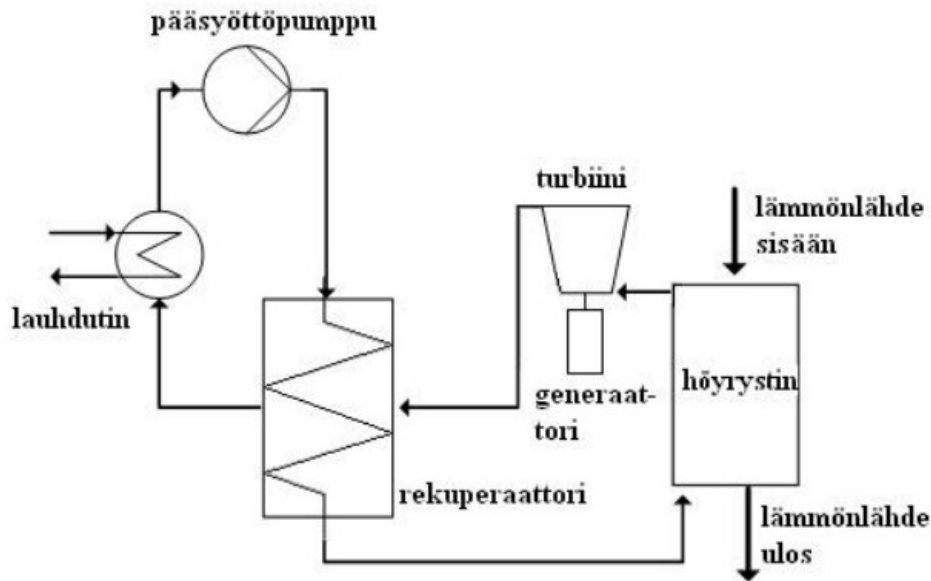
energiajärjestelmää ja vähentää tarvetta polttamiseen perustuvalla lämmön-
tuotannolle (Motiva, 2021, s. 33).

5.5 Hukkalämmön hyödyntäminen ORC-teknologialla

Keskusteluissa on nostettu esiin myös ORC-teknologia (Organic Rankine Cycle) vaihtoehtona korkean lämpötilan hukkalämpöjen hyödyntämiseen sähkötuotannossa. Erityisesti laivateollisuudessa ORC-järjestelmien nähdään tarjoavan potentiaalisen ratkaisun prosesseissa syntyvän hukkalämmön hyödyntämiseen ja sitä kautta päästöjen vähentämiseen (Motiva, 2021, s. 33).

ORC-prosessin suunnittelu perustuu ensisijaisesti käytettävissä olevan lämmönlähteen lämpötilatasoon, jonka perusteella valitaan prosessiin soveltuva orgaaninen työaine. Tavoitteena on mahdollistaa tehokas energiankierron toteutus kyseisellä lämpötila-alueella. Lisäksi määritellään hyödynnettävissä oleva lämpöteho sekä tarvittava jäähdytysteho sen mukaan, millaista sähköntuotantoa järjestelmältä tavoitellaan. ORC-järjestelmän tehoa voidaan säätää ohjaamalla prosessiin syötettävän lämmitys- ja jäähdytysenergian määrää (Mäkelä, 2024, s.7).

ORC on suljettu kiertoprosessi, jossa prosessiaineen olomuodon ja lämpötilan muutoksia hyödynnetään paine-eron muodostamiseen turbiinin yli. Prosessin alussa nestemäinen työaine pumpataan höyrystimeen, jossa se vastaanottaa lämpöenergiaa ja höyrystyy. Paineistunut kaasu johdetaan turbiiniin, jossa sen energia muunnetaan mekaaniseksi liike-energiaksi ja edelleen generaattorissa sähköenergiaksi. Turbiinin jälkeen työaine jäähdytetään ja tiivistetään lauhduttimessa takaisin nestemäiseen olomuotoon, minkä jälkeen se palautuu prosessiin (Mäkelä, 2024, s.8-9). ORC-prosessin periaate on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Suoraa höyrystinkytettä hyödyntävän ORC-voimalan toimintaperiaate (Uusitalo, 2010, s. 31)

Prosessihyötysuhde, η_{pros} kuvaa ORC-laitoksen todellista hyötysuhdetta suhteessa teoreettiseen Carnot-hyötysuhteeseen. ORC-prosessin hyötysuhde voidaan esittää prosessihyötysuhteen ja Carnot-hyötysuhteen tulona kaavan (2) mukaisesti (Purhonen, 2010, s.40).

$$\eta_{\text{ORC}} = \eta_{\text{pros}} \eta_{\text{carnot}} = \eta_{\text{pros}} \left[1 - \frac{T_1}{T_2} \right], \quad (2)$$

jossa	η_{orc}	ORC-prosessin hyötysuhde	[-]
	η_{pros}	prosessihyötysuhde	[-]
	T_1	lauhduttimen lämpötila	[K]
	T_2	kiertoaineen suurin lämpötila	[K]

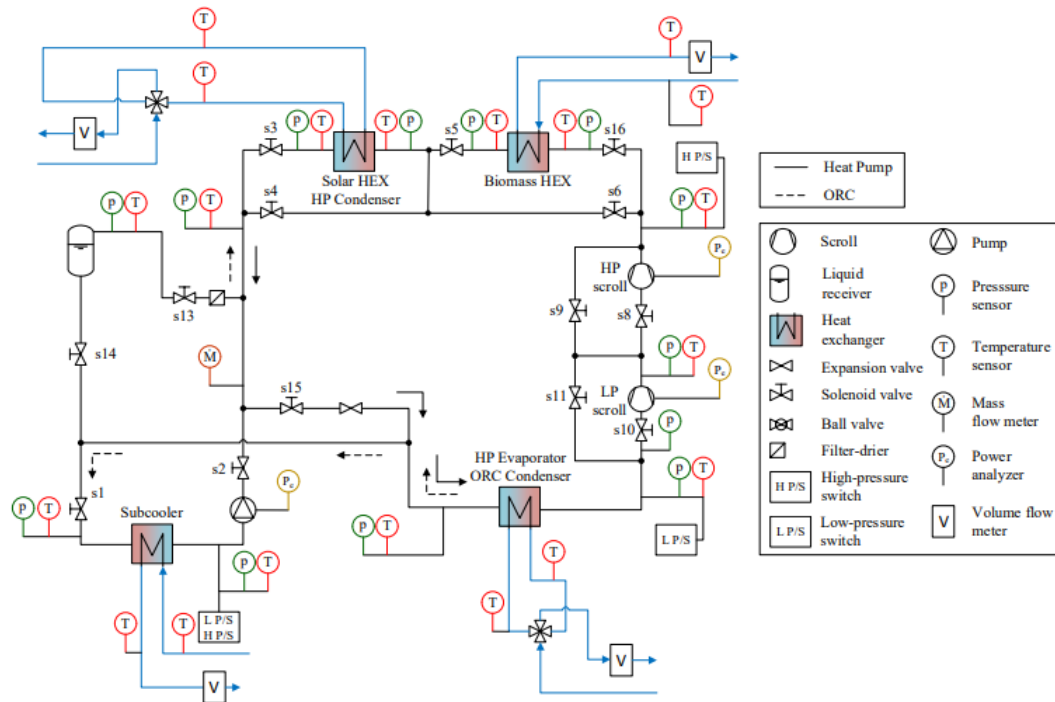
ORC-tekniikka soveltuu erityisen hyvin pieneen ja keskisuureen kokoluokkaan, ja sitä voidaan pitää nykyisin yhtenä parhaista saatavilla olevista teknologioista näissä teholuokissa. ORC-laitosten käyttökustannukset ovat tyypillisesti alhaiset, ja järjestelmät ovat yleensä pitkälti automatisoituja, minkä

ansiosta jatkuvaa valvontaa ei tarvita. Työvoimakustannukset rajoittuvat pääasiassa säännöllisiin tarkastuksiin ja huoltotoimenpiteisiin (Purhonen, 2010, s.43).

ORC-laitoksen ominaishintaan vaikuttavat merkittävästi toimitussopimuksen sisältö sekä käytettävän lämmönlähteen ominaisuudet. ORC-tekniikalla voidaan hyödyntää matalan ja keskilämpötilatason lämpövirtoja monissa eri sovelluskohteissa, kuten aurinko- ja geotermisessä energiantuotannossa, biomassan poltossa sekä teollisuuden, kaasuturbiinien ja polttomoottoreiden hukkalämpöjen talteenotossa. Teknologia on ollut käytössä jo useiden vuosikymmenten ajan ja on osoittautunut toimintavarmaksi ja teknisesti kypsäksi ratkaisuksi (Purhonen, 2010, s.43).

Nykyisin ORC-tekniikkaa voidaan pitää käytännössä ainoana järkevänä vaihtoehtona yleisimpiin sovelluskohteisiin silloin, kun sähköntuotannon tehotaso vaihtelee muutamasta kilowatista noin yhteen megawattiin (Purhonen, 2010, s.43).

Käännettävä lämpöpumppu-ORC-teknologia Reversible Heat Pump (RHP) (kuva 10) yhdistää lämpöpumppu- ja ORC-prosessit samaan järjestelmään hyödyntämällä yhteisiä komponentteja, kuten lämmönvaihtimia sekä kompressori-laajennin-yksikköä. Teknologia mahdollistaa lämmityksen, jäähdytyksen ja sähköntuotannon samassa kokonaisuudessa. Rakennukset ovat merkittävä sovelluskohde, koska niiden osuus EU:n loppuenergiankulutuksesta on noin 25 %. Aiemmat numeeriset ja kokeelliset tutkimukset ovat osoittaneet, että RHP/ORC-järjestelmät voivat tarjota energiatehokkaita ja taloudellisesti kilpailukykyisiä vaihtoehtoja perinteisille lämmitys- ja sähköntuotantoratkaisuille, vaikka tietyissä tapauksissa aurinkosähkön ja lämpöpumppujen yhdistelmät ovat osoittautuneet tehokkaammiksi (Charalampidis ym., 2025, s.201).



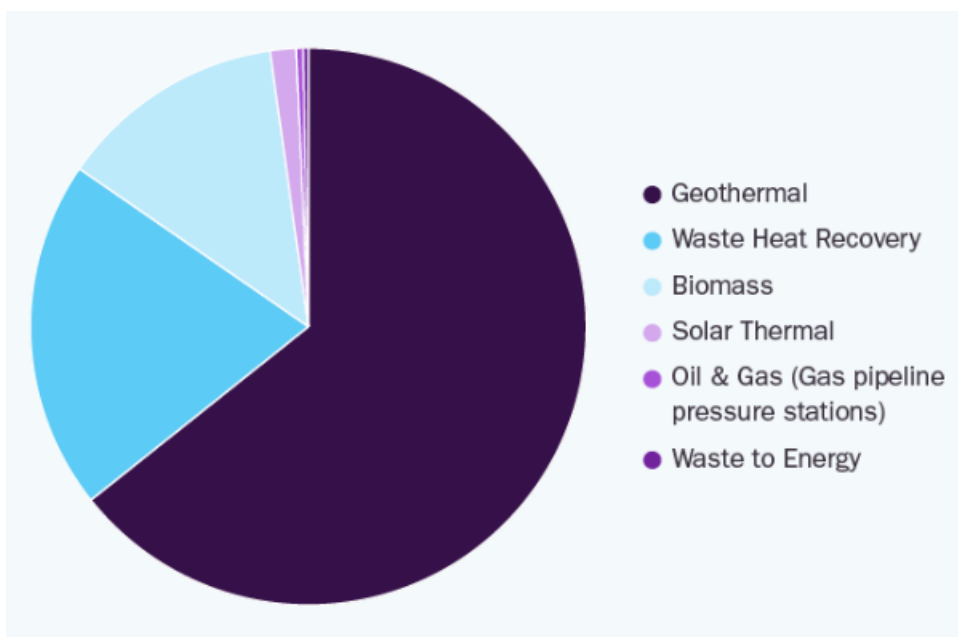
Kuva 10. Kaaviokuva käännettävästä lämpöpumppu–ORC-järjestelmästä; mustat viivat kuvaavat kylmäainekiertoa ja siniset viivat vesikiertoja; yhtenäiset nuolet esittävät lämpöpumppukäyttöä ja katkoviivat ORC-käyttöä (Charalampidis ym, 2025, s.203)

RHP/ORC-järjestelmiä on tutkittu laajasti kokeellisissa sovelluksissa sekä rakennus- että teollisuuskäytössä. Rakennuksiin suunnatuissa prototyypeissä on saavutettu lämpöpumppukäytössä hyvä hyötysuhde sekä mahdollistettu sähköntuotanto ylijäämälämmöstä. Teknologiaa on kehitetty myös korkeamman lämpötilan yhteistuotantosovelluksiin, kuten kaukolämpö- ja teollisuusjärjestelmiin, joissa on raportoitu lämpöpumppujen COP-arvoja (Coefficient of Performance) yli 3 sekä ORC-prosessin sähköhyötysuhteita usean prosentin tasolla. Lisäksi RHP/ORC-järjestelmiä on sovellettu lämpöenergian varastointiin niin sanotuissa Carnot-akuissa, joissa on saavutettu korkea sähkön varastoinnin hyötysuhde (Charalampidis ym., 2025, s.201-202).

Tutkimuksessa tarkasteltiin pientä, täysin automatisoitua rakennuskäyttöön suunniteltua RHP/ORC-prototyyppiä, joka on osa uusiutuviin energialähteisiin perustuvaa kokonaisjärjestelmää. Järjestelmä hyödyntää aurinko- ja biomassalämpöä ja toimii kolmessa käyttötilassa: lämmitys-, jäähdytys- ja sähköntuotantotilassa. Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida kokeellisesti järjestelmän suorituskyky molemmissa käyttötiloissa sekä tunnistaa keskeiset tekijät, jotka

vaikuttavat kokonaishyötysuhteeseen. Tulokset osoittavat, että RHP/ORC-teknologia soveltuu monipuoliseksi ja joustavaksi ratkaisuksi uusiutuviin energiajärjestelmiin, vaikka komponenttien hyötysuhteilla on merkittävä vaikutus järjestelmän kokonaistehokkuuteen (Charalampidis ym., 2025, s.201-202).

ORC-teknologia on laajasti käytössä erityisesti geotermisissä sovelluksissa sekä teollisuuden hukkalämmön talteenotossa, mikä käy ilmi kuviosta 3. Vaikka hukkalämmön hyödyntäminen muodostaa merkittävän osan ORC-markkinasta, teknologian soveltuvuus yksittäisiin kohteisiin riippuu vahvasti käytettävissä olevan lämmön lämpötilatasosta, lämpövirran jatkuvuudesta sekä investointikustannuksista. ORC-markkinan globaalin koon arvioidaan olevan noin 954 miljoonaa Yhdysvaltain dollaria vuonna 2025, mikä osoittaa teknologian vakiintuneen aseman tietyissä sovelluksissa, mutta ei yksinään takaa sen taloudellista kannattavuutta kaikissa käyttökohteissa (Grand View Research, n.d.).



Kuvio 3. ORC-teknologian globaalin markkinan jakautuminen eri käyttökohteisiin vuonna 2025 (Grand View Research, n.d.)

5.6 Kaukolämpö ja e-metaani vertailuvaihtoehtona

5.6.1 Kaukolämpö

Polarthermin tulevia lämmitysratkaisuja arvioitaessa on perusteltua tarkastella myös sahan hukkalämmön hyödyntämismahdollisuuksia. Sahateollisuudessa syntyy merkittäviä määriä matalalämpöistä lämpöenergiaa, joka jää usein osittain hyödyntämättä. Mikäli tätä lämpöä voitaisiin kerätä talteen ja siirtää lämpöverkkoon tai suoraan Polarthermin prosessi- tai tilalämmitykseen, sillä voitaisiin korvata osa nykyisestä öljy- tai sähköpohjaisesta lämmityksestä. Hukkalämmön hyödyntäminen parantaisi energiatehokkuutta, pienentäisi hiilijalanjälkeä ja tukisi alueellista kiertotaloutta. Ratkaisun toteutettavuus riippuu kuitenkin lämmön saatavuuden tasosta, etäisyydestä tehtaiden välillä sekä tarvittavien lämmönsiirtoratkaisujen investointikustannuksista, minkä vuoksi aihe edellyttää erillistä teknistaloudellista tarkastelua.

Luvian Sahan kanssa käytyjen keskustelujen perusteella voidaan todeta, että sahalta ei ole toistaiseksi tunnistettu sellaista hukkalämpöpotentiaalia, jonka siirtäminen ja hyödyntäminen Polarthermin tehtaan lämmityksessä olisi käytännössä toteuttamiskelpoista (Luvian Saha, 2025). Lisäksi paikallisen kaukolämpöjakelijan kanssa selvitettiin mahdollisuutta liittää tehdas kaukolämpöverkkoon, mutta verkon etäisyys kohteesta todettiin liian pitkäksi. Tämän vuoksi tarvittavan putkilinjan investointikustannukset nousisivat kohtuuttoman suuriksi, eikä kaukolämpöliittymää voida pitää tässä vaiheessa taloudellisesti perusteltuna vaihtoehtona (Kaukolämpötoimija, 2025).

5.6.2 E-metaani

Kaasut muodostavat merkittävän osan Suomen tulevaisuuden energijärjestelmää, erityisesti kohteissa, joissa energian suora sähköistäminen ei ole teknisesti tai taloudellisesti tarkoituksenmukaista. Puhtaiden kaasujen avulla voidaan edistää hiilineutraaliutta, ja niiden rooli energijärjestelmää täydentävänä energiamuotona perustuu hyvään säädettävyyteen, toimitusvarmuuteen sekä joustaviin käyttöominaisuuksiin (Energiateollisuus, n.d.).

Synteettiset kaasut, kuten e-metaani, ovat keskeinen osa puhtaiden kaasujen kokonaisuutta. E-metaani valmistetaan yhdistämällä uusiutuvalla sähköllä tuotettua vetyä ja talteen otettua hiilidioksidia, ja se liittyy tiiviisti Power-to-X-prosesseihin. Koska e-metaani on kemiallisilta ominaisuuksiltaan vastaavaa kuin fossiilinen maakaasu, sitä voidaan hyödyntää nykyisissä kaasuverkoissa ja loppukäytössä ilman merkittäviä muutoksia infrastruktuuriin. Tämän ansiosta e-metaanilla on potentiaalia vähentää kasvihuonekaasupäästöjä erityisesti teollisuuden ja energiantuotannon sovelluksissa (Energiateollisuus, n.d.).

E-metaanin käyttö Polarthermin lämmityksessä olisi teknisesti mahdollista, mutta se edellyttäisi nykyisten lämmitysjärjestelmien päivittämistä kaasukäyttöön soveltuviksi. Vaikka e-metaanin ominaisuudet vastaavat maakaasua, kaikki öljy- tai sähkölämmitykseen perustuvat laitteet eivät ole suoraan yhteensopivia kaasupolttoaineiden kanssa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että polttimet, venttiilit, kaasulinjat sekä turvajärjestelmät olisi tarkistettava ja tarvittaessa vaihdettava kaasukäyttöön hyväksytyihin komponentteihin. Tämä päivitystarve on keskeinen huomio investointien suunnittelussa, sillä se vaikuttaa merkittävästi sekä järjestelmän kokonaiskustannuksiin että tekniseen toteutavuuteen.

6 ANALYYSI JA KUSTANNUSRAKENNE

6.1 Energiansäästöpotentiaali

Lämpöpumppujen käyttöönotto vähentää merkittävästi tämän kehityksen vaikutusta kiinteistöjen kokonaisenergiakustannuksiin, sillä ne pienentävät ostettavan energian määrää ja parantavat energiankäytön hyötysuhdetta. Lämpöpumppuinvestointi hidastaa lämmityskustannusten kasvua ja parantaa kustannusten ennakoitavuutta erityisesti pitkällä aikavälillä.

Aurinkoenergian hyödyntäminen tukee energiansäästöpotentiaalia erityisesti sähköpohjaisten ratkaisujen yhteydessä. Paikallisesti tuotettu aurinkosähkö

vähentää ostosähkön tarvetta ja parantaa lämpöpumppujen käytön kustannustehokkuutta etenkin kevät- ja kesäkaudella. Pitkällä aikavälillä myös vetyyn ja synteettisiin polttoaineisiin perustuvat ratkaisut voivat täydentää energijärjestelmää erityisesti huipputehotarpeissa ja energian varastoinnissa, vaikka niiden taloudellinen hyödynnettävyys Polarthermin mittakaavassa on tällä hetkellä rajallinen.

Energiakustannuksia voidaan alentaa edelleen hyödyntämällä älykkäitä ohjausjärjestelmiä, jotka reagoivat sähkön markkinahinnan vaihteluihin. Lisäksi lämpövarastojen ja pidemmän aikavälin kausivarastointiratkaisujen avulla voidaan tasapainottaa lämmön tuotantoa ja kulutusta, mikä parantaa järjestelmän kokonaistaloudellisuutta ja joustavuutta (Motiva, 2017).

6.2 Investointikustannukset ja takaisinmaksuaika

Aurinkosähkö on taloudellisesti edullisinta silloin, kun tuotettu energia voidaan käyttää suoraan oman kulutuksen kattamiseen. Aurinkosähköjärjestelmän laskennallinen tarkastelu osoittaa investoinnin olevan taloudellisesti kannattava Polarthermin kohteessa. Järjestelmä tuottaisi vuosittain noin 91 MWh sähköä, mikä vastaisi merkittävää osaa kiinteistön päiväaikaisesta sähkönkulutuksesta ja toisi nykyisellä sähkön hinnalla noin 9100 euron vuotuisen säästön. Investoinnin takaisinmaksuaika yksinkertaisella laskentamenetelmällä on noin kahdeksan vuotta, ja 30 vuoden tarkastelujaksolla aurinkosähkön omakustannushinta jää selvästi alle ostosähkön hinnan (taulukko 3). Tulokset osoittavat, että aurinkosähkö parantaa energiakustannusten ennakoitavuutta ja tukee kustannustehokkaasti muita sähköpohjaisia lämmitysratkaisuja.

Taulukko 3. Aurinkosähköjärjestelmän tiedot

Tyyppi	Aurinkosähkövoimala	
Järjestelmä	ON-Grid	
Teho	120	kWp
Nimellisteho	100	kW
Arvioitu sähköntuotanto	91 000	kWh/vuosi
Hankintakustannus	72 500	€ (alv 0 %)
Kokonaishäviö	23	%
Ostosähköhintä	0,1	€/kWh
Vuotuinen rahallinen hyöty	9100	€/vuosi
Takaisinmaksuaika	8	vuotta
Aurinkosähkön tuotantohinta 30 vuoden ajalle (omakustan- nushinta)	0,027	€/kWh

Levelised Cost of Electricity (LCOE) kuvaa sähköntuotannon keskimääräistä kustannusta koko järjestelmän elinkaaren ajalta (Finsolar, 2015). Se lasketaan jakamalla järjestelmän elinkaaren aikaiset kokonaiskustannukset, jotka koostuvat investointikustannuksista (CAPEX) ja käyttökustannuksista (OPEX), järjestelmän koko elinkaaren aikana tuottamalla sähköenergialla (Finrepo, n.d.). Näin saadaan tuotetun sähkön yksikkökustannus, joka mahdollistaa eri energiantuotantomuotojen vertailun keskenään.

Esimerkki LCOE kaavassa 3

$$LCOE = \frac{(investointikustannukset + käyttökustannukset)}{energian kokonaistuotanto} \quad (3)$$

Motivan (2024) esimerkkikohteisiin perustuva tarkastelu osoittaa, että teollisten lämpöpumppuinvestointien suuruusluokka on tyypillisesti 100 000-600 000 euroa, ja niihin liittyvä lämmitysenergian säästöpotentiaali on useimmissa kohteissa noin 10-15 %. Joissakin tapauksissa lämpöpumppuratkaisuilla on voitu vähentää kaukolämmön tuotantoa jopa merkittävästi, mikä korostaa teknologian potentiaalia erityisesti jatkuvatoimisissa prosesseissa. Investointien takaisinmaksuaika riippuu olennaisesti sähkön ja lämmön hintasuhteesta sekä hankkeen laajuudesta, ja usein osa kustannuksista liittyy samanaikaisiin järjestelmä uudistuksiin, joita ei voida kohdistaa suoraan energiansäästötoimiin. Tulosten perusteella lämpöpumppuratkaisujen taloudellinen ja toiminnallinen

onnistuminen edellyttää järjestelmän jatkuvaa seuranta, huolellista dokumentointia sekä vaiheittaista toteutusta erityisesti suurissa teollisuuskohteissa (Motiva, 2024).

7 KEHITYSEHDOTUKSET

7.1 Suositeltu ratkaisu

Polarthermin olisi perusteltua harkita liittymistä Kiinteistöalan energiatehokkuussopimukseen sopimuskaudelle 2026-2035. Sopimukseen liittyminen tukisi yrityksen systemaattista energiatehokkuustyötä, auttaisi tavoitteiden asettamisessa ja seurannassa sekä vahvistaisi energiatehokkuustoimien pitkäjänteistä kehittämistä. Lisäksi sopimus mahdollistaa energiatukien hakemisen energiatehokkuusinvestointeihin, mikä parantaa investointien taloudellista kannattavuutta ja madaltaa uusien ratkaisujen käyttöönoton kynnyksiä (Energiatehokkuussopimukset, n.d.).

Aurinkosähköjärjestelmän kokoluokan valintaan voivat vaikuttaa myös verotukselliset rajat. Verohallinnon energiaverotusohjeen mukaan sähköntuotantolaitokset, joiden nimellisteho on enintään 100 kVA (Vero, 2024), eivät kuulu sähköverovelvollisuuden piiriin. Tätä suuremmissa järjestelmissä syntyy velvollisuus rekisteröityä sähköverovelvolliseksi ja raportoida tuotannosta. Näin ollen verotukselliset näkökohdat voivat osaltaan ohjata aurinkosähköjärjestelmien mitoitusta erityisesti teollisuus- ja kiinteistökohteissa.

7.2 Toteutettavuuden arviointi

Ehdotettujen energiatehokkuusratkaisujen toteutettavuutta Polarthermin kohteessa arvioitaessa keskeisiä tekijöitä ovat tekninen soveltuvuus, taloudellinen kannattavuus sekä toteutuksen vaiheistettavuus. Tarkastellut ratkaisut,

erityisesti aurinkosähkö ja lämpöpumppuihin perustuvat lämmitysratkaisut, ovat teknisesti kypsiä ja laajasti käytössä vastaavissa teollisuuskohteissa. Ne soveltuvat hyvin Polarthermin tuotantotilojen jatkuvaan energiankäyttöön ja tukevat siirtymää pois fossiilisista polttoaineista.

Aurinkosähköjärjestelmän osalta toteutettavuus on hyvä, sillä investointi ei edellytä merkittäviä muutoksia olemassa olevaan energiainfrastruktuuriin ja voidaan toteuttaa itsenäisenä hankkeena. Järjestelmän takaisinmaksuaika on kohtuullinen, ja se parantaa sähkönkäytön kustannusten ennakoitavuutta. Lisäksi aurinkosähkö tukee muiden sähköpohjaisten ratkaisujen, kuten lämpöpumppujen, taloudellisuutta.

Lämpöpumppuratkaisujen toteutettavuus on vahvasti kohdekohtainen ja edellyttää tarkempaa esisuunnittelua. Erityisesti nykyisen lämmönjakoverkoston soveltuvuus, lämpötilatasot sekä rakennusautomaation taso vaikuttavat investoinnin laajuuteen ja kustannuksiin. Toteutus on kuitenkin mahdollista vaiheittain, mikä pienentää investointiriskiä ja mahdollistaa järjestelmän kehittämisen pitkällä aikavälillä. Vaiheittainen toteutus on perusteltua myös tuotannon häiriöttömän jatkuvuuden varmistamiseksi.

Kaukolämmön, sahan hukkalämmön sekä e-metaanin osalta toteutettavuus todettiin tässä työssä rajalliseksi tai taloudellisesti haastavaksi. Kaukolämpöverkkoon liittymisen esteenä ovat pitkät siirtomatkat ja korkeat investointikustannukset, kun taas sahan hukkalämmön osalta hyödynnettävää lämpöä ei ole tällä hetkellä saatavilla. E-metaanin käyttö olisi teknisesti mahdollista, mutta edellyttäisi merkittäviä muutoksia lämmityslaitteistoon, mikä heikentää ratkaisun lyhyen aikavälin toteutettavuutta.

Kokonaisuutena tarkasteltuna aurinkosähköön ja lämpöpumppuihin perustuva ratkaisu on Polarthermin näkökulmasta parhaiten toteutettavissa oleva ja vaiheittain kehitettävä kokonaisuus. Ratkaisu tukee yrityksen energiatehokkuustavoitteita, vähentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista ja mahdollistaa myöhemmät laajennukset esimerkiksi hukkalämmön hyödyntämiseen tai uusiin energiaratkaisuihin.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella Polartherm Oy:n energiankäyttöä ja arvioida vaihtoehtoisia ratkaisuja energiatehokkuuden parantamiseksi sekä fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämiseksi. Työssä yhdistettiin energiankatselmukseen perustuva lähtötietojen analyysi, tekninen tarkastelu sekä kustannus- ja toteutettavuusarviointi. Tulokset osoittavat, että merkittävin säästö- ja kehityspotentiaali liittyy erityisesti lämmitysjärjestelmiin ja sähköpohjaisiin ratkaisuihin.

Aurinkosähköjärjestelmän tarkastelu osoitti investoinnin olevan taloudellisesti kannattava ja teknisesti helposti toteutettavissa oleva ratkaisu. Järjestelmä parantaa energiakustannusten ennakoitavuutta, pienentää ostosähkön tarvetta ja tukee erityisesti lämpöpumppeihin perustuvien lämmitysratkaisujen taloudellisuutta. Aurinkosähkön merkitys korostuu osana kokonaisuutta, jossa sähköistämiseen perustuvat ratkaisut yleistyvät ja sähkön tuotannon päästöt Suomessa ovat kansainvälisesti vertailtuna alhaiset.

Lämpöpumppuratkaisut muodostavat työn perusteella keskeisimmän vaihtoehdon öljylämmityksen korvaamiselle. Vaikka investointikustannukset ovat merkittäviä ja edellyttävät huolellista esisuunnittelua, lämpöpumput tarjoavat pitkäaikaisia säästöjä ja merkittäviä päästövähennyksiä. Toteutettavuuden kannalta vaiheittainen eteneminen on perusteltua, sillä se mahdollistaa järjestelmän kehittämisen tuotantoa häiritsemättä ja investointiriskin hallinnan.

Muut tarkastellut vaihtoehdot, kuten kaukolämpö, sahan hukkalämmön hyödyntäminen, e-metaani sekä ORC-teknologia, tarjoavat kiinnostavia mahdollisuuksia yleisellä tasolla, mutta Polarthermin nykyisessä toimintaympäristössä niiden toteutettavuus on joko teknisesti, taloudellisesti tai ajallisesti rajallinen. Tästä huolimatta niiden seuraaminen on perusteltua, sillä energiamarkkinoiden ja teknologioiden kehittyminen voi muuttaa edellytyksiä tulevaisuudessa.

Työn pohdinnan perusteella voidaan todeta, että energiatehokkuuden parantaminen ei ole yksittäinen investointipäätös, vaan pitkäjänteinen prosessi, joka edellyttää jatkuvaa seurantaa, tavoitteiden asettamista ja järjestelmien kehittämistä. Liittyminen Kiinteistöalan energiatehokkuussopimukseen tukisi tätä

kehitystä tarjoamalla rakenteet seurannalle ja mahdollistamalla energiatukien hyödyntämisen.

Kokonaisuutena tarkasteltuna aurinkosähkön ja lämpöpumppujen yhdistelmä muodostaa Polarthermin näkökulmasta realistisimman ja vaikuttavimman ratkaisukokonaisuuden. Ratkaisu tukee yrityksen taloudellisia tavoitteita, vähentää hiilidioksidipäästöjä ja parantaa energiankäytön joustavuutta. Työ antaa hyvän lähtökohdan jatkosuunnittelulle, jossa yksityiskohtaisemmat mitoitus-, kustannus- ja aikataululaskelmat voidaan laatia investointipäätösten tueksi.

LÄHTEET

Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. (2015). Finsolar aurinkoenergiatietoa. Haettu 3.2.2026 osoitteesta <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>

CE Delft. (2020). Availability and costs of liquefied bio- and synthetic methane [PDF]. https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/03/CE_Delft_190236_Availability_and_costs_of_liquefied_bio_and_synthetic_methane_Def.pdf

Charalampidis, A., Sarantopoulos, N., Leontaritis, A., Roumpedakis, T. & Karrellas, S. (2025). Experimental investigation of a reversible heat pump/ORC for combined heating, cooling, and electricity production. In: Turunen-Saaresti, T., Crespi, F., Spinelli, A., Uusitalo, A. & White, M. T. (eds.) Proceedings of the 8th International Seminar on ORC Power Systems. Lappeenranta, Finland, pp. 201–209. Lisenssi: CC BY-NC-ND 4.0. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-412-288-7>

Eggers, N., Böttger, J. N. J., Kerpen, L., Sankol, B. U., & Birth, T. (2021). Refining VDI guideline 4663 to evaluate the efficiency of a power-to-gas process by employing limit-oriented indicators. Energy Efficiency. [Artikkeli]. 3–4. <https://doi.org/10.1007/s12053-021-09991-8>

ELY-keskukset. (2025). Ohjaavien ministeriöiden ja Satakunnan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen välinen tulossopimus vuosille 2025–2028. Työ- ja elinkeinoministeriö. Haettu 16.1.2026 osoitteesta <https://tem.fi/ely-keskukset>

Energiatehokkuuslaki 1429/2014. Energiakatselmustoiminta. <https://www.finlex.fi/eli?uri=http://data.finlex.fi/eli/sd/2014/1429/ajantasa/2025-12-30/fin>

Energiatehokkuussopimukset 2026–2035. (n.d.). Energiatehokkuussopimukset. Haettu 5.12.2025 osoitteesta <https://energiatehokkuussopimukset.fi/sopimus/#sopimukset-toimenpideohjelmajaliittymisasiakirjat>

Energiateollisuus. (2026). Energiavuosi 2025. PDF. Haettu 2.2.2026 osoitteesta <https://energia.fi/tilastot/sahkotilastot/#collapse-header-37387>

Energiateollisuus. (n.d.). EU:n energiapolitiikka. Haettu 14.1.2025 osoitteesta <https://energia.fi/energiapolitiikka/eu-vaaliviestit/>

Energiavirasto. (n.d.). Energiakatselmustoiminta. Haettu 16.1.2025 osoitteesta <https://energiavirasto.fi/energiakatselmukset>

EPD International. (2024). Electricity, steam and hot/cold water generation and distribution, version 4.2.1. Haettu 18.1.2026 osoitteesta <https://www.environdec.com/pcr-library/pcr2007-08>

Euroopan komissio. (2026). Performance of grid-connected PV. Tuottolaskelma sähköalan palveluntarjoajalta 5.1.2025, sähköposti.

FCG Finnish Consulting Group. (2023). Eurajoen ilmastosuunnitelma. Perustuu Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) ALas-skenaariotyökaluun.

Fingrid. (2025). Sähköntuotannon ja -kulutukse CO₂-päästöarviot. Haettu 13.1.2025 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/co2/>.

Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. (2015). Finsolar aurinkoenergiatietoa. Haettu 3.2.2026 osoitteesta <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>

IEA (2019), The Future of Hydrogen, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>. Lisenssi: CC BY 4.0.

IEA. (2025). Gas 2025, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/gas-2025>, Lisenssi CC BY 4.0.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2024). IPCC Expert Meeting on Carbon Dioxide Removal Technologies and Carbon Capture, Utilization and Storage [Raportti]. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2025/01/2407_CDR_CCUS_Report.pdf

IPCC. (2024). IPCC Global Warming Potential Values. Haettu 18.1.2026 osoitteesta <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-08/Global-Warming-Potential-Values%20%28August%202024%29.pdf>

ISO. (n.d.). Standardit. Haettu 2.2.2026 osoitteesta <https://www.iso.org/standards.html>

Karelia. (n.d.) Vedyn käyttö ja jatkojalostus. Luentomateriaali. Haettu 3.2.2026 osoitteesta <https://moodle.karelia.fi>

Kaukolämpö entistä puhtaammin ja tehokkaammin (2022) Motiva. https://www.motiva.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2022/kaukolampoa_entista_puhtaammin_ja_energiatehokkaammin.18301.news

Kaukolämpötoimija. (2025). Puhelin keskustelu 8.12.2025.

Kevyt polttoöljy, vähärikkinen, Suomi, Suomi. (n.d.). OpenCO₂net Oy. Haettu 5.1.2025 osoitteesta <https://www.openco2.net/fi/emission-factor/1108/>

Luvian Saha (2025). Puhelinkeskustelu tehtaanjohtaja Unto Puosin kanssa 8.12.2025

Lämpöpumppujen hankintaopas kunnille ja taloyhtiöille. (2.9.2025). Motiva. Haettu 16.1.2026 osoitteesta <https://www.motiva.fi/tietopankki/lampopumppujen-hankintaopas-kunnille-ja-taloyhtiöille/>

Mäkelä, V. (2024). ORC-järjestelmän mitoittaminen hakelämmitysjärjestelmään: Maatilakokoluokassa [AMK-opinnäytetyö, Tampereen

ammattikorkeakoulu]. Theseus. Haettu 18.1.2026 osoitteesta <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202405028824>

Organic Rankine Cycle Market Size 2026-2033. (n.d.). Grand View Research. Haettu 18.1.2026 osoitteesta <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/organic-rankine-cycle-market>

Polartherm. (2025). Energiankulutustaulukko. Sähköposti. 1.9.2025.

Purhonen, M. (2010). ORC-prosessin käyttö sähköntuotannossa. [Kandidaattityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto]. LUTPub. Haettu 16.1.2026 osoitteesta <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201101071019>

Reinikainen, T. et ym. (2015). Valvontaohje otsonikerrosta heikentäviä aineita tai fluorattuja kasvihuonekaasuja sisältävien laitteiden huoltoa valvoville viranomaisille (2. Päivitetty painos). Haettu 18.1.2026 osoitteesta <https://helda.helsinki.fi/items/dc792473-4a97-4d52-a32d-9b0c49449c99>

Rissanen, V.-M. (2014). Mikro ORC-voimalan potentiaaliset sovelluskohteet. [Kandidaattityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto]. LUTPub. Haettu 18.1.2026 osoitteesta <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/95640>

Selvitysraportti: Sähköistyminen, hukkalämmöt ja lämpöpumput teollisuudessa. (12.1.2026). Motiva. Haettu 16.1.2026 osoitteesta <https://www.motiva.fi/tietopankki/selvitysraportti-sahkoistyminen-hukkalammot-ja-lampopumput-teollisuudessa/>

SYKE - kuntien ja alueiden khk-päästöt. (2026). Eurajoki. Haettu 16.1.2026 osoitteesta https://paastot.hiilineutraalisuomi.fi/#fi_kunta51

Sähköalan palveluntarjoaja. (2025). Tarjous ja tuottolaskelma. Sähköposti 5.1.2025.

Turunen T. & Jääskeläinen J. (2021). Motiva. Suomen teollisuuden sähköistyminen ja sen vaikutus energiatehokkuutteen ja hukkalämpöjen hyödyntämiseen.

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2022). Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. Haettu 24.11.2025 osoitteesta <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-811-0>

Uusitalo, A. (2010). Polttomoottorivoimalan energiatehokkuuden parantaminen hukkalämpövirtojen sähköksi muunnolla. [Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto]. Saatu sähköpostilla 16.1.2026.

Verohallinto. (2024). Energiaverotus. Haettu 3.2.2026 osoitteesta <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/56206/energiaverotus5/>