

Vastaanottaja
Työ- ja Elinkeinoministeriö

Asiakirjatyyppi
Raportti

Päivämäärä
06/2024

EED ARTIKLAN 25 MUKAINEN KATTAVA ARVIOINTI TYÖ- JA ELINKEINOMINISTERIÖ



Rambollin yhteyshenkilö:

Jouni Kivirinne
+358 40 3341868
jouni.kivirinne@ramboll.fi

Tarkastaja: Jouni Kivirinne
Hyväksyjä: Jouni Laukkanen

Ramboll Finland Oy
PL 25
Itsehallintokuja 3
02601 ESPOO

P +358 20 755 611
F +358 20 755 6201
<https://fi.ramboll.com>

Y-tunnus 0101197-5
Kotipaikka Espoo

SISÄLTÖ

1.	Johdanto	2
2.	Lämmityksen ja jäähdytyksen tarjonnan kuvaus	3
2.1	Lämmön ja jäähdytyksen tuotanto	3
2.2	Nykyisten kaukolämpöverkkoon kytkettyjen yhteistuotantolaitosten yhdistetyt tiedot	7
2.3	Nykyisten yhteistuotantolaitoksiin kytköksissä olevien kaukolämpöverkkojen yhdistetyt tiedot	8
3.	Lämmön ja jäähdytyksen tarjonnan tulevaisuuden näkymä	10
3.1	Suunnitteilla olevat uudet lämmitys- ja jäähdytystarjontapisteet	10
3.2	Teollisuuden energiankäyttö ja syntyvä hukkalämpö Suomessa	10
3.3	Suunnitteilla olevat puhtaan siirtymän hankkeet	15
3.3.1	Puhtaan siirtymän hankkeiden hukkalämpökapasiteetti ja sen hyödyntäminen	18
4.	Näkymä lämmitysmarkkinaan	20
4.1	Rakennusten lämmitystarve	20
4.2	Muutos kaukolämmön tuotannossa	20
4.3	Muut lämmitysmuodot	23
5.	Näkymä sähkömarkkinaan	25
6.	Kustannus-hyötyanalyysi	26
6.1	Laskennan oletukset	27
6.2	Skenaarion tulokset	27
6.2.1	Energia- ja päästötulokset	27
6.2.2	Kustannustulokset	32
6.2.3	Skenaarioiden taloudelliset tunnusluvut	34
6.3	Skenaarion 6 erillistarkastelu	36
6.4	Herkkyysanalyysi	38
7.	Sosioekonomia ja ympäristötekijät	42
7.1	Skenaario 0	42
7.2	Skenaario 3	43
7.3	Skenaario 6	44
8.	Tulosten johtopäätökset	46
9.	Yhteenveto	48
10.	Lähteet	50

LIITTEET:

Liite 1. Yksilöidyt laitokset EED Artikla 25 liitteen X, kohdan 2b mukaisesti

Liite 2. Skenaariolaskennan oletukset

1. JOHDANTO

Energiatehokkuusdirektiivi (EED) (EU) 2023/1791 edellyttää jäsenvaltioilta 25.1 artiklan mukaista kattavaa arviointia, johon *sisältyy analyysi tehokkuuteen liittyvistä taloudellisista mahdollisuuksista lämmityksessä ja jäähdytyksessä. Kattava arviointi tehdään EED:n liitteen X mukaisesti ja se toimitetaan komissiolle 30.6.2024 mennessä osana yhdennettyä kansallista energia- ja ilmastosuunnitelmaa.*

Työ jakaantuu kahteen osatehtävään:

1. Lämmityksen ja jäähdytyksen kysynnän ja tarjonnan kuvaus
2. Analyysi tehokkuuteen liittyvistä taloudellisista mahdollisuuksista lämmityksessä ja jäähdytyksessä

Osatehtävässä 1 on luotu tilannekuva Suomen lämmön ja jäähdytyksen tuotannosta EED artikla 25 liitteen X mukaisesti. Osatehtävässä luodaan myös näkymä tulevaisuuteen lämmitys- ja sähkömarkkinoiden osalta. Suomessa lämmitys- ja jäähdytysverkot ovat pääosin toteutettuja ja niiden laajentuminen on tällä hetkellä maltillista. Suomen kaukolämpöverkot laajenevat valtaosin uusien aluerakentamiskohteiden myötä. Suomen kaukolämmön osalta on oleellista, miten nykyinen kaukolämmön tuotanto on mahdollista korvata esimerkiksi lämpöpumpuilla ja hukkalämmöillä mahdollistaen tehokkaan yhteiskunnallisen järjestelmän niin kustannusten kuin primäärienergian käytön puolesta.

Osatehtävässä 2 on tehty kustannus-hyötyanalyysi skenaariotarkastelulla Suomen lämmitysjärjestelmästä vuoteen 2030. Osatehtävää 2 varten Energiateollisuus ry teki jäsenyrityksilleen kyselyn kaukolämmön tuotannon tulevaisuuden näkymistä. Skenaariotarkastelussa tarkastellaan hukkalämpöjen laajamittaista hyödyntämistä, sähköistymisen vaikutusta sekä vaikutuksia, jos kaukolämpöasiakkaiden määrä muuttuu. Työssä huomioidaan ja tarkastellaan Skenaarioiden sosioekonomisia ja ympäristövaikutuksia.

Työn toteutuksesta vastasi Ramboll Finland Oy ja työtä varten perustettiin ohjausryhmä. Ohjausryhmään kuului edustajia Työ- ja elinkeinoministeriöstä, Energiavirastosta sekä Energiateollisuus ry:stä.

2. LÄMMITYKSEN JA JÄÄHDYTYKSEN TARJONNAN KUVAUS

Tässä luvussa kuvataan Suomen lämmitys- ja jäähdytystuotannon laitosten sekä niihin liittyvien verkostojen teknisiä tietoja Energiatehokkuusdirektiivin (EED) (EU) 2023/1791 Liitteen X mukaisesti. Luku jakaantuu Liitteen X alakohtien 2b, 3, 4 ja 5c mukaisesti. Teknisten tietojen lähtötietoina on hyödynnetty Energiaviraston Voimalaitosrekisteriä sekä Energiateollisuuden Kaukolämpötilaston viimeisimpiä tietoja. Viimeisimmät saatavilla olevat tiedot koskevat vuotta 2022. (Energiavirasto 2024) (Energiateollisuus 2023a).

2.1 Lämmön ja jäähdytyksen tuotanto

EED:n Liitteen X kohdan 2b mukaisesti selvityksessä on yksilöity hukkalämpöä tai -kylmää tuottavat laitokset ja niiden lämmitys- ja jäähdytysenergian tuotanto vuodessa seuraavalla jaottelulla:

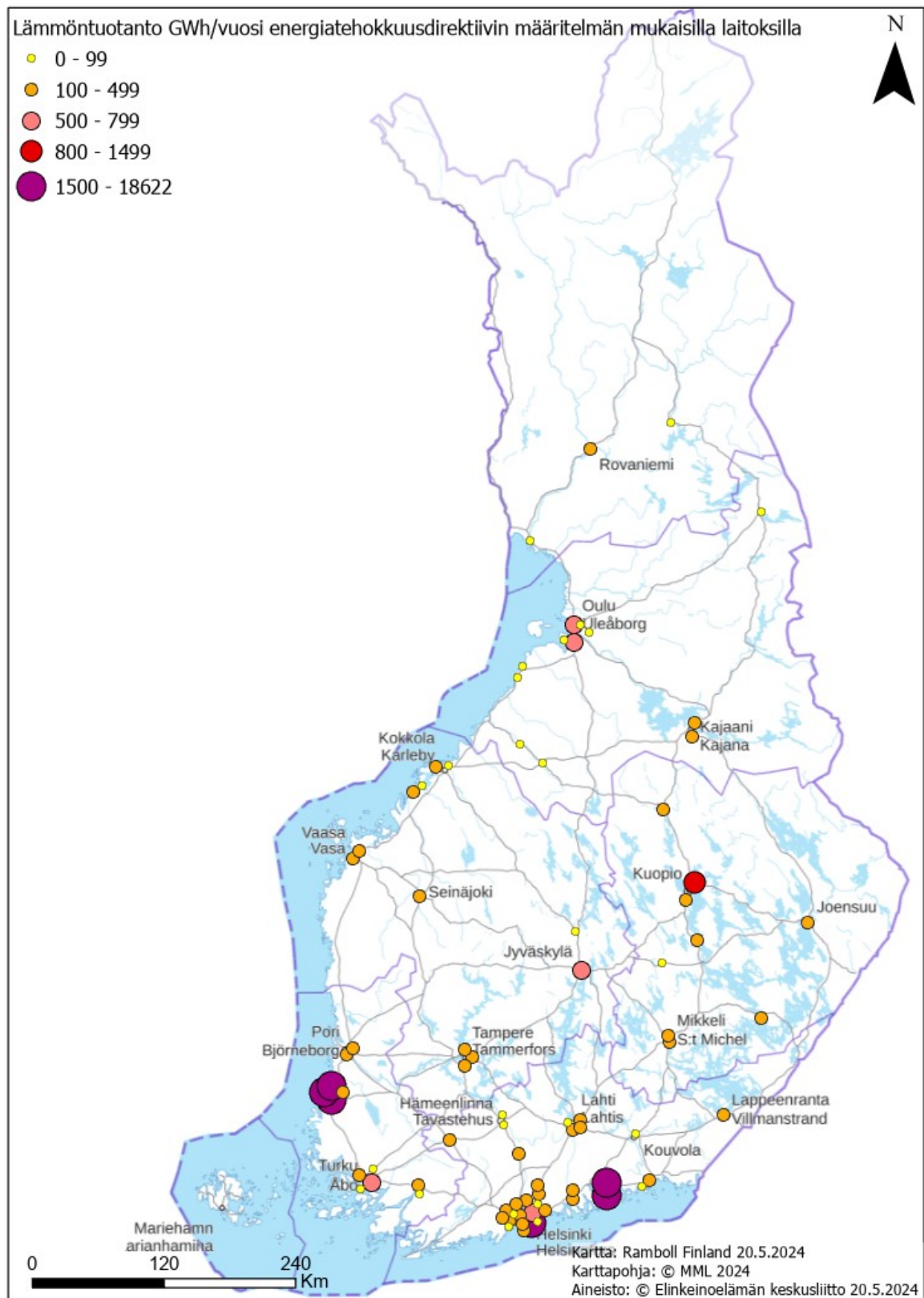
- lämpövoimalat, jotka pystyvät heti tai jälkiasennusten jälkeen tuottamaan hukkalämpöä, jonka kokonaislämpöteho on yli 50 MW
- lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP), joiden kokonaislämpöteho on yli 20 MW
- jätteenpolttolaitokset
- uusiutuvan energian laitokset, joiden kokonaislämpöteho on yli 20 MW, jotka eivät ole i ja ii alakohdassa tarkoitettuja laitoksia, ja jotka tuottavat lämmitystä tai jäähdytystä uusiutuvista lähteistä peräisin olevaa energiaa käyttäen
- teollisuuslaitokset, joiden kokonaislämpöteho on yli 20 MW ja jotka voivat tuottaa hukkalämpöä

Taulukko 1 Laitosten yksilöinnin menetelmät

Laitostyyppi	Yksilöinnin työmenetelmä
Lämpövoimalat (yli 50 MW)	- Voimalaitosrekisterin <i>erillistuotanto</i> ja <i>ydinvoima</i> -laitostyyppit - Hukkalämpöteho arvioitu sähkötehosta $\rightarrow$ polttoainetehto (sähköteho / 0,4) $\rightarrow$ hukkalämpöteho (polttoainetehto * (0,9-0,4)) - Suljettu ulkopuolelle myös vara- ja reservikäytössä olevat yksiköt, koska näiden osalta hukkalämmön hyödyntämisen merkitys olisi vähäinen. Myöskään lämmöntalteenottoon investointia näillä laitoksilla ei nähdä järkevänä.
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	- Kaukolämpötilastosta (Taul4) on valittu kaukolämmön yhteisteholtaan yli 20 MW laitokset, joissa on myös sähköntuotantoa. Jätteenpolttolaitokset eivät sisälly tähän luokkaan. - Laitoskohtaiset lämmöntuotantomäärät on määritetty Kaukolämpötilaston verkko-/yrityskohtaisesta arvosta "Kaukolämmön nettotuotannosta yhteistuotantona" (Taul1) seuraavasti: - Jos verkossa vain yksi CHP-tuotantolaitos, on käytetty suoraan arvoa. - Jos useampi CHP-laitos, jaettu nettotuotanto polttoaineiden suhteessa. - Jos yrityksellä useampi samaa polttoainetta käyttävä CHP-laitos, oletettu kaikilla perustuotanto ja jaettu nettotuotanto kaukolämpötehon suhteessa.
Jätteenpolttolaitokset	- Tunnistettu käytetystä polttoaineesta. - Ei huomioitu rinnakkaispolttolaitoksia. - Tuotettu lämpömäärä CHP-laitosten osalta määritetty kuten edellä muun CHP-tuotannon kohdalla. - Lämmön erillistuotannon kohdalla lämmöntuotantomäärä arvioitu verkon erillistuotannon käyttämän "Yhdyskuntajäte/sekajäte" perusteella hyötysuhteella 0,9.
Uusiutuvan energian laitokset (yli 20 MW), jotka eivät kuulu em. ryhmiin i) ja ii)	- Lämpöteholtaan yli 20 MW lämpöpumppulaitokset. - Jäähdytyksen tuotanto määritetty Kaukojäähdytystilastosta, jossa ilmoitettu kunkin tuotantoyksikön tyyppi sekä tyyppikohtaiset tuotantomäärät. - Mikäli useampi tuotantoyksikkö edustaa samaa tyyppiä, on tuotantomäärä jaettu kullekin yksikölle suhteessa tehoon. - Hukkalämmitys eli kylmätuotannon yhteydessä syntyvän lämmön jättäminen hyödyntämättä on arvioitu vähäiseksi. Hukkajäähdytystä eli lämmöntuotannon yhteydessä syntyvän kylmän jättämistä hyödyntämättä ei ole huomioitu laskelmassa.
Teollisuuslaitokset (yli 20 MW)	Teollisuuden CHP-laitokset, jotka tuottavat lämpöä kaukolämpöverkkoihin. Tunnistettu yhdistämällä tiedot Voimalaitosrekisteristä sekä Kaukolämpötilastoista, eli valittu Voimalaitosrekisterin "Teollisuus CHP" -laitokset, jotka Kaukolämpötilaston mukaan tuottavat myös kaukolämpöä.

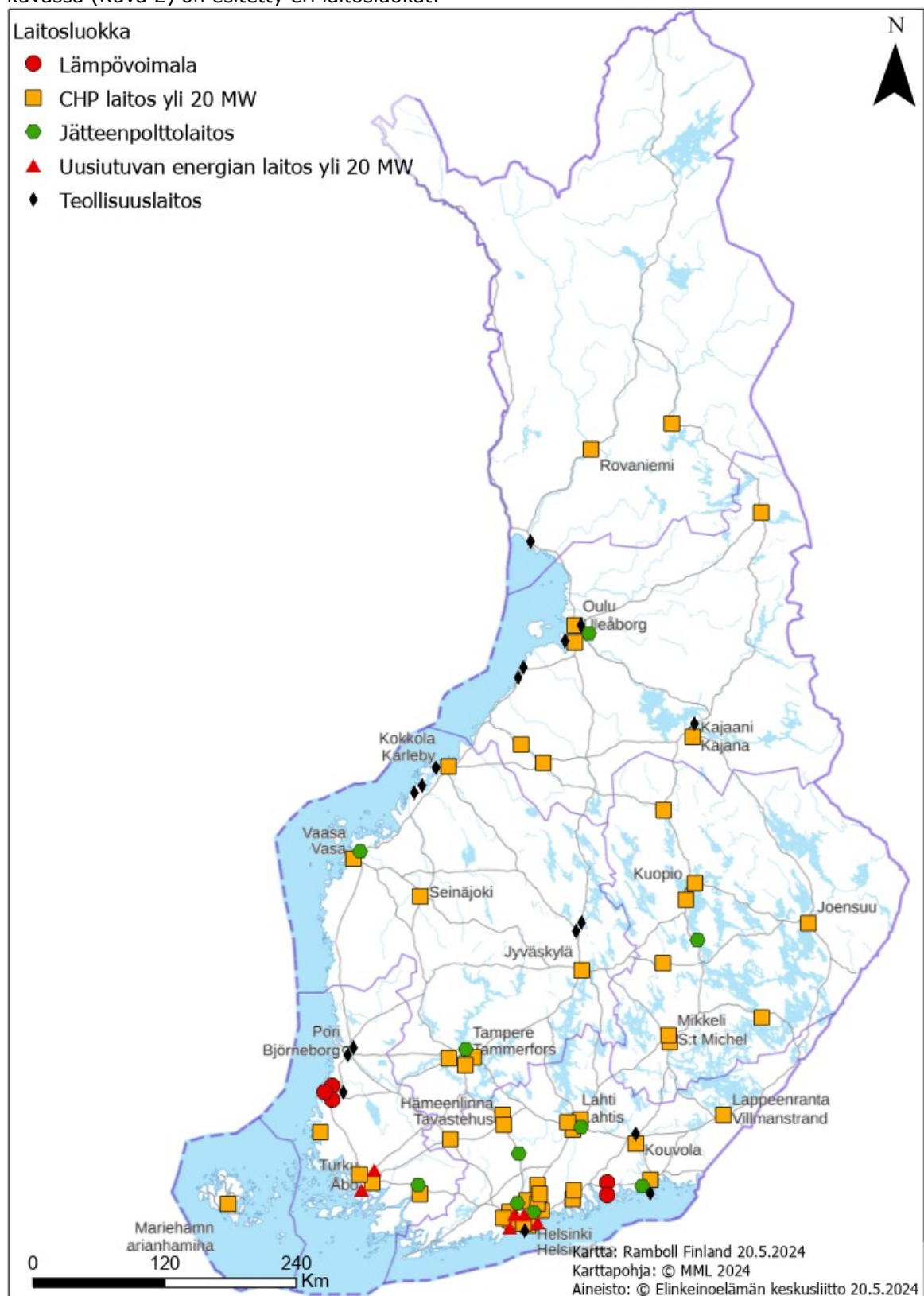
Laitokset on yksilöity ja listattu Liitteessä 1. Seuraavat karttakuvat havainnollistavat laitosten sijainnit sekä lämmöntuotannon painottumisen Suomessa. Lämmöntuotanto painottuu isoihin asutuskeskittyymiin sekä ydinvoimalaitosten sähköntuotannon yhteydessä syntyvään lämpöön

Eurajoella ja Loviisassa (Kuva 1). Pohjois-Suomessa on vähemmän lämpöä tuottavia laitoksia, missä ei myöskään ole yhtä tiheää asutusta kuin Etelä-Suomessa.



Kuva 1. Lämmöntuotanto GWh/vuosi direktiivin määritelmän mukaisilla laitoksilla ja niiden jakautuminen Suomessa

Edellisessä kuvassa (Kuva 1) esitetty lämmöntuotantomäärä (GWh) eri laitoksilla. Seuraavassa kuvassa (Kuva 2) on esitetty eri laitosluokat.



Kuva 2. Direktiivin määritelmän mukaisten lämpöä tuottavien laitosten sijainti ja laitosluokka (ET, 2024)

CHP-laitokset jakautuvat tasaisesti ympäri Suomea eri kaupunkeihin. Jätteenpolttolaitokset ja uusiutuvan energian laitokset ovat keskittyneet Etelä-Suomeen. Lämpövoimalat ovat Loviisan ja Rauman ydinvoimalaitokset. Teollisuuslaitoksia on hajautetusti ympäri Suomea suuremmilla paikkakunnilla.

2.2 Nykyisten kaukolämpöverkkoon kytkettyjen yhteistuotantolaitosten yhdistetyt tiedot

Tässä luvussa esitetään Liitteen X kohdan 3 mukaisesti yhdistetyt tiedot olemassa olevissa kaukolämmitys – ja kaukojäähdytysverkoissa sijaitsevista yhteistuotantoyksiköistä viidessä kapasiteettiluokassa kattaen seuraavat tiedot:

- Primäärienergian kulutus
- Kokonaishyötysuhde
- Primäärienergian säästöt
- CO₂-päästökertoimet

Primäärienergian kulutuksen, kokonaishyötysuhteen ja CO₂-päästökertoimien laskenta perustuu Kaukolämpötilastojen tietoihin (Energiateollisuus 2023a). Primäärienergian kulutus on suoraan tilastoista saatava tieto. Kokonaishyötysuhde on laskettu jakamalla kokonaistuotanto primäärienergian kulutuksella. CO₂-päästökerroin on laskettu hyödynjakomenetelmällä laitoskohtaisesti tilastoilla lasketuista sähkön- ja lämmöntuotannon hyötysuhteilla.

Primäärienergian säästöjen laskeminen perustuu Energiatehokkuusdirektiivin Liitteen II laskentakaavaan:

$$PES = \left(1 - \frac{1}{\frac{CHPH_{\eta}}{RefH_{\eta}} + \frac{CHPE_{\eta}}{RefE_{\eta}}} \right) * 100\%$$

jossa:

PES on primäärienergian säästö

CHPH_η on yhteistuotannon lämpöhyötysuhde, jolla tarkoitetaan vuosittaista hyötylämmön tuotosta jaettuna yhteistuotannolla tuotetun hyötylämpötuotoksen ja sähkön yhteismäärään käytetyllä polttoainepanoksella.

RefH_η on erillisen lämmöntuotannon hyötysuhteen viitearvo.

CHPE_η on yhteistuotannon sähköhyötysuhde, jolla tarkoitetaan vuosittaista yhteistuotannosta saatavaa sähköä jaettuna yhteistuotannolla tuotetun hyötylämpötuotoksen ja sähkön yhteismäärään käytetyllä polttoainepanoksella.

RefE_η on erillisen sähköntuotannon hyötysuhteen viitearvo.

Sähkön ja lämmön tuotannon hyötysuhteen viitearvot on laskettu Komission delegoidun asetuksen (EU) 2023/2104 mukaisesti, jossa huomioidaan laitosten rakentamisvuosi, polttoainetyyppi sekä ilmaston keskilämpötila.

Kootut tulokset on esitetty alla (Taulukko 2).

Taulukko 2 Nykyisten kaukolämpöverkkoon kytkettyjen yhteistuotantolaitosten yhdistetyt tiedot

CHP-kapasiteetti	n	Primääri-energian kulutus [GWh]	Kokonais-hyötysuhde	Primääri-energian säästöt	Tuotetun lämmön CO ₂ -päästökerroin [kg/MWh]
- 20MW	8	318	64 %	32 %	31
20–50	23	3 364	79 %	45 %	52
50–150	36	11 290	76 %	37 %	112
150–300	18	12 339	93 %	24 %	92
>300	3	3 243	86 %	14 %	228

2.3 Nykyisten yhteistuotantolaitoksiin kytköksissä olevien kaukolämpöverkkojen yhdistetyt tiedot

Tässä luvussa esitetään Liitteen X kohdan 4 mukaisesti olemassa olevista yhteistuotannosta saadulla energialla toimivista kaukolämmitys – ja kaukojäähdytysverkoista viidessä kapasiteettiluokassa kattaen seuraavat tiedot:

- Primäärienergian kokonaiskulutus GWh/a
- Yhteistuotantoyksikköjen primäärienergian kulutus GWh/a
- Yhteistuotannon osuus kaukolämmityksen tai kaukojäähdytyksen tuottamisessa GWh/a
- Kaukolämmityksen järjestelmähäviö GWh/a
- Kaukojäähdytyksen järjestelmähäviö GWh/a
- Liittymätiheys MWh/johto km
- Järjestelmien osuudet eri käyttölämpötilaryhmittäin

Esitetyt tiedot perustuvat Kaukolämpö- ja kaukojäähdytystilaston tietoihin (Energiateollisuus 2023a) (Energiateollisuus 2020) (Energiateollisuus 2023b).

Kootut tulokset on esitetty alla (Taulukko 3 ja Taulukko 4).

Taulukko 3 Nykyisten yhteistuotantolaitoksiin kytköksissä olevien kaukolämpöverkkojen yhdistetyt tiedot I

Kapasiteetti-luokat	Primäärienergian kokonaiskulutus	Yhteistuotantoyksikköjen primäärienergian kulutus	Yhteistuotannon osuus kaukolämmityksen tai kaukojäähdytyksen tuottamisessa
<20 MW	29	25	77 %
20–100 MW	4 119	3 178	41 %
100–300 MW	7 124	6 257	49 %
300–900 MW	25 344	19 102	44 %
>900	11 993	9 105	57 %

Taulukko 4 Nykyisten yhteistuotantolaitoksiin kytköksissä olevien kaukolämpöverkkojen yhdistetyt tiedot II

Kapasiteetti-luokat	Kauko-lämmityksen järjestelmä-häviö	Kauko-jäähdytyksen järjestelmä-häviö	Liittymätiheys [MWh/johto km]	Järjestelmien osuudet eri käyttölämpötilaryhmittäin*
<20 MW	17 %	0 %	1.2	86
20–100 MW	8 %	0 %	3.2	87
100–300 MW	8 %	0 %	2.8	86
300–900 MW	9 %	0 %	3.5	85
>900	1 %	0 %	3.9	84

***100% järjestelmistä on käyttölämpötilaryhmissä 84–87 °C.**

3. LÄMMÖN JA JÄÄHDYTYKSEN TARJONNAN TULEVAISUUDEN NÄKYMÄ

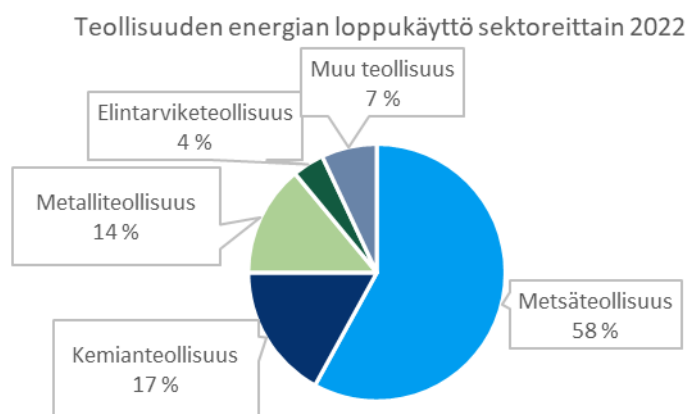
3.1 Suunnitteilla olevat uudet lämmitys- ja jäähdytystarjontapisteet

Suomessa lämmitys- ja jäähdytysverkot ovat pääosin toteutettuja ja niiden laajentuminen on tällä hetkellä maltillista. Suomen kaukolämpöverkot laajenevat valtaosin uusien aluerakentamiskohteiden myötä. Suomeen on suunnitteilla monia uusia hankkeita, joissa voi syntyä kaukolämpöön hyödynnettävää hukkalämpöä. Näihin sisältyy muun muassa vetyteollisuuden hankkeet, biohiilen valmistus, datakeskukset sekä akkuteollisuuden hankkeet.

3.2 Teollisuuden energiankäyttö ja syntyvä hukkalämpö Suomessa

Nykyisten ja uusien hukkalämpökohteiden potentiaalia on hyvin haastava arvioida. Tässä työssä on havainnollistettu hukkalämmön potentiaali tutkimalla teollisuuden energian käyttöä kunnittain ja arvioimalla siitä hyödynnettävää olevaa määrää.

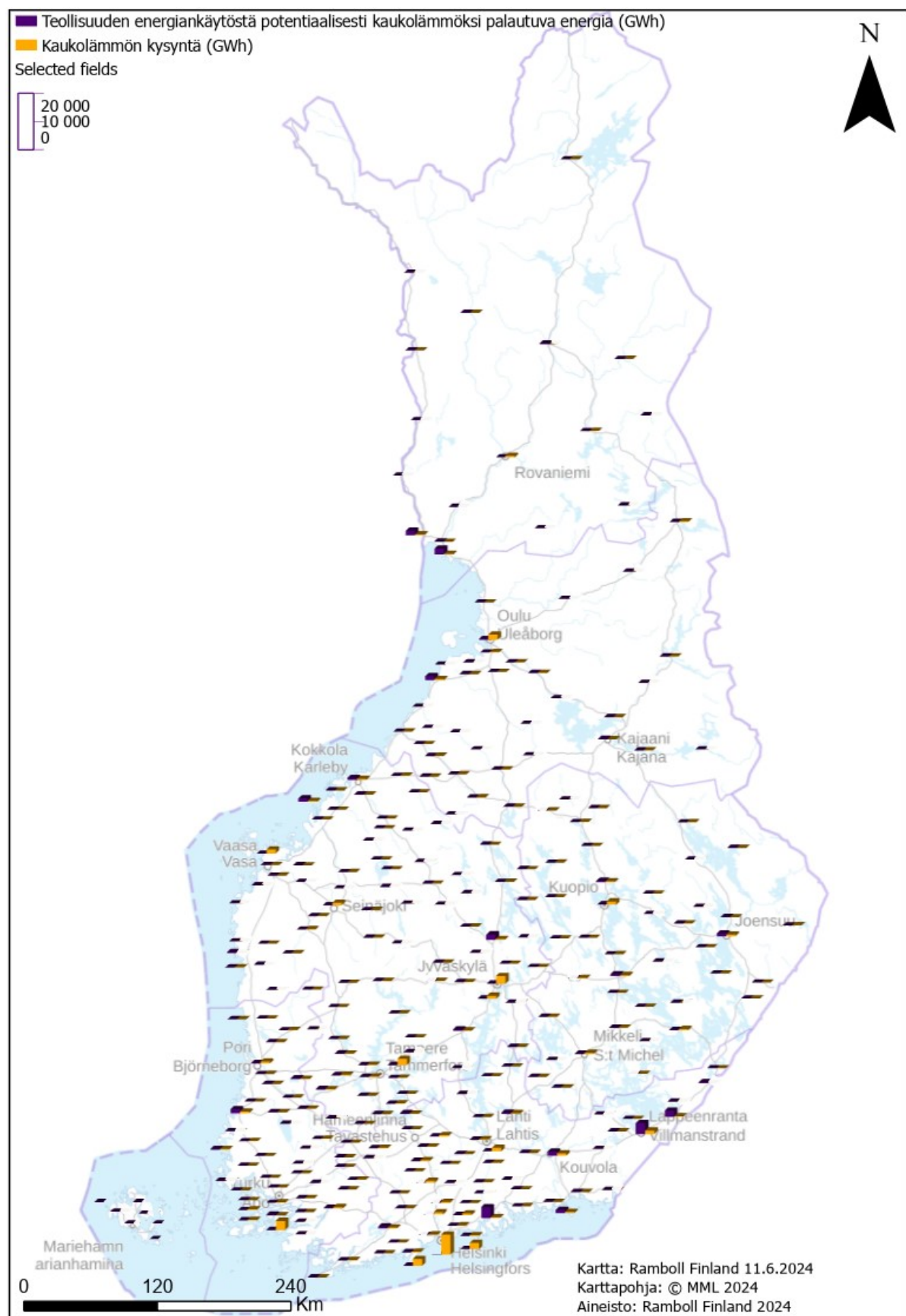
Teollisuuden kokonaisenergian käyttö Suomessa oli vuonna 2022 oli 126 TWh eli noin 44 % loppukäytöstä. Teollisuuden sähkönkulutus oli 36 TWh. Metsäteollisuuden osuus teollisuuden energiankäytöstä on noin 58 %, kemianteollisuuden 17 % ja metallinjalostuksen 14 %. Teollisuuden energian loppukäyttö väheni 17 % ajanjaksolla 2000–2022 (Motiva 2024).



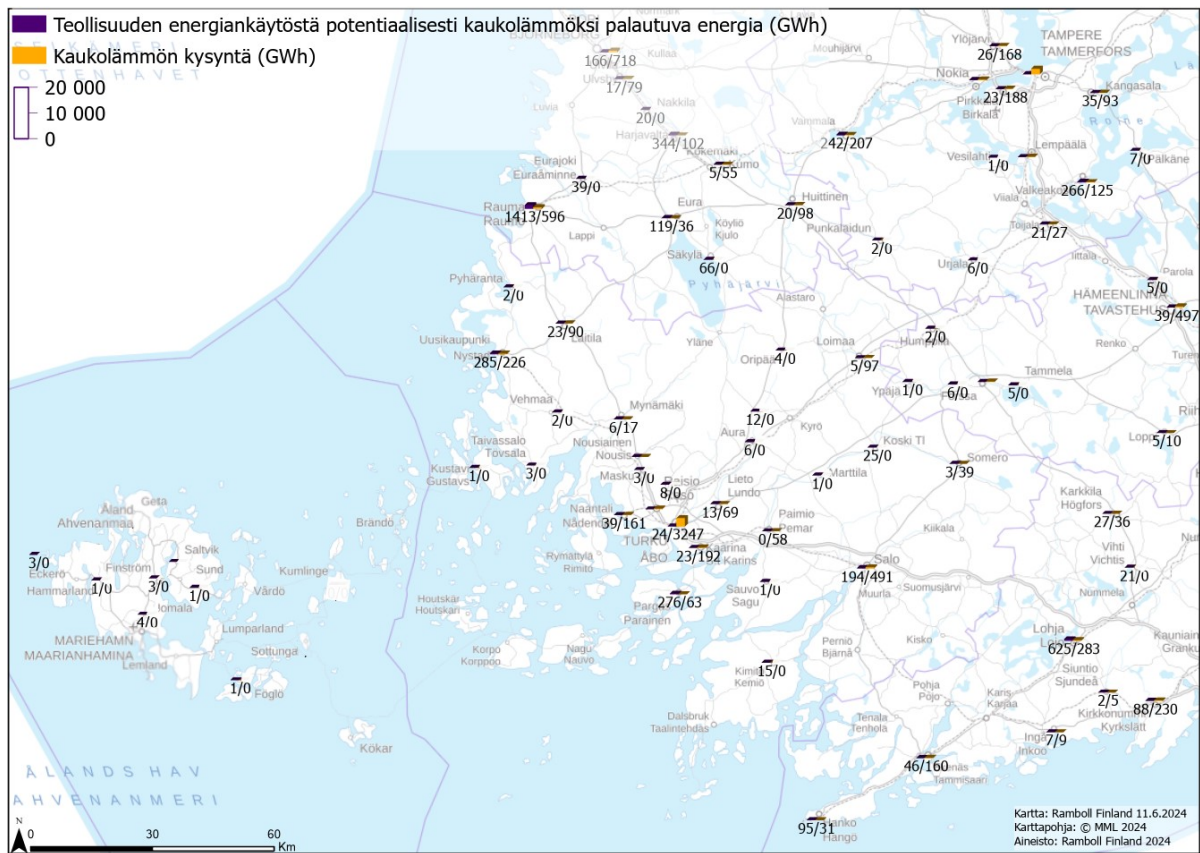
Kuva 3 Teollisuuden energiakäytön jakauma vuonna 2022 (Motiva, 2024)

Teollisuuden energiankäytöstä palautuvaa energiamäärää tarkasteltiin kunnittain (SYKE, 2024). Hukkalämmöksi on määritetty 40% teollisuuden käyttämästä energiamäärästä, joka oletetaan olevan teknisesti ja kustannustehokkaasti palautettavissa yhteiskunnan käyttöön.

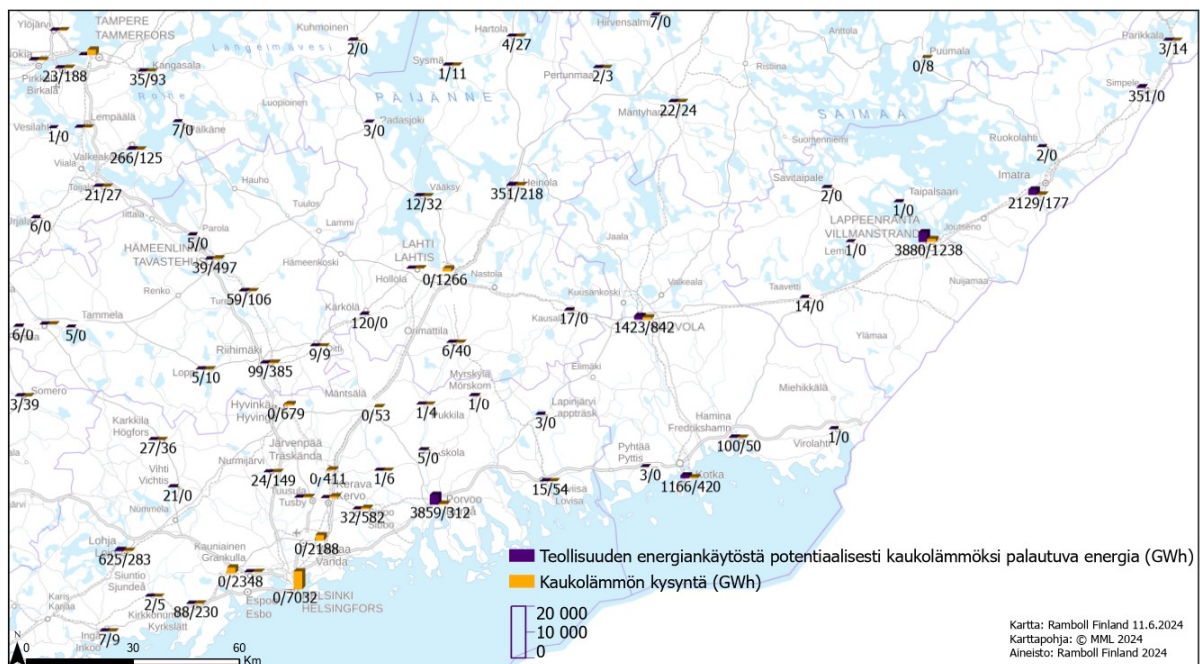
Teollisuuden energiankäyttö jakaantuu tasaisesti ympäri Suomea, painottuen kuitenkin eteläiseen Suomeen. Hukkalämpöä syntyy eniten Porvoo – eteläinen Itä-Suomi akselilla sekä länsirannikolla. Suurin kaukolämmön kysyntä puolestaan keskittyy Helsingin seudulle. Myös Länsi- ja Keski-Suomen isoimmilla paikkakunnilla kaukolämmön kysyntää on enemmän kuin hukkalämpöä muodostuu. Koko Suomen hukkalämpöjen muodostuminen ja kaukolämmön kysyntä on esitetty havainnollisesti alla (Kuva 4). Kuvissa 5–8 on tarkasteltu lähemmin alueellista hukkalämpöjen muodostumista (GWh) ja kaukolämmön kysyntää (GWh). Suomi on jaettu alueisiin seuraavanlaisesti: Etelä-Suomi 1/2 (Kuva 5), Etelä-Suomi 2/2 (Kuva 6), Keski-Suomi (Kuva 7) ja Pohjois-Suomi (Kuva 8).



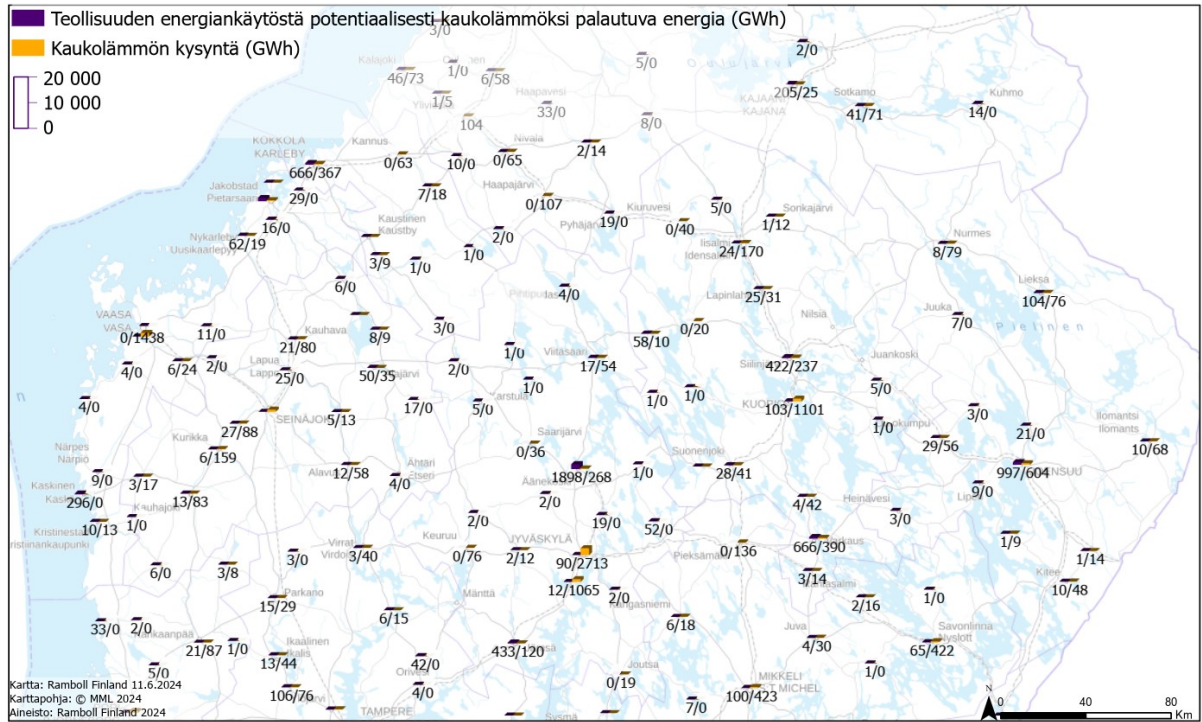
Kuva 4. Yleiskuva teollisuuden energiankäytöstä kaukolämmöksi palautuvan energian potentiaali (GWh) ja kaukolämmön kysyntä (GWh) kunnittain Suomessa.



Kuva 5. Eteläinen-Suomi 1/2. Teollisuuden energiankäytöstä kaukolämmöksi palautuvan energian potentiaali (GWh) ja kaukolämmön kysyntä (GWh) kunnittain. Ensimmäinen numero on palautuva energia ja kautta-viivan jälkeinen numero on kaukolämmön kysyntä.



Kuva 6. Eteläinen-Suomi 2/2. Teollisuuden energiankäytöstä kaukolämmöksi palautuvan energian potentiaali (GWh) ja kaukolämmön kysyntä (GWh) kunnittain. Ensimmäinen numero on palautuva energia ja kautta-viivan jälkeinen numero on kaukolämmön kysyntä.



Kuva 7. Keski-Suomi. Teollisuuden energiankäytöstä kaukolämmöksi palautuvan energian potentiaali (GWh) ja kaukolämmön kysyntä (GWh) kunnittain. Ensimmäinen numero on palautuva energia ja kautta-viivan jälkeinen numero on kaukolämmön kysyntä.



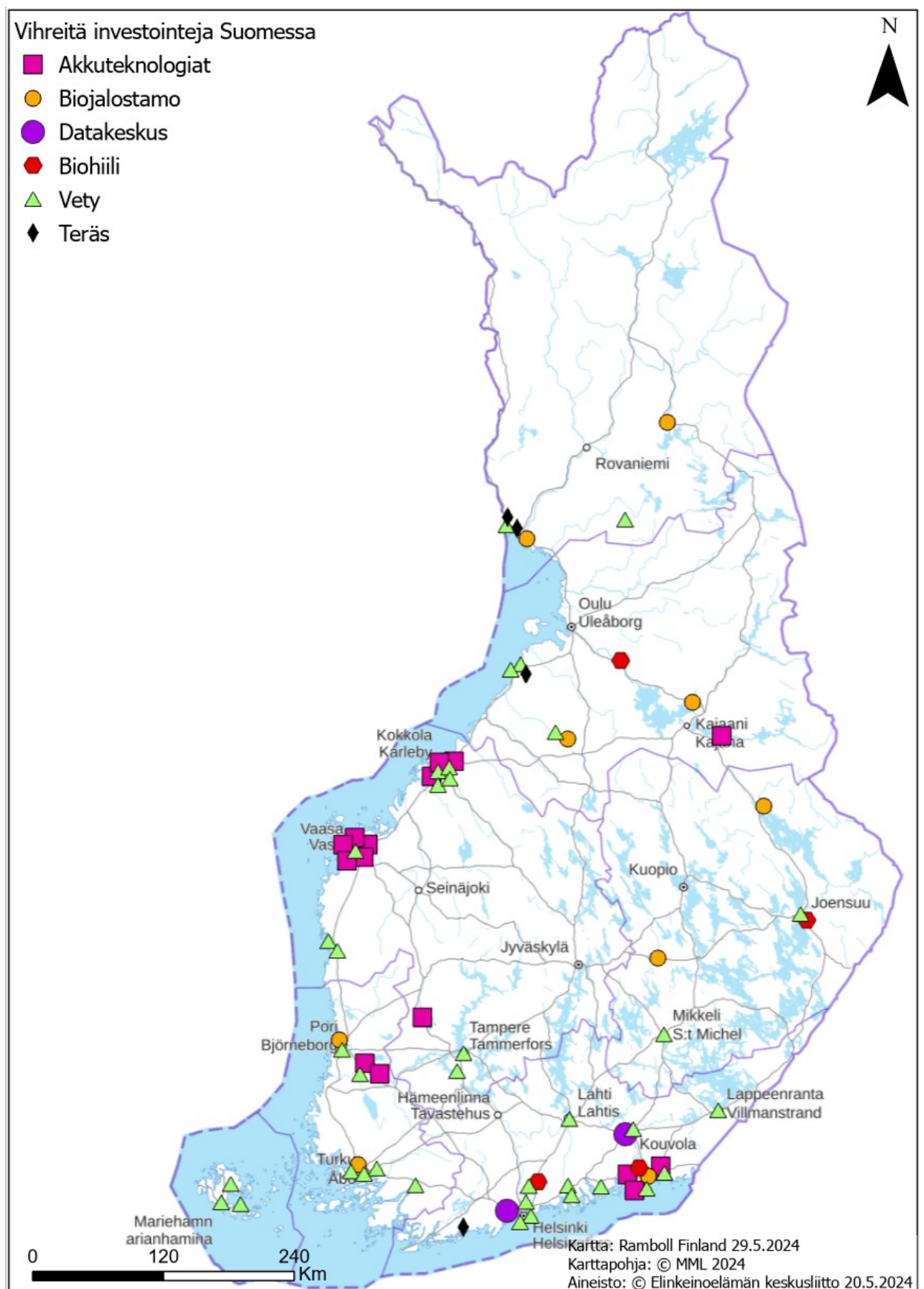
Kuva 8. Pohjois-Suomi. Teollisuuden energiankäytöstä potentiaalisesti kaukolämmöksi palautuva energia (GWh) ja kaukolämmön kysyntä (GWh). Ensimmäinen numero on palautuva energia ja kautta-viivan jälkeinen numero on kaukolämmön kysyntä.

Teollisuuden käyttämän energian ja kaukolämmön tarpeen suhde vaihtelee kunnissa merkittävästi. On havaittavissa, että Suomessa on useita kuntia, joissa teollisuuden energiankäytön ja paikallisen kaukolämmityksen tarpeen suhde on positiivinen, eli teollisuudesta palautuvaa lämpöä jää runsain mitoin hyödyntämättä.

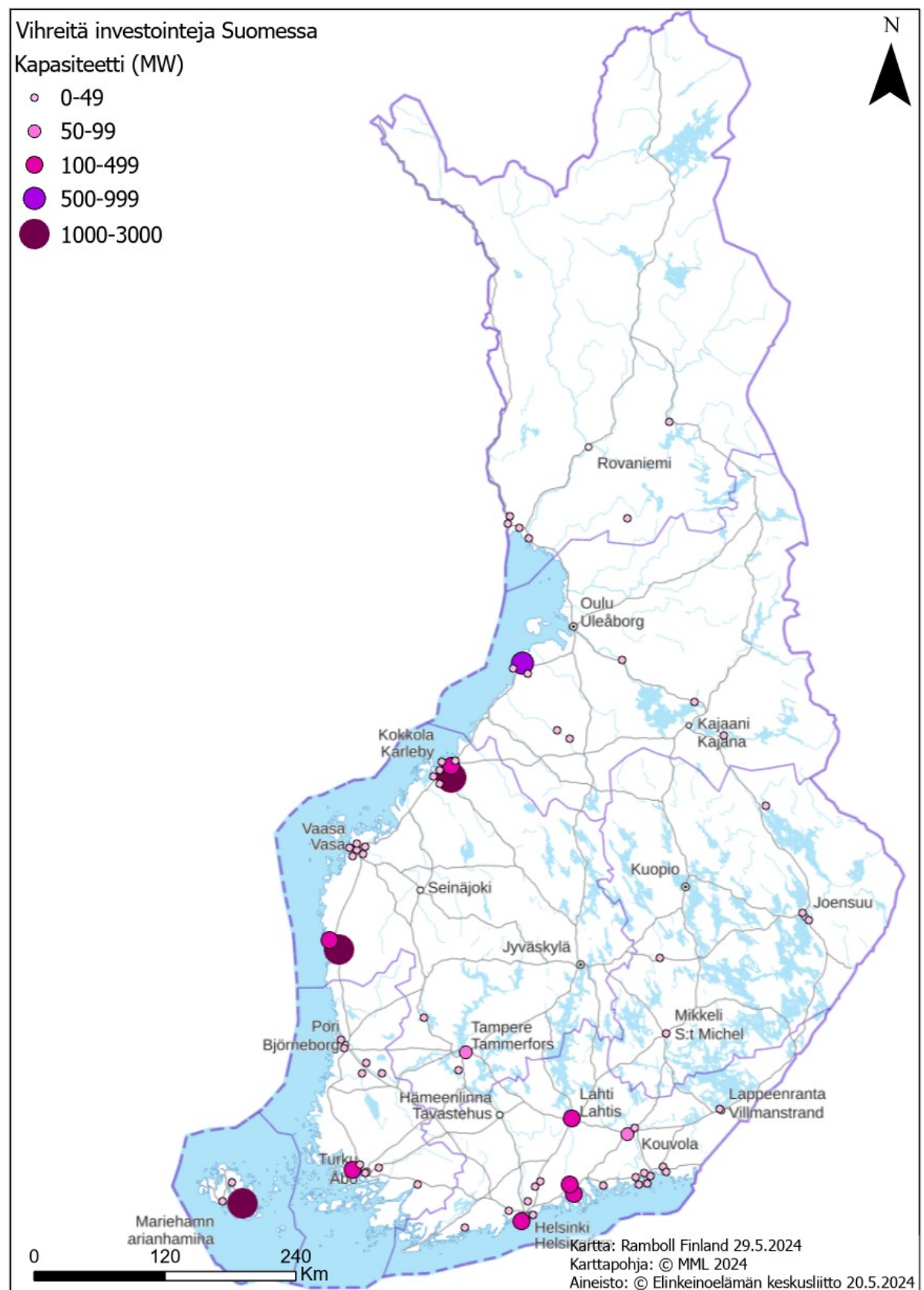
3.3 Suunnitteilla olevat puhtaan siirtymän hankkeet

Hukkalämpöä tuottavien puhtaan siirtymän laitosten sijainnit (Kuva 9) ja kapasiteetti (MW) (Kuva 10) on esitetty seuraavissa kuvissa. Laitosten sijainnit on esitetty kartoissa havainnollisesti tuoden esille, minne päin Suomea laitokset mahdollisesti sijoittuisivat. Laitosten vaiheet vaihtelevat esiselvityksestä rakenteilla olevaan. Aineisto pohjautuu Elinkeinoelämän keskusliiton dataikkunan hanketietoihin (EK, 2024). Vetyhankkeita on tällä hetkellä paljon liikkeellä, mistä suurin osa painottuu Etelä-Suomeen. Akkuteknologia ja vihreä teräs -hankkeet painottuvat Länsi-Suomeen. Biohiililaitoshankkeet sijaitsevat Joensuussa, Keravalla, Kotkassa ja Utajärvellä sekä datakeskus -hankkeet Espoossa, Haminassa ja Kouvolassa. Keravan datakeskus -hanke on selvitysvaiheessa. Uudet biojalostamohankkeet jakautuvat tasaisesti Suomeen.

Se, kuinka paljon uusilla laitoksilla syntyvää hukkalämpöä on käytettävissä, on vaikea arvioida. Joissakin prosesseissa / laitoksissa voidaan hyödyntää tehokkaammin syntyvä hukkalämpö kuin toisissa. Toisaalta sijaintipaikkakunnan rakennuskannan lämmön tarve vaikuttaa hukkalämmön hyödynnettävyyteen kuten lähialueiden teollisuuden lämmön tarpeetkin.



Kuva 9. Puhtaan siirtymän laitosten sijainnit, joilla muodostuu hukkalämpöä. (EK, 2024)



Kuva 10. Puhtaan siirtymän laitosten kokoluokka, MW (EK, 2024)

Katkoviivaympyrä kuvaa kaukolämpöputken etäisyyttä laitokselta eli toisin sanoen kuvaa matkaa, minne asti hukkalämpöä voitaisiin siirtää yhtä kaukolämpöputkea pitkin. Nuoli kuvaa esimerkki-kaukolämpöputken pituutta eli hukkalämmön siirtoetäisyyttä laitokselta. Nuolen yläpuolella oleva numero on etäisyys kilometreinä (km). Laskennalliset etäisyydet alle 100 km etäisyydellä laitoksilta ovat realistisempia arvioita kuin yli 100 km kaukolämmön siirtomatkat, joita ovat kuvassa 11 Raaheen, Kristiinankaupunkiin ja Kokkolaan suunnitteilla olevien laitosten tuottaman hukkalämmön siirtoetäisyydet.

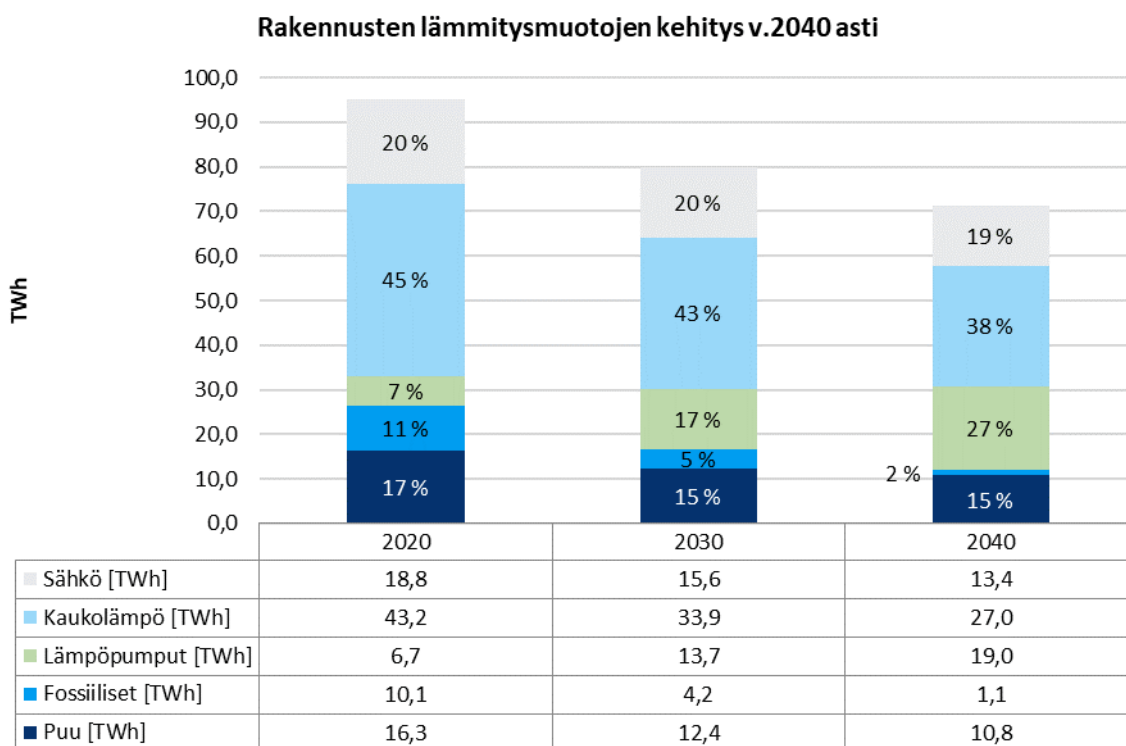
Hukkalämmön siirto mainituilla parametreilla laskettuna osoittaa, että suurten GW-luokan laitosten hukkalämpökapasiteetti ulottuu hyvin etäälle $\gg 100$ km:ä laitoksen sijainnista. Hukkalämmön siirto laitoksilta taajamien lämmitykseen voi olla mahdollista, mikäli hukkalämmön hyödyntämiselle on riittävät ja perustellut kannustimet sekä hukkalämmön tuottajalle että sen hyödyntäjälle.

4. NÄKYMÄ LÄMMITYSMARKKINAAN

4.1 Rakennusten lämmitystarve

Lämmöntarpeen on ennustettu pienenevän Suomessa merkittävästi seuraavien vuosikymmenten aikana (Kuva 12). Vuoteen 2030 mennessä lämmöntarve pienenee noin 16% ja vuoteen 2040 mennessä noin 25% verrattuna vuoden 2020 tasoon. Arvio perustuu VTT:n laskelmaan osana PEIKKO-hanketta (VTT, 2024).

Laskennassa muuttuja "sähkö" sisältää sähkölämmityksen lisäksi kaikkien lämmitysjärjestelmien sähkönkulutuksen. Muuttuja "Lämpöpumppu" sisältää vain ympäristöstä hyödynnetyn lämmön.



Kuva 12 Rakennusten lämmitysmuotojen kehitys v.2040 asti (VTT, 2024)

Rakennusten lämmityksessä kaikkia muita lämmitysmuotoja kuin lämpöpumppuja käytetään tulevaisuudessa vähemmän kuin vuonna 2020. Lämmöntuotantomuodoista etenkin fossiiliset sekä kaukolämmön osuudet pienenevät tulevaisuudessa merkittävästi. Lämpöpumpuilla korvataan kaikkia muita lämmitysmuotoja ja ne kattavat jopa 27% v. 2040 kokonaislämmöntuotosta verrattuna 7%:iin vuonna 2020.

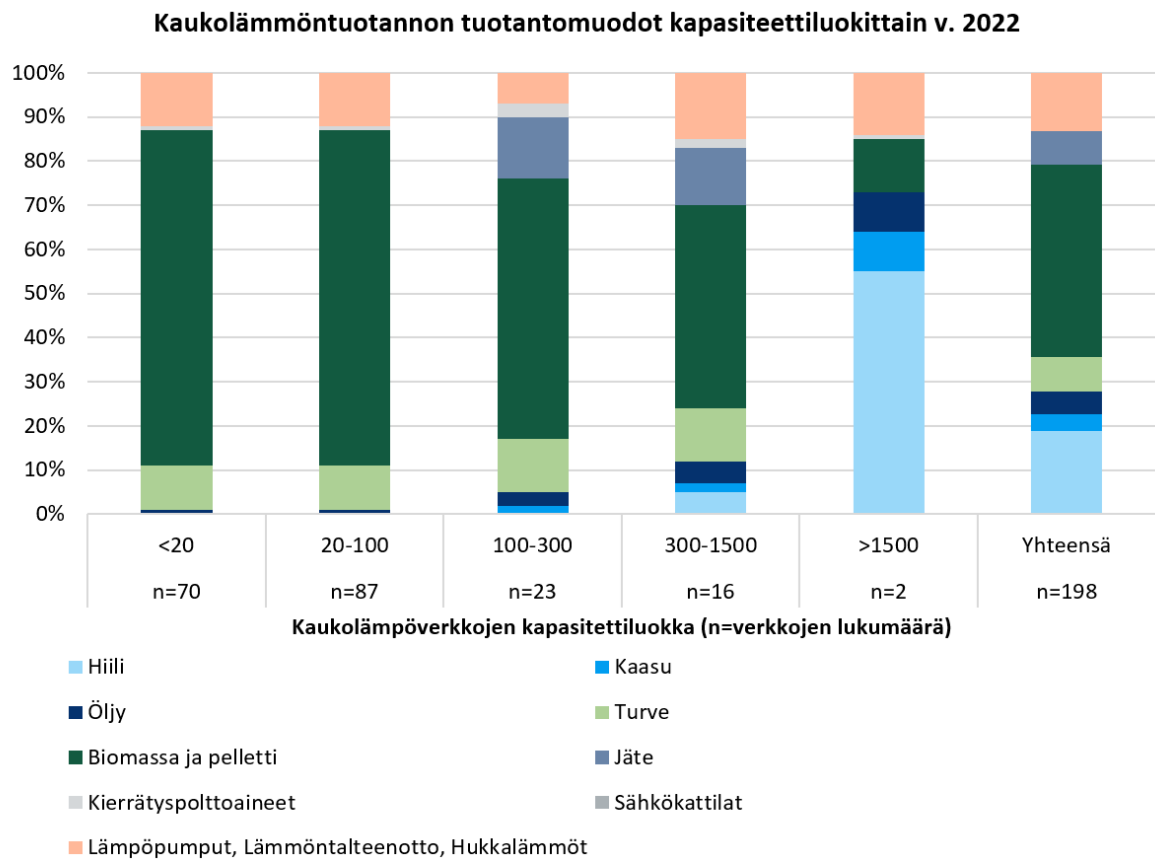
4.2 Muutos kaukolämmön tuotannossa

Samankaltaista muutosta on havaittavissa myös kaukolämmöntuotannossa. Kaukolämmöntuotannon kehitystä tutkittiin jakamalla kaukolämpöverkot viiteen eri kapasiteetiluokkaan ja tutkimalla kuinka eri luokkien kaukolämmön lämmöntuotanto kehittyy vuoteen 2030.

Kaukolämpöverkot on laskettu kaupunkikohtaisesti eli kapasiteeteissa ei ole huomioitu yksittäisiä pieniä verkkoja erikseen, vaan kaupungeittain yhtenäisinä. Tiedot perustuvat Energiategollisuus ry:n vuoden 2022 kaukolämpötilastoihin. On huomattavaa, että vuosi 2022 oli hyvin poikkeuksellinen vuosi johtuen muun muassa Venäjän hyökkäyssodan aiheuttamasta energiakriisistä ja siitä

aiheutuneesta energiahintojen noususta ja mm. biomassan saatavuuden romahtamisesta erityisesti Itä-Suomessa. Tämän vuoksi turpeen käyttö lisääntyi jonkin verran edellisestä vuodesta.

Alle 300 MW verkoissa päätuotantomuoto on biomassa. Verkoissa hyödynnetään myös turvetta. 300–1500 MW verkoissa hyödynnetään myös pääasiallisesti biomassaa, mutta myös jätettä sekä kivihiiltä. Tätä suuremmassa verkossa päätuotantomuoto on kivihiili, maakaasu sekä öljy (Kuva 13).

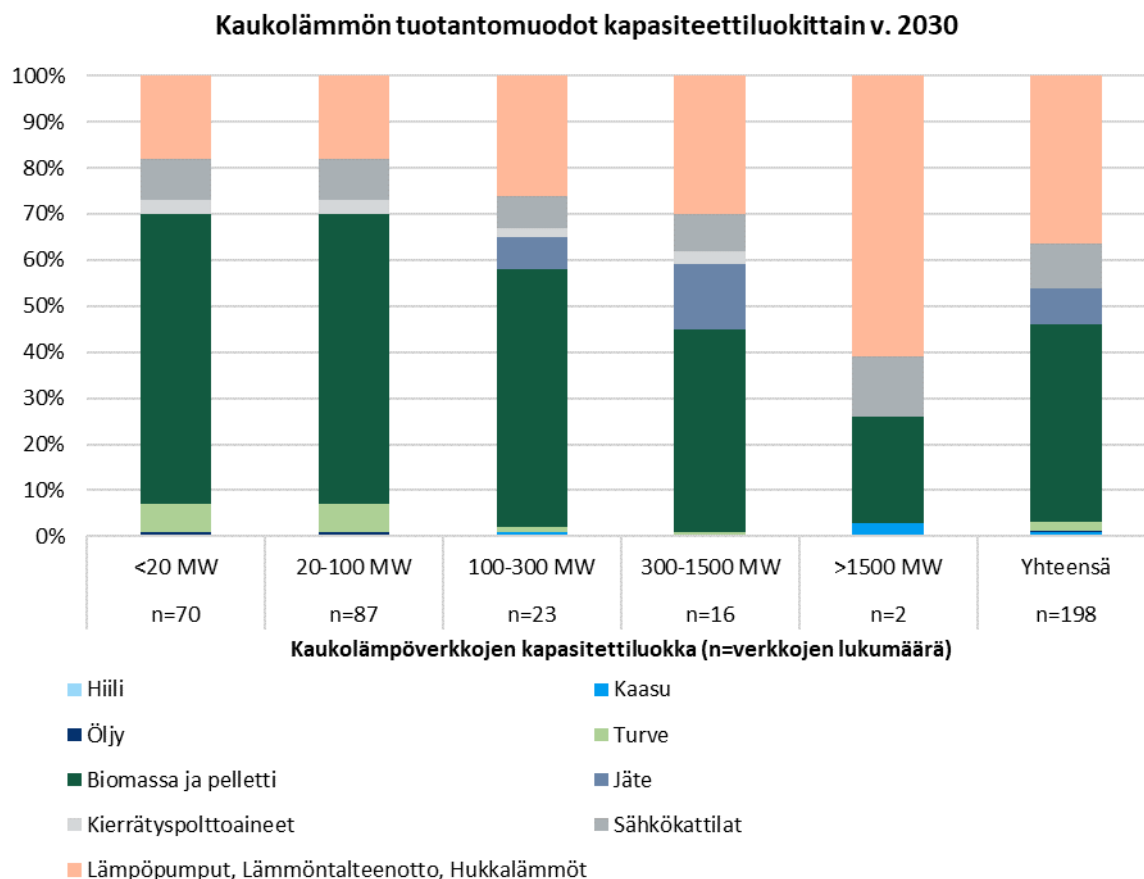


Kuva 13 Kaukolämpöverkkojen suhteelliset tuotantomuodot kapasiteettiluokittain v.2022

Kaukolämpöverkkolaskennassa tutkittiin direktiivin 2023/1791 Artiklan 26, kohdan 1 määritelmän mukaisten tehokkaiden kaukolämpöverkkojärjestelmien osuutta vuonna 2022. Laskennan tuloksena on että 98% Suomen kaukolämmöstä kuuluu tehokkaan kaukolämpöverkon piiriin. Vuoden 2022 tilanne täyttää direktiivin 2023/1791 artiklan 26 kohdan 1 a.

Kaukolämmöntuotannon tulevaisuuden näkymää tutkittiin yhteistyössä Energiateollisuus ry:n kanssa. Energiateollisuus teki alan toimijoille kyselyn heidän tulevaisuuden suunnitelmistaan kaukolämmön tuotantoportfolion muutoksiin. Energiateollisuus ry arvio, että kysely kattoi noin 70–80 % kaukolämmön vuotuisesta energiamäärästä, painottuen etenkin yli 100 MW verkkoihin. Alle 100 MW kokoluokan verkkojen tuotantomuotojakaumat on oletettu olevan samankaltaiset.

Tulokset on esitetty alla (Kuva 14).



Kuva 14 Kaukolämpöverkkojen tuotantomuodot kapasiteettiluokittain v.2030

Suurin muutos kaukolämmön tuotannossa tapahtuu fossiilisten korvaamisella etenkin lämpöpumpputuotannolla. Lämpöpumpputuotannon osuus kasvaa jokaisessa kapasiteettiluokassa. Merkittävin muutos tapahtuu kuitenkin suurimmassa >1500 MW verkoissa.

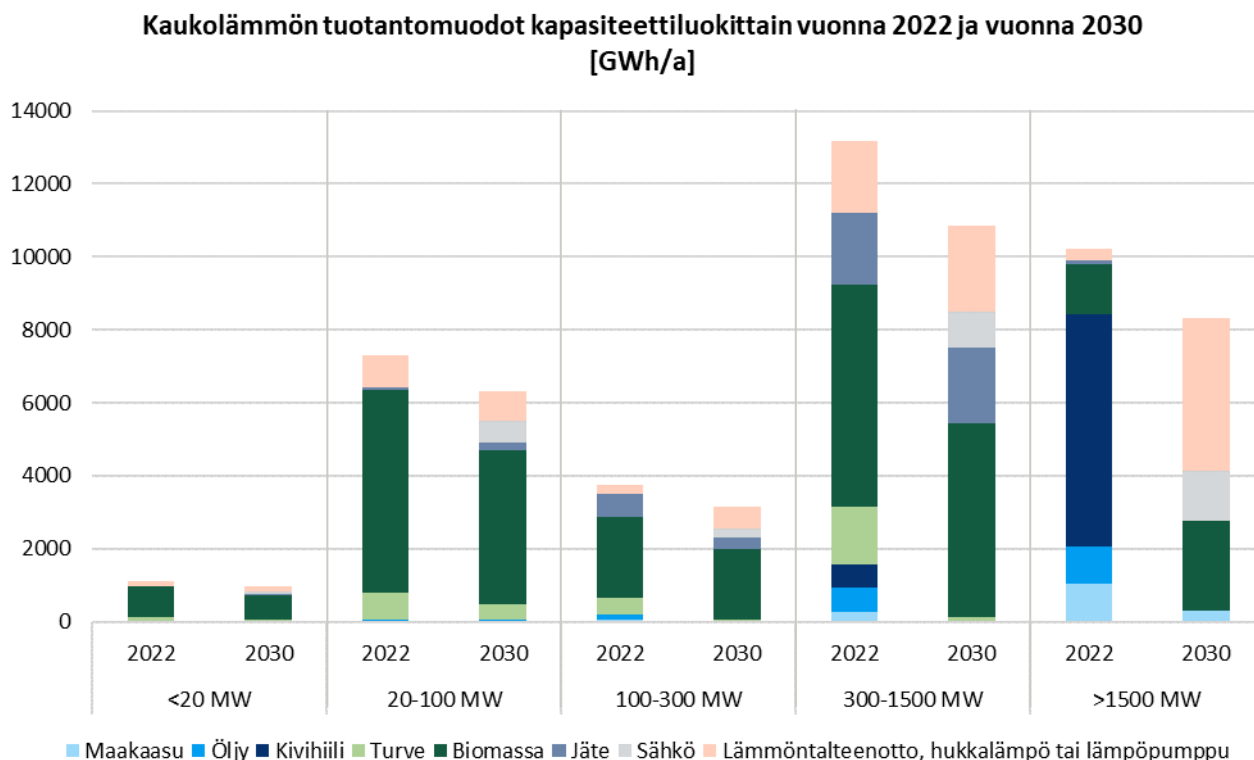
Energiamäärämuutokset kapasiteettiluokittain on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 15). Kuvasta huomataan kuinka kriittisiä yli 300 MW ja etenkin yli 1500 MW kaukolämpöverkot ovat muutoksen kannalta. Niissä tapahtuva muutos on sekä suhteellisesti että absoluuttisesti suurin.

Pienissä <300 MW:n kaukolämpöverkoissa merkittävin muutos on turpeen ja muiden fossiilisten polttoaineiden käytön korvaantuminen sähköllä ja lämpöpumpuilla. Suurissa 300 < 1500 MW:n verkoissa muutos on samankaltainen kuin edellä. Suurimmissa >1500 MW:n verkoissa muutos on kaikkein merkittävin. Niissä fossiiliset polttoaineet korvaantuvat sähköön perustuvilla ratkaisulla.

On huomattavaa, että jokaisessa kapasiteettiluokassa on oletettu kokonaislämmitystarpeen pienenevän 8% vuoteen 2030 mennessä. Tämä helpottaa muutosta jonkin verran, sillä uuteen kapasiteettiin ei ole välttämätöntä investoida samaa tehoa, kuin tällä hetkellä kaukolämmön tuotannossa on käytettävissä.

Kaukolämpöverkkolaskennassa tutkittiin direktiivin 2023/1791 Artiklan 26, kohdan 1 määritelmän mukaisten tehokkaiden kaukolämpöverkkojärjestelmien osuutta vuonna 2030 kyselyn tietojen

perusteella. Laskennan tuloksena on että 100% Suomen kaukolämmöstä kuuluu tehokkaan kaukolämpöverkon piiriin.



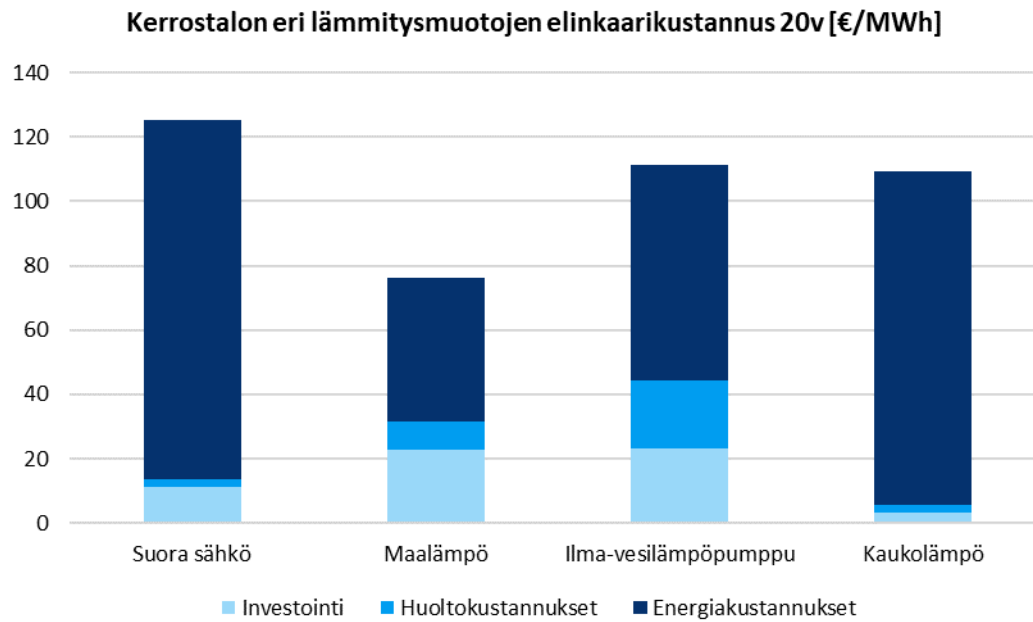
Kuva 15 Kaukolämmön tuotantomuodot kapasiteettiluokittain vuonna 2022 ja vuonna 2030

4.3 Muut lämmitysmuodot

Kaukolämmön kilpailevat tuotantomuodot ovat pääasiassa eri kiinteistökohtaiset lämpöpumppuratkaisut. Näistä etenkin ilma-vesilämpöpumput sekä maalämpö ovat pääasiallisia tuotantomuotoja, joita valitaan kaukolämmön sijaan tai joihin kaukolämmöstä vaihdetaan. Vaihtamisen syyn taustalla on etenkin kustannuksiin liittyvät syyt, mutta niissä voi myös olla päästöihin liittyviä tekijöitä.

Tällä hetkellä osassa kaukolämpöverkkoja lämpöpumppuratkaisut tuottavat vähemmän hiilidioksidipäästöjä, kun kaukolämpö. Tämä tulee kuitenkin muuttumaan, kun kaukolämmön tuotannossa korvataan fossiilista lämmöntuotantoa lämpöpumpuilla ja biomassalla.

Alla on esitetty eri lämmöntuotantomuotojen elinkaarikustannusten tuloksia tyypilliselle asuinkerrostalolle (Kuva 16). Kaukolämmön kustannusten perustana on kaukolämmön hintatilaston asiakkaiden lukumäärällä painotettu keskiarvo (Energiateollisuus, 2024). Lämmöntuotantomuodoista on oletettu niiden olevan kiinteistöjen omia investointeja, eikä esimerkiksi palvelumallilla hyödynnettyä teknologiaa.



Kuva 16 Kerrostalon eri lämmitysmuotojen elinkaarikustannus 20 v [€/MWh]

Esimerkkilaskenta antaa kuvan eri lämmöntuotantomuotojen keskimääräisestä erosta. Kaukolämmön ja sähkönsiirron kustannukset vaihtelevat paikkakunnittain, jolloin eri tuotantomuotojen keskinäinen järjestys eroaa edellä esitetystä. Maalämmön elinkaarikustannus on vaihtoehtoista alhaisin. Maalämmön etuna on sen energiatehokas lämmöntuotanto.

5. NÄKYMÄ SÄHKÖMARKKINAAN

Suomen sähkömarkkinat ovat muutoksessa. Perinteisesti suomen sähköntuotanto on nojannut vahvasti ydinvoimaan, vesivoimaan ja yhteistuotantoon. Viime vuosina tuuli- ja aurinkovoiman osuus tuotannossa on kasvanut voimakkaasti, ja tulevaisuudessa kehityksen uskotaan jatkuvan samaan suuntaan. Tätä muutosta ajavat myös päästövähennyksiin ja ilmastomuutoksen etenemisen hidastamiseen tähtäävät politiikat. Sääriippuvainen sähköntuotanto kuitenkin lisää sähkön hinnan volatiliteettia, mikä itsessään lisää tarvetta joustavalle sähköntuotannolle. Pitkällä aikavälillä sähkön hinnan odotetaan laskevan mm. ydinvoiman ja uusiutuvan energian kapasiteetin kasvaessa. Sähkömarkkinoille on tulossa paljon sähkökattiloita ja -akkuja, jotka varsinkin lämmöntuotannossa ovat käytössä, kun sähkön hinnat ovat matalalla, mikä itsessään vähentää kaikista alhaisimpien sähkönhintojen esiintyvyyttä. Sähkönkulutuksen suhteen on nähtävissä kasvua, kun lämmöntuotanto, liikenne ja teollisuus sähköistyvät. Näiden lisäksi Suomeen suunnitellut vedyntuotantolaitokset kasvattavat entisestään sähkön kysyntää.

Rambollin oppivaan neuroverkkoon perustuvan sähkömarkkinamallin mukaan, tuulivoiman kapasiteetin ollessa 9 GW ja sähkönkulutuksen 94 TWh, laskee sähkönhinta jopa tasolle 23 €/MWh.

Jos Suomen sähkön käyttö ja vienti kasvaa Fingridin ennusteen mukaiselle tasolle 131 TWh, sähkömarkkinamallin mukaan pelkästään tuulivoimakapasiteetin kasvattaminen 35 GW:iin ei pidä sähkön hintaa maltillisella tasolla, vaan sähkön keskihinta on yli 70 €/MWh. Tuulettomina ajanjaksoina sähkön hinta nousee erittäin korkeaksi. Tämä johtuu säätövoiman riittämättömyydestä sähkömarkkinalla.

Laskennassa on oletettu sähköenergian hinnaksi 48,8 €/MWh. Tämä perustuu oletukseen että tuulivoimakapasiteetti on vuonna 2030 15 GW:a ja sähkön kulutus 115 TWh:a. Tällöin Rambollin oppivaan neuroverkkoon perustuva sähkömarkkinamalli antaa sähköenergian hinnaksi on 48,8 €/MWh.

Taulukko 5 Sähkön energiamaksu eri sähkönkulutus ja tuulivoiman tuotanto määrittä

Sähkön hinta €/MWh	Tuulivoima 9 GW	Tuulivoima 15 GW	Tuulivoima 23 GW	Tuulivoima 30 GW
Kulutus 94 TWh	23,2	20,1	15,8	12,0
Kulutus 105 TWh	38,5	34,5	29,2	24,6
Kulutus 115 TWh	54,4	48,8	43,3	37,8
Kulutus 131 TWh	94,4	88,7	80,7	73,4

6. KUSTANNUS-HYÖTYANALYYSI

Työssä tutkittiin Suomen lämmitysjärjestelmän muutoksia eri skenaarioilla. Skenaariotarkastelun perustana toimii ”perusskenaario”, jolla tarkoitetaan kaukolämpötoimijoilta saatua tietoa kaukolämpötuotannon kehityksestä. Perusskenaarion muutokset lämmöntuotannosta on käsitelty luvussa 4. Muut skenaariot pohjautuvat tähän skenaarion muuttaen aina tiettyä osaa siitä. Skenaariot on kuvattu alla tarkemmin:

0. Perusskenaario: Nykytilanne mallinnetaan samoin olettamuksin ja lähtötiedoin kuin vaihtoehtoiset skenaariot, jotta skenaarioiden muutokset näkyvät tarkasteluissa selvästi. Perusskenaariossa huomioidaan voimassa olevat politiikat ja markkinatoimijoiden suunnitelmat.
1. Energiayhtiöiden suunnitelmien mukainen tilanne 2030 siten, että pääosa biopolttoaineista käytetään lämmön erillistuotannossa, jolloin kaukolämmön yhteistuotantosähköä ei enää olisi.
2. Energiayhtiöiden suunnitelmien mukainen tilanne 2030 siten, että pääosa biopolttoaineista käytetään sähkön- ja lämmön yhteistuotannossa. Tällöin kaukolämpöä vasten tuotettaisiin myös sähköä.
3. Kaukolämmitykseen tulee merkittävä osuus (40 %) suoraan kaukolämmössä hyödynnettävää hukkalämpöä.
4. Kaukolämmitykseen tulee merkittävä osuus hukkalämpöä (40 %) (ml. datakeskuksia ja vetylaitoksia), jotka tarvitsevat lämpöpumppuja lämpötilan nostoon.
5. Lämmitystä aletaan tekemään suurelta osin (30 %) sähkökattiloilla kaukolämmityksen ja erillislämmityksen osalta
6. Suomen rakennuskannan lämmityksestä 50 % siirtyy pois kaukolämmön piiristä ja niiden lämmitys muuttuu kokonaan lämpöpumppuihin perustuvaksi kokonais-COP-arvolla 2,5. Kaukolämmön tuotantorakenteen kehitys sama kuin skenaariossa 0.

Skenaarion tuloksissa esitellään:

- Primäärienergian kulutus [GWh]
- Uusiutuvan energian osuus tuotannosta [%]
- Hiilidioksidipäästöjen määrä [ktCO₂]
- Kaukolämmön tuotantokustannus [€/MWh]
- Kaukolämmön kuluttajahinta [€/MWh]
- Vaaditut investoinnit [M€]
- Sisäinen korkokanta 10 ja 20 vuodelle verrattuna nykytilaan [%]
- 20 vuoden Nettonykyarvo nykytilaan nähden [€]

Skenaarioille tehdään myös erillinen herkkyystarkastelu. Herkkyystarkastelussa tarkastellaan seuraavia muuttujia:

- Biomassan polttoaineen kustannuksen hinta +30% / -10%
- Sähkön energiahinta 34.5 / 88.7 €/MWh
- Biomassan investointi +30% / -10%
- Lämpöpumppujen sekä sähkökattiloiden investointi +30% / -10%
- Laskentakorko 2 % / 5 % / 10 %

Herkkyystarkastellut muuttujat perustuvat Rambollin asiantuntija-arvioon. Biomassan polttoaineen kustannukset sekä investointeihin liittyvät muuttujat herkkyytettävän +30% sekä -10% oletuksilla. Hintojen lasku tulevaisuudessa ei ole todennäköistä, jonka vuoksi tasoksi valittiin -10%. Hintojen nousuun liittyy aina suurempi nousupaine, johon voi vaikuttaa eri tekijät. Investointihinnoissa -10% on käsiteltävissä jonkinlaiseksi investointitueksi. Sähkön hinnan eri muuttujat valittiin pohjautuen Rambollin sähkömarkkinamallin tuloksiin (katso luku 5).

6.1 Laskennan oletukset

Skenaariolaskennan laskentaoletukset perustuvat julkisiin lähteisiin sekä Rambollin asiantuntija-arvioihin. Laskennan lähtöarvot on esitetty Liitteessä 2. Perusskenaarion energiamäärät perustuvat Energiategollisuus ry:n kaukolämpöyhtiöille suunnatun kyselyn tuloksiin. Kyselyn tavoitteena oli saada näkymä energiayhtiöiden suunnitelmista tuotantorakenteen muutoksiin vuoteen 2030 mennessä. Kyselyn tuloksista on johdettu uusien tuotantoinvestointien tehot investointien euromäärien arviointia varten. Tarkastelu tehtiin yksinkertaistettuna mallina koko Suomelle tuntitarkasteluna. Eri lämmöntuotantomuotojen ajojärjestykseksi on oletettu:

1. Jäte
2. Hukkalämmöt ja lämpöpumput
3. Biomassa
4. Sähkö
5. Turve
6. Kaasu
7. Hiili
8. Öljy

CHP-tuotannossa lämmöntuotannolle kohdistuva polttoaineen kulutus on laskettu hyödynjakomenetelmällä. Lämpöpumppujen tuotannon hyötysuhde on riippuvainen ulkolämpötilasta. Osassa skenaarioista lämmöntuotantokapasiteettia jää myös öljyllä ja kaasulla. Nämä on oletettu korvattavan biokaasulla sekä bioöljyllä. Tällä on vaikutusta lämmöntuotannon kustannuksiin sekä päästöihin. Laskennassa primäärienergia sisältää polttoaineen käytön sekä lämmöntuotannossa käytetyn sähkön määrän.

Lämmöntuotannosta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt on laskettu pohjautuen Tilastokeskuksen polttoaineluokitukseen. Sähkön päästökerroin on laskettu Energiategollisuuden Vähähiilisyystiekartan perusskenaarion mukaan.

Polttoainekustannukset on laskettu samoilla tiedoilla nykyhetkeen sekä vuoden 2030 laskennassa. Kustannuslaskennan on tarkoitus osoittaa muutosten mahdolliset vaikutukset ja suuruusluokat tuotantokustannuksiin, absoluuttisten arvojen sijaan. Hintoihin liittyy paljon spekulointia ja ennustamista, eikä polttoainehintojen kehityksestä voida olla varmoja.

Laitosten investointikustannukset perustuvat asiantuntija-arvioon ja niiden on tarkoitus tuoda investointien suuruusluokkaa esiin absoluuttisten arvojen sijaan. Laskennassa ei ole otettu huomioon nykyisen kapasiteetin mahdollisesti vaatimia laiteuusintoja tai muun huoltotoiminnan aiheuttamia kustannuksia. Investoinneissa on otettu huomioon ainoastaan uusien laitosten vaatimat investoinnit.

6.2 Skenaarion tulokset

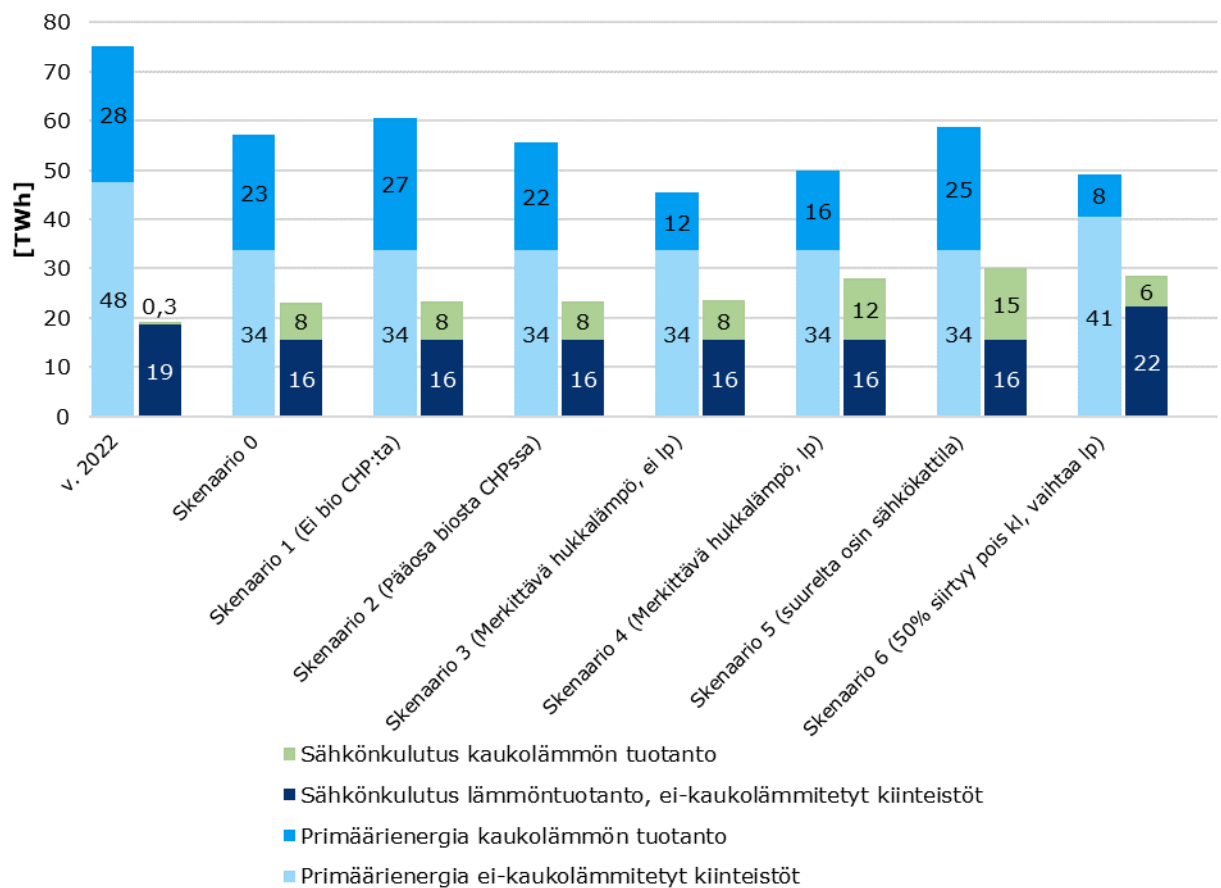
Tuloksissa käsitellään ensin energia- ja päästölaskennan tulokset, jonka jälkeen kustannukset sekä niihin liittyvät herkkyystarkastelut.

6.2.1 Energia- ja päästötulokset

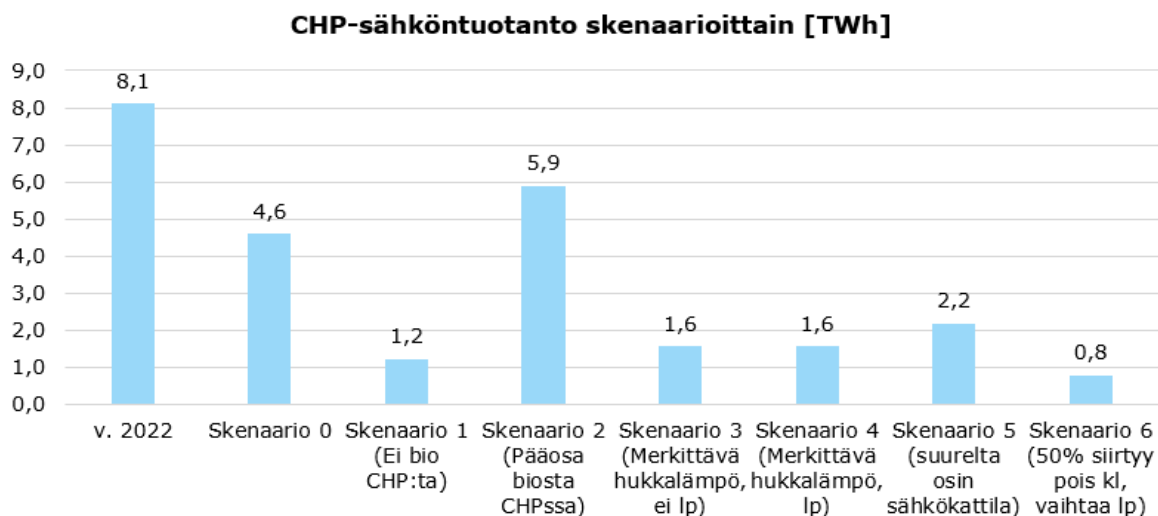
Primäärienergian kokonaiskulutus vähenee selvästi nykytilanteesta jokaisessa skenaariossa (Kuva 17). Taustalla vaikuttaa yleinen lämmönkysynnän pientyminen. Muutos polttavasta lämmöntuotannosta lämpöpumpuilla tuotettuun lämmitykseen niin kaukolämmössä kuin muissakin rakennuksissa pienentää myös primäärienergian tarvetta. Skenaariossa 3 on pienin

primäärienergian kulutus, mutta samalla myös pienin sähköntuotanto. Sähköntuotanto pienenee merkittävästi skenaarioissa 1, 3, 4, 5 ja 6 (Kuva 18). Näissä skenaarioissa CHP-tuotantoa korvataan joko biomassan erillistuotannolla, hukkalämmöllä tai sähkökattiloilla. Skenaariossa 6 kaukolämmön kysyntä puolittuu, jolloin CHP-tuotantoakin vähennetään ja sitä korvataan lämpöpumpputuotannolla.

Kaukolämmön tuotannon sähkönkulutus kasvaa skenaarioissa 4 ja 5, joissa lämmöntuotantoa korvataan merkittävästi lämpöpumpuilla tai sähkökattiloilla.

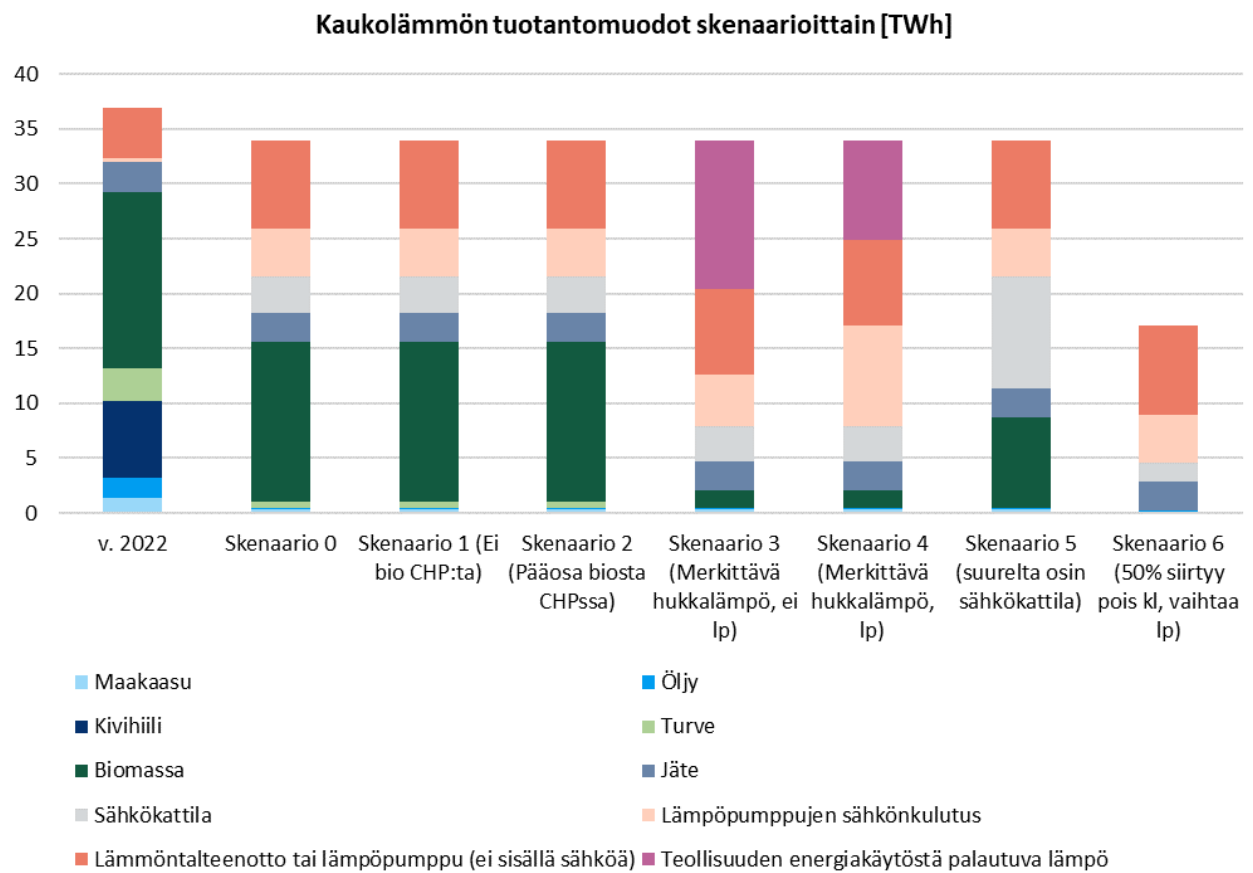


Kuva 17 Primäärienergian- ja sähkönkulutus skenaarioittain



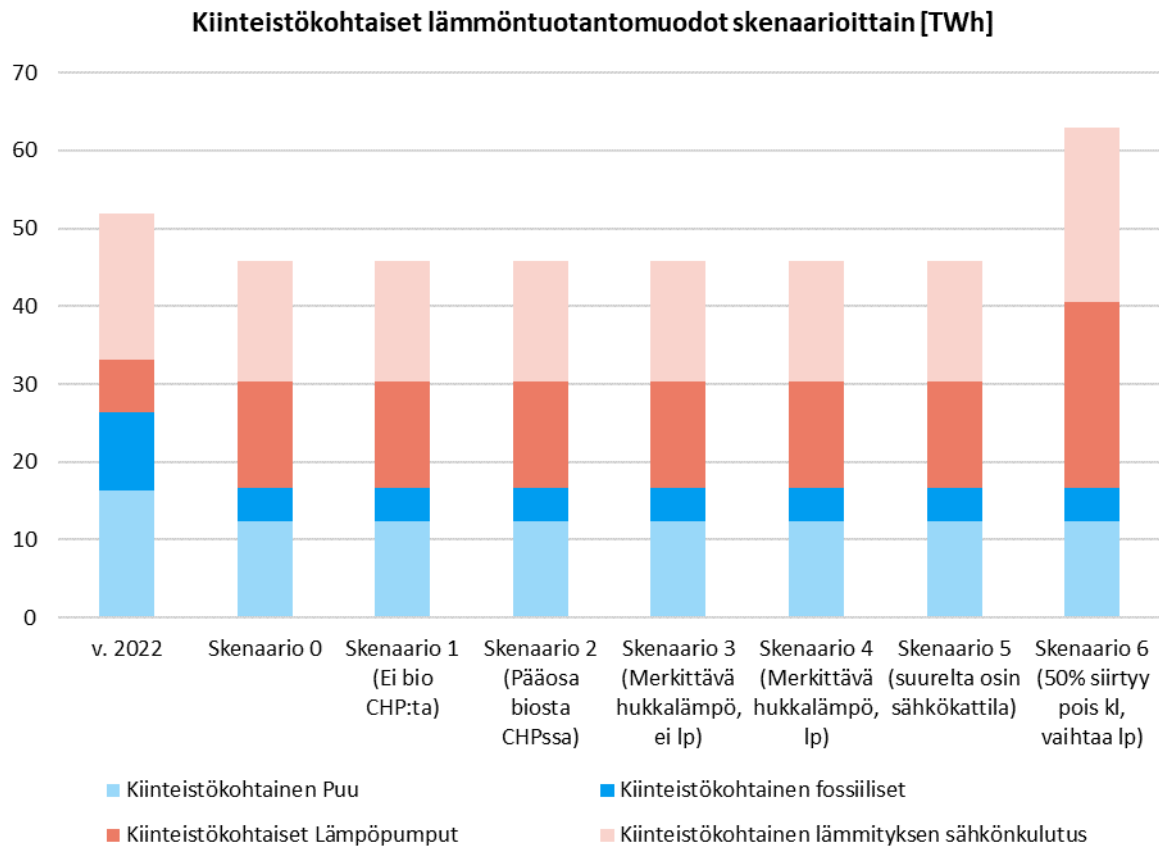
Kuva 18 CHP-sähköntuotanto skenaarioittain ja v. 2022

Kaukolämmön tuotantomuodoissa on merkittävää eroa skenaarioiden välillä (Kuva 19). Skenaarioiden 0–2 tulokset eivät eroa, sillä skenaarioiden muutokset koskevat vain CHP-tuotannon vaihtelevuutta. Skenaarioissa 2 ja 3 on nähtävissä selvä osuus teollisuuden ylijäämälämpöä kokonaistuotannosta. Skenaariossa 3 kasvaa samalla myös lämpöpumppujen käyttämä sähkö matalalämpöisen ylijäämälämmön hyödyntämisen vuoksi. Molemmissa skenaarioissa biomassan määrä on merkittävästi pienempi verrattuna skenaarioon 0. Skenaariossa 5 sähkökattilan osuus on 30% koko tuotannosta korvaten etenkin biomassaa. Skenaariossa 6 kaukolämmön tuotanto on puolittunut ja tuotanto pohjautuu pääasiallisesti lämpöpumppuihin.



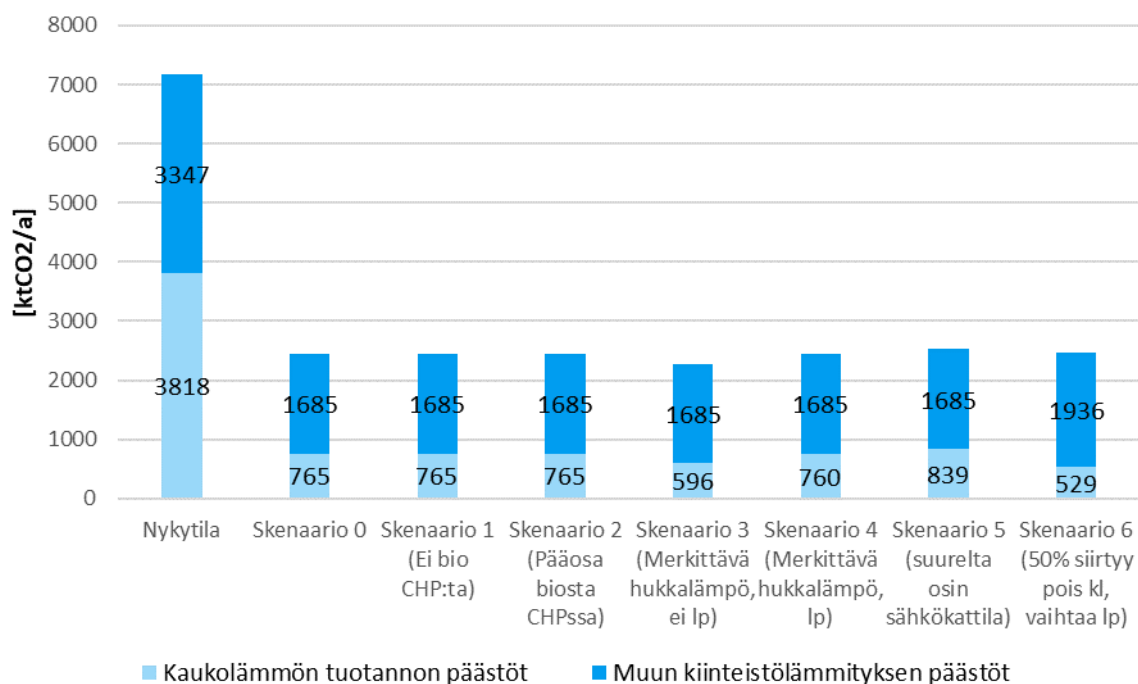
Kuva 19 Kaukolämmön tuotantomuodot skenaarioittain [TWh]

Rakennuskohtaisissa lämmitysmuodoissa ei ole suurta eroa skenaarioiden välillä (Kuva 20). Nykytilan ja skenaarioiden välillä kehitys menee luvussa 4.1 mukaisesti. Eroa syntyy ainoastaan skenaariossa 6, jossa kiinteistökohtaisilla lämpöpumpuilla korvataan kaukolämpöä.



Kuva 20 Kiinteistökohtaiset lämmöntuotantomuodot skenaarioittain [TWh]

Lämmöntuotannon vuosittaiset hiilidioksidipäästöt vähenevät merkittävästi (noin 65%) nykytilaan verrattuna kaikissa skenaarioissa (Kuva 21). Muutos johtuu pitkälti fossiilisten polttoaineiden korvaamisella lämpöpumpputuotannolla. Sähkön päästökerroin on oletettu olevan 37 kgCO₂/MWh vuonna 2030, joka on noin 40% pienempi kuin vuoden 2022 päästökerroin (Fingrid, 2024). Muutokseen vaikuttaa myös yleinen lämmöntarpeen lasku. Skenaarioiden keskinäinen ero on hyvin pientä. Suurin ero on perusskenaarion ja skenaarion 3 välillä ollen -6%.



Kuva 21 Lämmöntuotannon kokonaispäästöt skenaarioittain

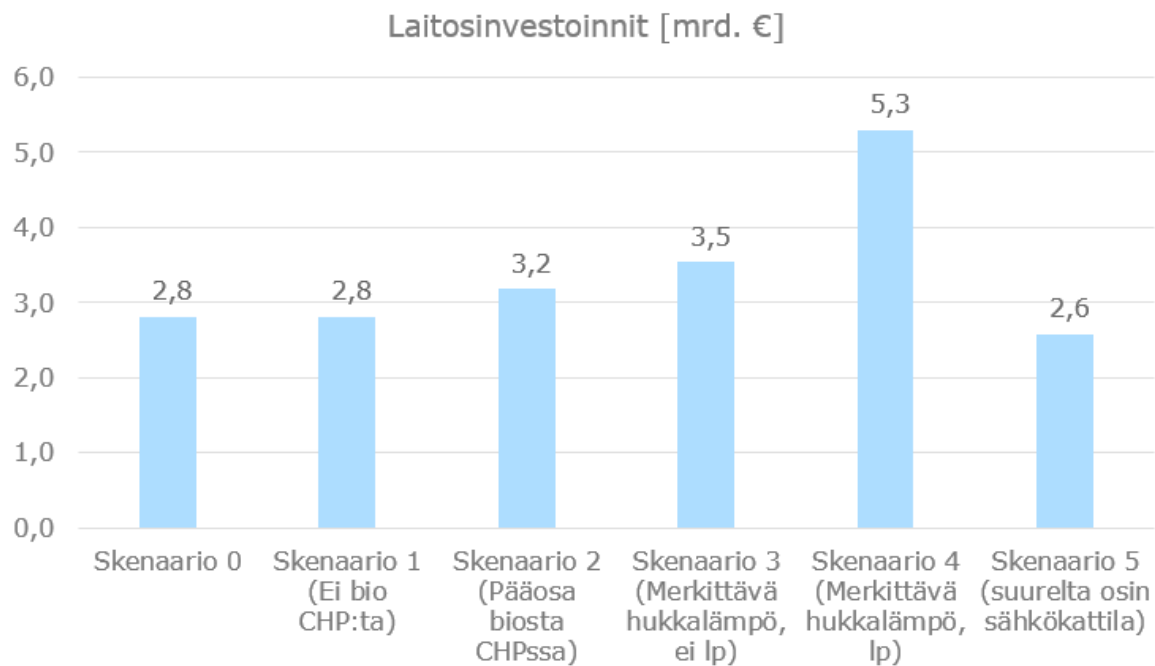
6.2.2 Kustannustulokset

6.2.2.1 Investoinnit uuteen lämmöntuotantokapasiteettiin

Kaukolämmön tuotantoon vuoteen 2030 mennessä tehtävät investoinnit ovat samaa 3 mrd. euron suuruusluokkaa kaikissa skenaarioissa (Kuva 22). Suurin investointitarve on lämpöpumppuja käyttöä edellyttävässä hukkalämpöskenaariossa 4, jossa investointitarve on noin 5,3 mrd. €.

Pienin investointitarve, 2,6 mrd. €, on skenaariossa 5, missä sähkökattilakapasiteetti kasvaa huomattavasti. Merkittävä, noin viisinkertainen ero, johtuu ominaisinvestointien erosta, joka on lämpöpumppulaitoksen noin 1 M€/MW ja sähkökattilalaitoksen 0,2 M€/MW.

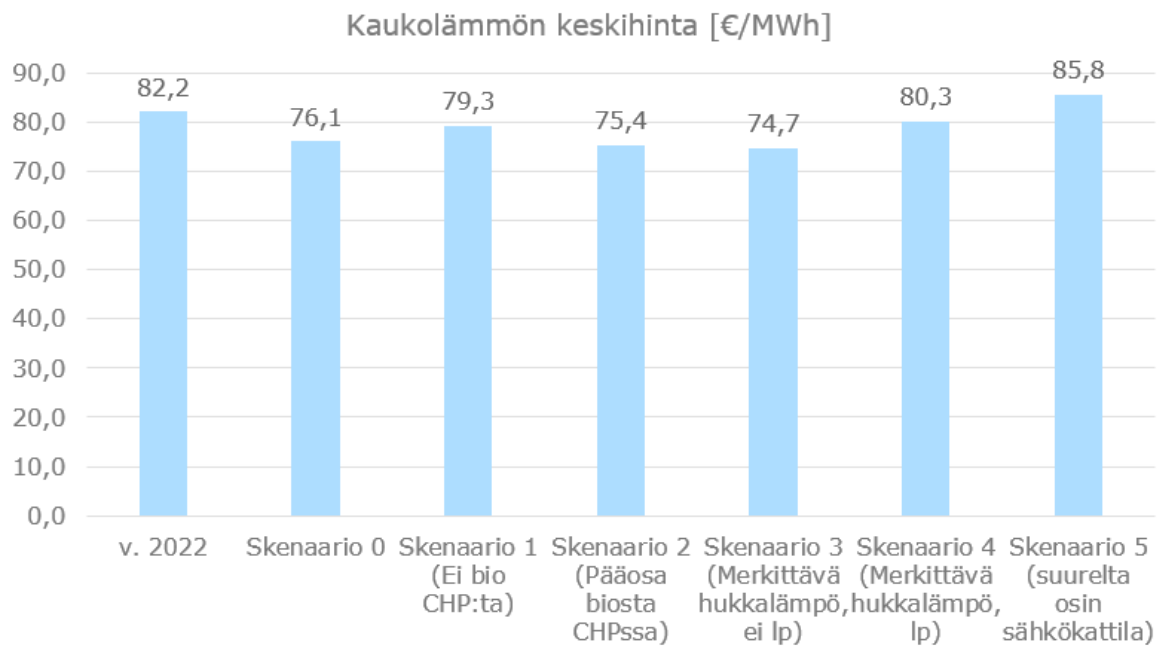
Kaukolämpötoimialan omassa skenaariossa (skenaario 0) tarvittavat investoinnit ovat 2,8 mrd. €.



Kuva 22 Laitosinvestoinnit [mrd. €]

6.2.2.2 Kaukolämmön hinta

Kaukolämmön keskihinta eri skenaarioissa on samalla tasolla nykytilaan verrattuna, noin 75 €/MWh. Hintavaihtelu on – 3 €/MWh ja + 6 €/MWh. Skenaariossa 3 kaukolämmön hinta on kaikkein alhaisin (Kuva 23).



Kuva 23 Kaukolämmön keskihinta[€/MWh], sisältää polttoaineet, tuotannon ja jakelun pääomakulun sekä huollon ja kunnossapidon

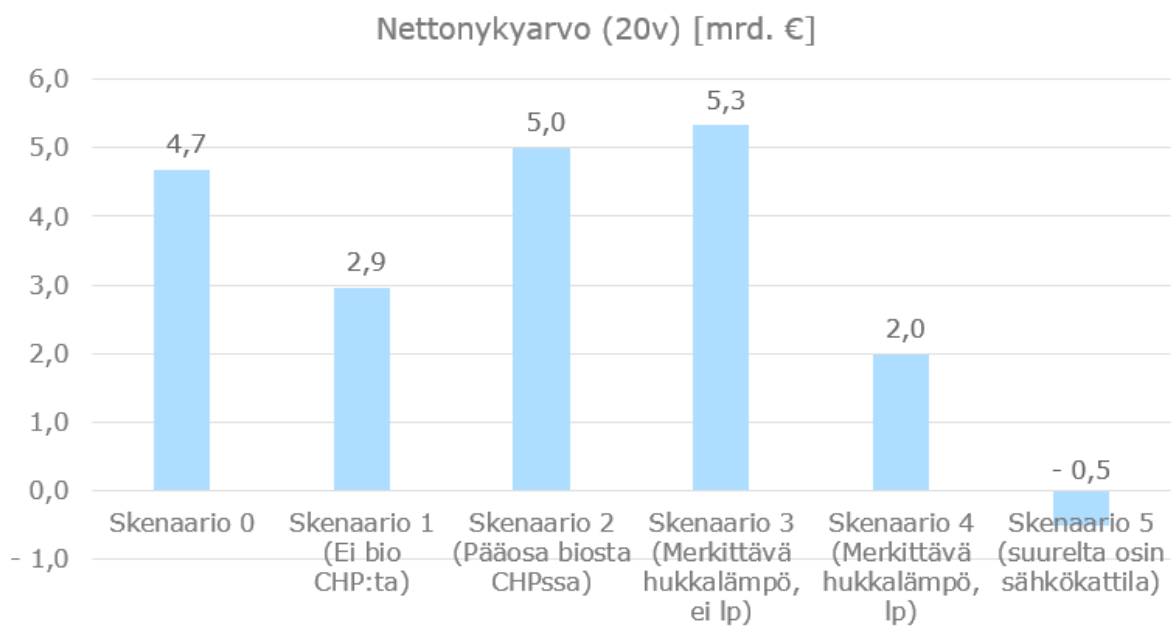
6.2.3 Skenaarioiden taloudelliset tunnusluvut

Skenaariolle lasketut taloudelliset tunnusluvut vaihtelevat paljon. Parhaimmat taloudelliset tunnusluvut ovat 0-skenaariolla ja heikoimmat voimakkaasti sähkökattiloihin käyttöön perustuvassa skenaariossa 5 (Taulukko 6).

Taulukko 6 Skenaarioiden sisäiset korkokannat 10 ja 20 vuodelle

Skenaario	0	1	2	3	4	5
IRR 10v	10 %	5 %	9 %	9 %	-3 %	-11 %
IRR 20v	16 %	11 %	15 %	14 %	6 %	0 %

Herkkyystarkastelu (katso luku 6.4) tuo esille suurimmat tekijät ja niiden vaikutuksen eri skenaarioiden paremmuusjärjestykseen. Alla kuvattuna skenaarioiden nettonykyarvot 20 vuoden tarkastelujaksolla ja 2% laskentakorolla (Kuva 2424).

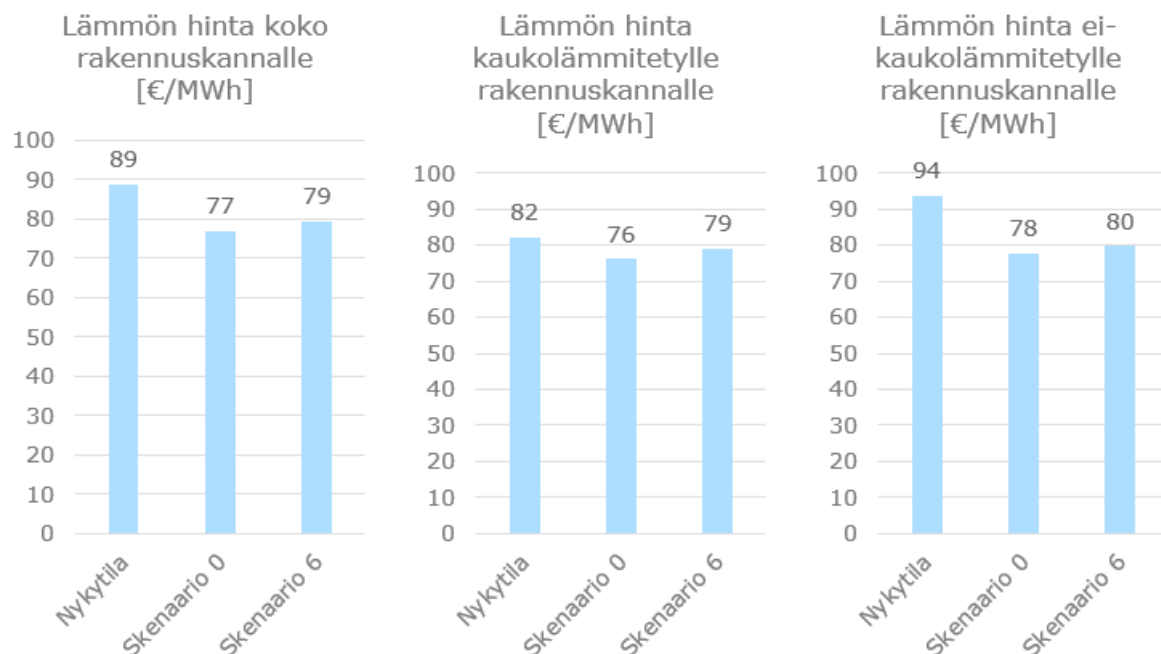


Kuva 24 Skenaarioiden nettonykyarvo (20 vuodella)

Sähkökattilainvestoinnin heikkoon kannattavuuteen vaikuttaa laskennassa käytetty vakiona pysyvä sähkön hinta. Vakiohinnan käyttöä perustele se, että jos valtaosa kaukolämmön tuotannosta perustuu sähkön käyttöön, niin sähkön käytön rajoittaminen lämmöntuotannossa sähkön korkean hintatason aikoina ei ole mahdollista lämmön toimitusvelvollisuuden vuoksi. Hajautetulla tuotantoportfoliolla on mahdollista hajauttaa ja pienentää eri energialähteiden hintariskiä.

6.3 Skenaarion 6 erillistarkastelu

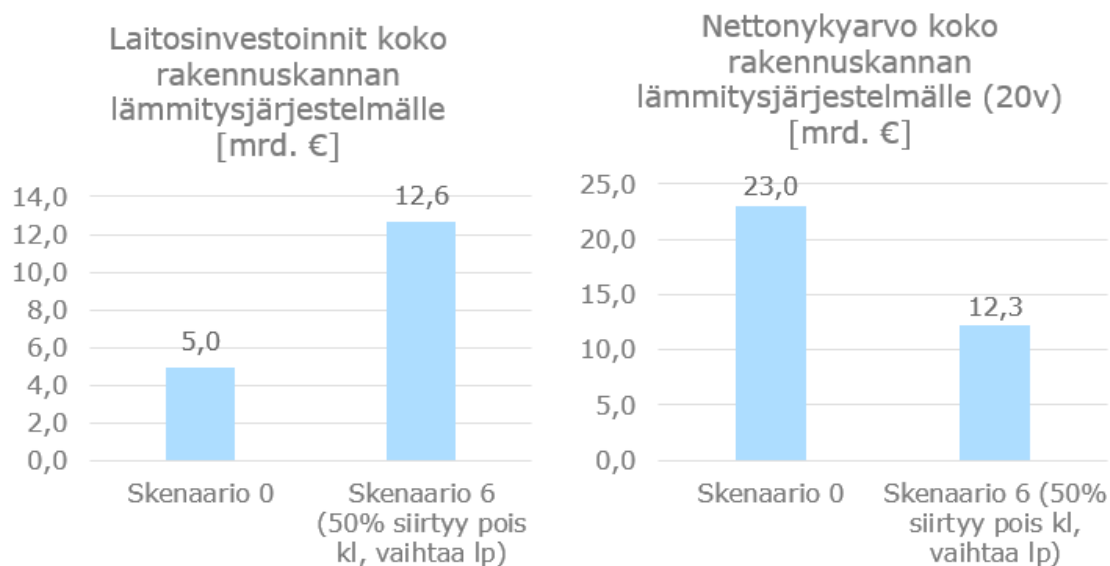
Skenaariossa 6 on oletuksena kaukolämmön kattavuuden pieneneminen lämmitysmuotona 50%. Kaukolämmöstä poistuvan rakennuskannan oletetaan käyttävän lämpöpumppuja lämmöntuotantoon. Alla on esitetty lämmön keskihintaa nykytilassa, skenaariossa 0 ja skenaariossa 6 (kuva 23).



Kuva 25 Skenaario 0 ja 6 lämmön kokonaishinta, kaukolämmön hinta sekä ei-kaukolämmitetyn rakennuskannan lämmönhinta [€/MWh]

Lämmön hinta koko rakennuskannalle vuonna 2030 näyttäytyy noin 15 % alempana nykytilaan verrattuna. Kokonaishinnalla tarkoitetaan rakennusten keskimääräistä lämmönkustannusta sisältäen kaukolämmön sekä kiinteistökohtaiset lämmitysratkaisut. Skenaariossa 6 kaukolämmön hinta on jonkin verran, noin 10% korkeampi, verrattuna skenaarion 0 hintaan. Kaukolämmön hintaan vaikuttaa korottavasti kaukolämpöinfran kustannuksen jakautuminen pienemmälle joukolle kuin kaukolämmön korkeamman peittoasteen tapauksissa.

Skenaariossa 6 ei-kaukolämmitetyssä rakennuskannassa energialähteinä on erilaiset lämpöpumppuihin perustuvat ratkaisut (maalämpö sekä eri ilmalämpöpumput), biomassa, bioöljy sekä suora sähkölämmitys. Hinta on hieman korkeampi verrattuna skenaarioon 0.



Kuva 26 Skenaarioiden 0 ja 6 laitosinvestoinnit sekä nettonykyarvo (20 v) [mrd.€]

Yllä olevassa kuvassa (Kuva 26) on esitetty skenaarioiden 0 ja 6 vaadittavat lämmöntuotannon investoinnit suhteessa nykytilaan. Rakennuskannan poistuminen kaukolämmöstä edellyttää suuren määrän investointeja.

Myös skenaariossa 0 toteutetaan investointeja kiinteistökohtaisissa lämmitysjärjestelmissä lämmitysmarkkinan kehittymisen mukaisella tavalla. Suurimmat muutokset ovat lämpöpumppujen suurempi hyödyntäminen lämmöntuotannossa korvaten fossiilista lämmitystä. Lämmitysmarkkinan kehitys on esitetty tarkemmin luvussa 4.

Taulukko 7 Skenaarioiden 0 ja 6 sisäiset korkokannat IRR 10 ja 20 vuodelle koko rakennuskannan lämmitysinvestointien osalta

Skenaario	0	6
IRR 10v	33 %	4 %
IRR 20v	35 %	11 %

Skenaarioiden 0 koko rakennuskannan lämmitysinvestoinnin IRR on hyvin korkea (Taulukko 7). Sisäisen korkokannan suuruuteen vaikuttaa muun muassa kiinteistökannan siirtyminen nykytilasta vahvasti pois fossiilisista polttoaineista (öljy) lämpöpumppuihin sekä lämmitystarpeen väheneminen. Tätä selittää parhaiten ei-kaukolämmitettyjen kiinteistöjen lämmön keskihinnan alenemaa 94 €/MWh:sta 77 €/MWh:iin.

Skenaariossa 6 IRR ei ole yhtä suuri, johtuen skenaarion suuresta investointitarpeesta uusiin lämpöpumppuihin. Skenaariossa 6 uusien lämpöpumppujen investoinneilla korvataan kaukolämpöä, jonka kannattavuus ei ole yhtä suurta kuin pelkästään öljylämmityksen korvaaminen. Tämän vuoksi IRR-tasoissa on selvä ero. Lämmön kokonaishinta koko rakennuskannalle vuonna 2030 näyttäytyy noin 10 % alempana nykytilaan verrattuna. Kokonaishinnalla tarkoitetaan rakennusten keskimääräistä lämmönkustannusta sisältäen kaukolämmön sekä kiinteistökohtaiset lämmitysratkaisut.

Skenaariossa 6 50% poistuma johtaa 5 % korkeampaan kaukolämmön hintaan kuin 0-skenaariossa. Kaukolämmön hintaan vaikuttaa korottavasti kaukolämpöinfran kustannuksen jakautuminen pienemmälle joukolle kuin kaukolämmön korkeamman peittoasteen tapauksissa. Skenaariossa 6 ei-kaukolämmitetyssä rakennuskannassa energialähteinä on erilaiset lämpöpumppeihin perustuvat ratkaisut (maalämpö sekä eri ilmalämpöpumput), biomassa, bioöljy sekä suora sähkölämmitys. Skenaarion 6 ei-kaukolämmitetyn rakennuskannan lämmityksen hinta on jonkin verran korkeampi kuin 0-skenaariossa.

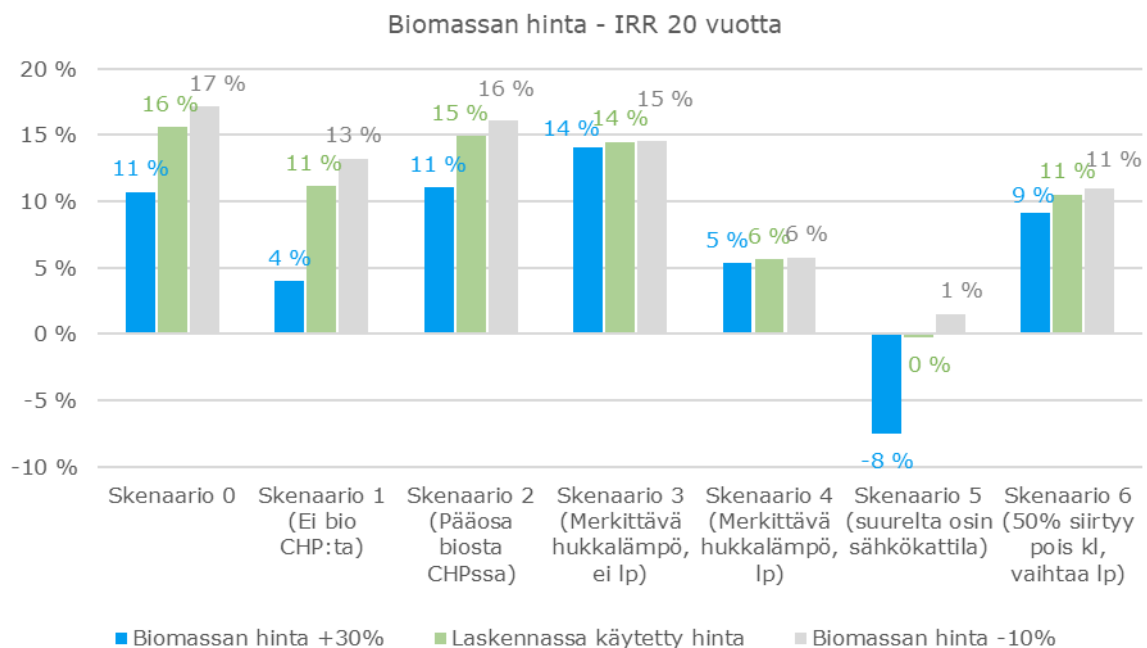
6.4 Herkkyysanalyysi

Skenaarioiden kannattavuudelle (IRR 20 vuotta) toteutettiin herkkyystarkastelut eri muuttujien merkittävyyden tunnistamiseksi. Yleishuomiona tärkeimmiksi muuttujiksi havaittiin biomassan ja sähkön käyttökustannukset sekä niihin liittyvät investoinnit (lämpöpumput sekä sähkökattilat).

Herkkyystarkastelussa tarkastellaan seuraavia muuttujia pareittain:

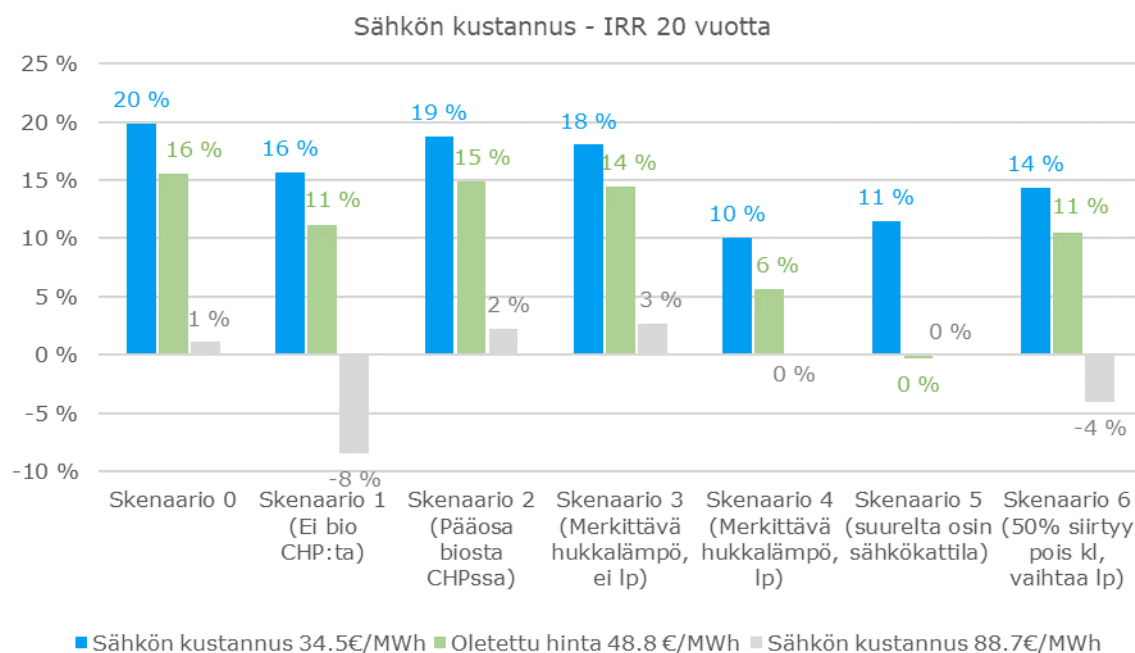
- Biomassan polttoaineen kustannuksen hinta +30% & -10%
- Sähkön kustannuksen energiamaksu 34,5 €/MWh & 88,7 €/MWh
- Biomassan investointi +30% & -10%
- Lämpöpumppeiden sekä sähkökattiloiden investointi +30% & -10%
- Laskentakorko 2 % & 5 % & 10 %

Herkkyystarkastelujen pareittaiset tulokset ovat esitetty kuvina (Kuvat 27–31) lyhyiden huomioiden kanssa alla olevassa osiossa.



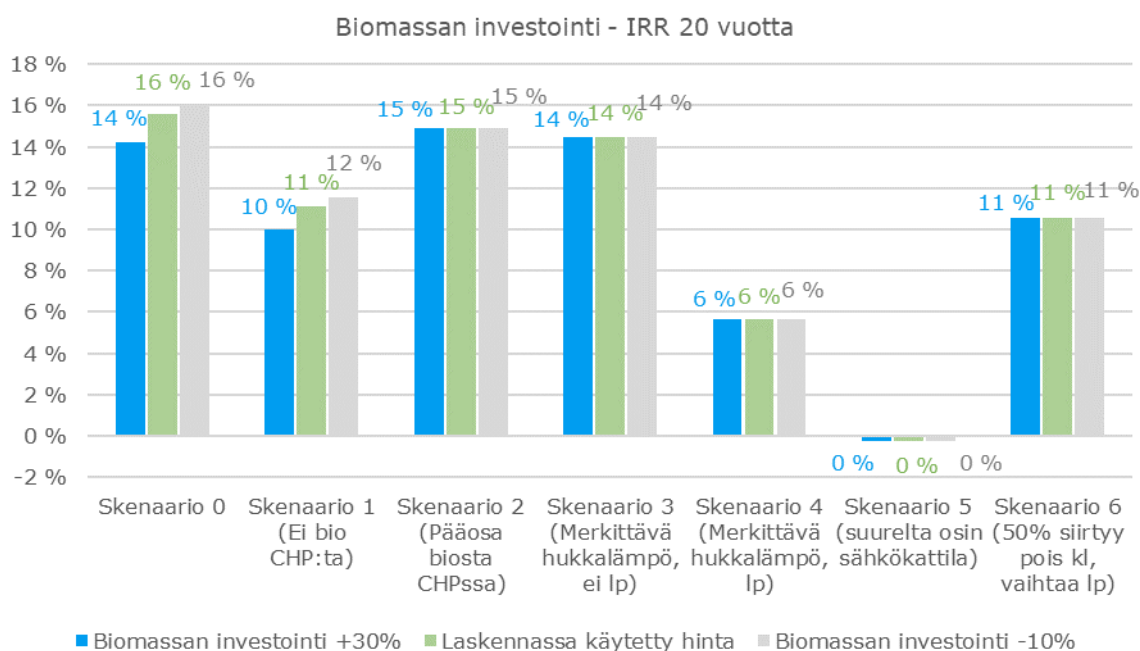
Kuva 27 Skenaariot 0-6 herkkytettyinä Biomassan kustannuksilla (+30% & -10%)

Biomassan hinnan kasvulla (+30%) on merkittävä IRR% laskeva vaikutus skenaarioihin 0, 1 ja 2, joissa biomassaa hyödynnetään paljon. Myös skenaarion 5 tulosta ei voida laskea tarkasteluajan sisällä tuottojen ollessa täysin negatiivisia. Biomassan halvemmallalla hinnalla (-10%) on lievä positiivinen vaikutus skenaarioiden 0, 1, 2 ja 5 kannattavuuteen.



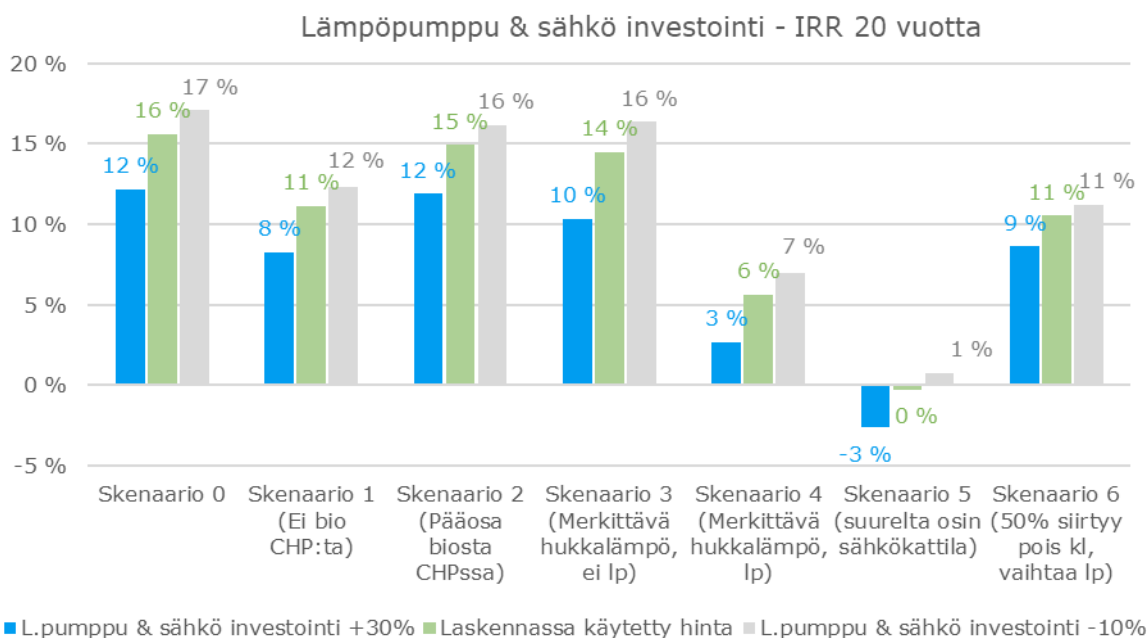
Kuva 28 Skenaariot 0–6 herkkyytettynä sähkön kustannuksella (34.5 €/MWh & 88.7 €/MWh) vs Normaali 48.8 €/MWh

Sähkön kustannuksilla on herkkyyssvaihtoehtoista suurin vaikutus kaikkiin skenaarioihin. Korkealla sähkön kustannuksella lähes kaikki vaihtoehdot ovat kannattamattomia tai niille ei voida laskea IRR-% tarkasteluajan sisällä. Alenevilla sähkön kustannuksilla (verrattuna normaalitasoon 48.8 €/MWh) puolestaan on voimakas skenaarioiden kannattavuutta parantava vaikutus. Kaukolämmön tuotanto sähköistyy kaikissa skenaarioissa voimakkaasti, jonka vuoksi sähkön keskihinnalla on suuri merkitys kaukolämmön tuotannon kannattavuuteen. Laskennassa on käytetty keskihintaa koko vuodelle, joka ei siis ota huomioon esimerkiksi sähkön hintavaihteluun optimoitua kaukolämmön tuotantoa eri teknologioiden avulla kuten lämpövarastot sekä muut tuotantomuodot.



Kuva 29 Skenaariot 0-6 herkkyytettyinä biomassan investointikustannuksilla (+30% & -10%)

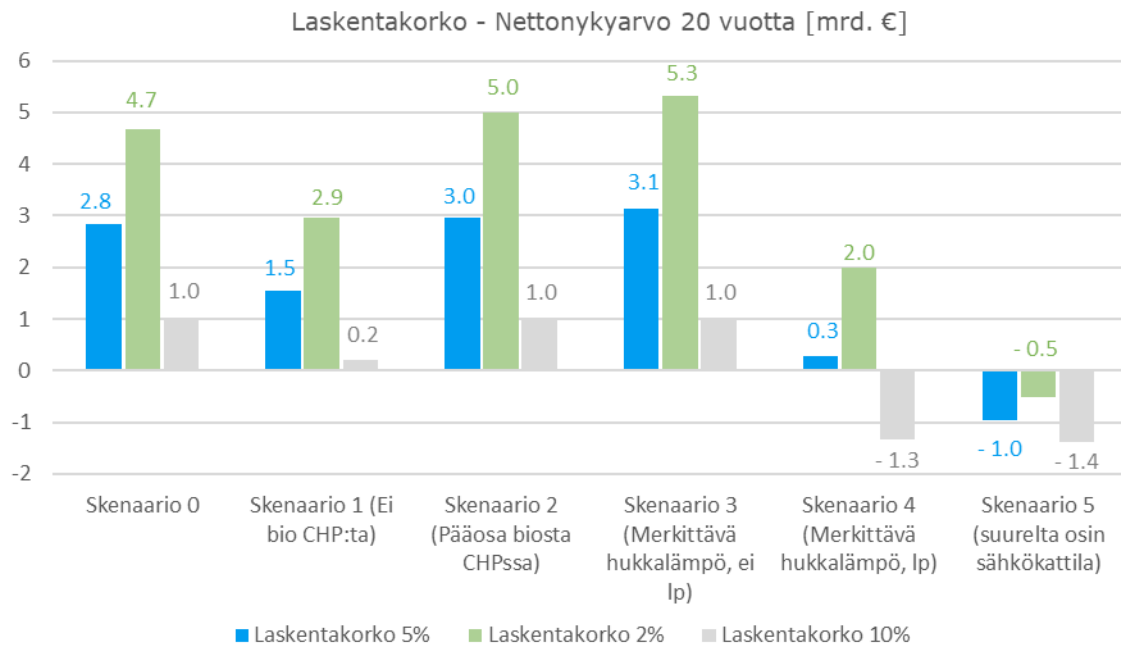
Biomassan investoinnin eri herkkyysvaihtoehdoilla ei ole juuri vaikutusta skenaarioiden kannattavuuslaskelmaan. Skenaariossa ei toteuteta suuria biomassaan liittyviä investointeja, joten kustannusten vaihtelulla ei ole sitä kautta suuria vaikutuksia kannattavuuteen.



Kuva 30 Skenaariot 0-6 herkkyytettyinä lämpöpumppujen sekä sähkökattiloiden investointikustannuksilla (+30% & -10%)

Lämpöpumppujen ja sähkökattiloiden investointikustannusten alenemisella on positiivinen korrelaatio kaikkien skenaarioiden kannattavuuteen - investointikustannusten laskiessa

kannattavuus paranee. Kaikissa skenaarioissa kaukolämmön tuotanto sähköistyy, vaatien merkittäviä investointeja lämpöpumppeihin sekä sähkökattiloihin.



Kuva 31 Skenaariot 0–5 herkkyytettynä laskentakoron mukaan (5% & 10%)

Laskentakoron vaikutus on mahdollista esittää nettonykyarvon avulla. 10%:n laskentakorko pienentää merkittävästi skenaarioiden 0, 1, 2 ja 3 positiivisen kannattavuuden. 5%:n korko laskee perustilanteen (2%) nettonykyarvon noin puoleen. Skenaariot 4 ja 5 pysyvät kannattamattomana riippumatta laskentakoron herkkyysvaihtoehdoista, mutta Skenaarion 4 molemmilla vaihtoehdoilla on tulosta alentava vaikutus.

7. SOSIOEKONOMIA JA YMPÄRISTÖTEKIJÄT

Tässä osassa tarkastellaan kolmen eri skenaarion sosioekonomisia vaikutuksia. Analyysi tarjoaa kuvan skenaarioiden vaikutuksista energian loppukäyttäjän hintaan, työmarkkinoihin, osaamis- ja koulutustarpeisiin, aluetaloudellisiin vaikutuksiin, energiaköyhyyden estämiseen ja ympäristötekijöihin. Tarkasteltavat skenaariot ovat:

- Skenaario 0
- Skenaario 3
- Skenaario 6

7.1 Skenaario 0

Kaukolämpö on keskeinen osa Suomen energiasektoria, ja sen tuotannolla on laajoja vaikutuksia maan sosioekonomiseen tilanteeseen. Kaukolämpöjärjestelmät tarjoavat luotettavan ja tehokkaan lämmöntuotantomenetelmän, mikä on erityisen tärkeää Suomen vaativissa talviolosuhteissa.

Kaukolämmön tuotanto perustuu tällä hetkellä pääosin biomassaan ja turpeeseen, ja osittain fossiiliin polttoaineisiin kuten kivihiileen, maakaasuun ja öljyyn (Kuva 13). Kaukolämpöä tuottavien laitosten energiatehokkuus sekä läheisyys asiakkaisiin alentaa energian hintaa loppukäyttäjän näkökulmasta. Suomessa ei ole havaittu tilastollisesti merkittävää energiaköyhyyttä tähän mennessä. Kuitenkin nousevat energian hinnat ja merkittävät veronkorotukset lisäävät yksittäisten kotitalouksien taloudellisia vaikeuksia. Asiantuntijahaastattelun perusteella energiaverotusta ei tulisi käyttää sosiaalipolitiikan välineenä. Sen sijaan olemassa olevia sosiaalipolitiikan työkaluja tulisi hyödyntää mahdollisen energiaköyhyyden lieventämiseksi. (Valtiovarainministeriö, 2022)

Sähkö-, kaasu-, lämpö- ja jäähdytysliiketoiminnan ala työllistää suoraan noin 13 300 henkilöä (Tilastokeskus, 2024). Suurin osa näistä työntekijöistä työskentelee kaukolämpöalan parissa, vaikka mukana on myös muita energianlähteitä, kuten tuulivoima, ydinvoima, aurinkovoima ja vesivoima. Yhteistuotannon vuoksi erottelu on haastavaa, mutta voidaan karkeasti arvioida, että merkittävä osa työllisyydestä kuuluu kaukolämpöalaan. Energiateollisuus ry:n arvion mukaan alan välillinen työllistävyys on huomattavasti laajempi, noin kaksinkertainen. Näin ollen energia-alan kokonaistyöllistävyys on yli 25 000 henkilötyövuotta. Yhdessä alihankkija- ja yhteistyökumppaniensa kanssa energiayhtiöt ovat merkittäviä paikallisia työllistäjiä. Työ- ja elinkeinoministeriön selvityksen mukaan alalle ei ole viime vuosina syntynyt juurikaan uusia työpaikkoja, vaan työllistyminen selittyy korvausrekrytoinneilla (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2023). Tarkemmin arvioituna Suomen lämpöpumppuyhdistyksen (Sulpu, 2020) mukaan lämpöpumppuala työllistää 3000–5000 henkilöä.

Koulutuksen näkökulmasta energia-ala on kasvanut viimeisen 20 vuoden aikana merkittävästi. Esimerkiksi energiatekniikan diplomi-insinöörien sekä energiatekniikan- ja energia- ja ympäristötekniikan AMK-insinöörien opiskelija-, ja tutkintomäärät ovat kasvaneet tasaisesti 2000-luvun alkupuolelta tähän hetkeen. Energiatekniikan diplomi-insinöörien tutkintojen määrä oli lähes nelinkertainen vuonna 2022 verrattuna vuoteen 2004. (Tilastokeskus, 2024) Energia-ala kärsii kuitenkin kasvavasta osaajapulasta. Ikääntyvä väestö ja suuri eläköityminen lisäävät osaajien tarvetta, kun yhteiskunnan sähköistyminen ja käynnissä oleva energiamurros luovat uusia työpaikkoja ja vaativat uutta osaamista. Tämä tuo energia-alalle kilpailua osaajista sekä kansallisesti että kansainvälisesti. (Energiateollisuus, 2023c)

Aluetalouden näkökulmasta sähkö-, kaasu- ja lämpöhuollon sekä jäähdytysliiketoiminta-alan (sisältäen kaukolämmön) kokonaistuotos oli vuonna 2021 noin 10,8 miljardia euroa, josta arvonnäistä oli noin 4,8 miljardia euroa. (Tilastokeskus, 2024) Energiateollisuus synnytti vuonna

2019 noin 1 miljardin euron verokertymän. Energiantuotannon verokertymä on arvoketjussa suurin, yli 451 miljoonaa euroa. Energiateollisuuden osuus Suomen ansioverokertymästä on noin 2 %, yhteisöverokertymästä noin 6 % ja kiinteistöverokertymästä noin 4 %. (Gaia, 2021) Vuonna 2021 sähkö-, kaasu- ja lämpöhuollon sekä jäähdytysliiketoiminnan alalla palkansaajakorvaukset olivat yhteensä 927 miljoonaa euroa, josta 779 miljoonaa euroa muodostui palkoista ja palkkioista. (Tilastokeskus, 2024)

Sähkö-, kaasu- ja lämpöhuollolle sekä jäähdytysliiketoiminta-alalle myönnettiin **ympäristötukia** vuonna 2022 yhteensä 17 miljoonaa euroa. Energiantuotantoon uusiutuvista luonnonvaroista myönnettiin 9 miljoonaa, ja lämmön-/energiansäästöön ja hallintaan 8 miljoonaa euroa. (Tilastokeskus, 2024) Alan kasvihuonepäästöt ovat laskeneet merkittävästi viimeisen kymmenen vuoden aikana. Vuoden 2021 kasvihuonepäästöt ovat vähentyneet noin 60% vuodesta 2010, ~28 miljoonasta tonnista ~12 miljoonaan tonniin. (Tilastokeskus, 2024)

7.2 Skenaario 3

Hukkalämpöskenaariossa Suomeen investoidaan uusia vety- ja muuta sähköintensiivistä teollisuutta, joiden hukkalämpö integroidaan kaukolämmitysjärjestelmiin. Tämä voi vaikuttaa **energian loppukäyttäjän hintaan** vähentävästi ja siten pienentää energiaköyhyyttä. Tehokkaan lämpöpumpputeknologian avulla hukkalämpö voidaan hyödyntää lämmöntuotannossa, mikä voi mahdollistaa kustannussäästöjä ja siten alentaa energian hintaa loppukäyttäjille. Lisäksi uusien laitosten integrointi voi lisätä tarjontaa kaukolämmitysmarkkinoilla, mikä voi kilpailutilanteessa painaa hintoja alaspäin.

Työmarkkinoihin kohdistuvat vaikutukset ovat positiivisia, kun uusien teollisuuden ja yhteiskunnan hukkalämpöä hyödyntävien laitosten, kuten vety- ja datalaitosten, rakentaminen ja käyttöönotto luovat työpaikkoja asennus-, huolto- ja ylläpitotehtävissä. Työpaikat siirtyvät polttolaitoksista lämpöpumppulaitoksiin, jotka vaativat korkeamman tason osaamista. Tämä aiheuttaa työvoimalle lisä-/muutokoulutuksen tarvetta. Lisäksi teknologiayrityksissä ja suunnittelutoimistoissa kysyntä eri alojen asiantuntijoille kasvaa, mikä edistää työllisyyttä ja osaamisen kehittymistä alueella. Esimerkiksi 100 megawatin elektrolyyttisen vetylaitoksen rakentaminen synnyttää vuosittain keskimäärin 330 työpaikkaa ja 45 pysyvää työpaikkaa. Toisaalta perinteisen vetylaitoksen hiilidioksidin talteenottoon liittyvän kunnostuksen arvioidaan synnyttävän vuosittain keskimäärin 520 työpaikkaa ja 80 pysyvää työpaikkaa. (Rhodium Group, 2023) Business Finlandin arvion mukaan esimerkiksi Suomeen kolmen vetylaitoksen investointia suunnitellut PlugPower Inc.:n tekemä investointi loisi Suomeen 1000 suoraa työpaikkaa, ja välillisesti yli 3000 työpaikkaa. Tällaisen investoinnin kerrannaisvaikutus työllisyyteen olisi näin ollen kolminkertainen. (Business Finland, 2023) Yleisellä tasolla suurten energiaprojektien kerrannaisvaikutukset työllisyyteen ovat usein 2–3 kertaisia Rambollin arvioiden mukaan. Vaikka vetysiirtymä voi luoda uusia työpaikkoja, se voi samalla aiheuttaa työpaikkojen menetyksiä fossiilisiin polttoaineisiin ja raaka-aineisiin perustuvissa arvoketjuissa (Valtioneuvosto, 2022).

Yhdysvaltalaisen tutkimuksen mukaan uudentyyppisten **koulutusohjelmien** tarve on laaja-alainen ja se ulottuu monille eri teollisuudenaloille. Tulevaisuudessa tarvitaan muutoksia eri tieteenalojen ja erityisesti tekniikkaan liittyvissä koulutusohjelmissa, jotta opiskelijat saavuttavat valmiuksia vetyteollisuuden alalla toimimiseen. (Bezdek, 2019) Lämpöpumppuratkaisuissa korostuu järjestelmäosaaminen, joka on keskeistä kokonaisuuksien suunnittelussa ja hallinnassa. Tämä osaaminen edellyttää syvällistä ymmärrystä erilaisista teknisistä ratkaisuista ja niiden välisistä vuorovaikutuksista. Suunnittelijoiden ja asentajien on hallittava kokonaiskuvan hahmottaminen sekä ymmärrettävä talotekniikan uusimmat ratkaisut. Integroitujen järjestelmien luominen, johon kuuluu lämpöpumpun lisäksi muita komponentteja ja teknologioita, on keskeistä. Tähän sisältyy

myös kyky arvioida eri vaihtoehtojen soveltuvuutta ja optimoida järjestelmän toimivuutta ja tehokkuutta käyttäjien tarpeiden mukaisesti. (Aalto yliopisto, 2021)

Aluetaloudelliset vaikutukset voivat olla merkittäviä, kun uusien vety- ja lämpöpumppulaitosten rakentaminen ja käyttöönotto luovat investointeja ja työpaikkoja alueen teknologiayrityksissä ja suunnittelutoimistoissa. Tämä voi edistää alueen taloudellista kehitystä ja lisätä yritysten toimintaa, mikä puolestaan tukee paikallista taloutta ja työllisyyttä lisäten verotuloja. Laitosten rakentaminen ja käyttöönotto voivat synnyttää merkittäviä investointeja alueelle, kuten vetyteknologiaan erikoistuneiden tuotantolaitosten rakentamiseen ja tarvittavien jakeluverkostojen luomiseen. Nämä investoinnit puolestaan luovat uusia työpaikkoja esimerkiksi rakennusalalle ja infrastruktuuripalveluihin, sekä lisäävät alueen teknologiaklustereiden ja osaamiskeskittymien houkuttelevuutta ja kilpailukykyä. Sähkö-, kaas- ja lämpöhuollon sekä jäähdytysliiketoiminnan palkansaajakorvaukset voivat kasvaa merkittävästi. Tämä johtuu lisääntyneestä työvoiman tarpeesta lämpöpumppujen asennuksessa ja huollossa

Ympäristötekijät ovat olennainen osa hukkalämpöskenaariota, kun uusien teknologioiden integrointi kaukolämmitysjärjestelmiin vähentää negatiivisia ympäristövaikutuksia ja pienentää hiilijalanjälkeä. Hukkalämmön hyödyntäminen lämmöntuotannossa vähentää tarvetta perinteisille energialähteille, mikä vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja edistää kestävämpää energiantuotantoa. (Katso kohta 6.2.1)

7.3 Skenaario 6

Skenaariossa siirrytään polttamiseen perustuvasta kaukolämmön tuotannosta enemmän lämpöpumppujen käyttöön. Lämpöpumppulaitokset ovat tehokkaampia kuin fossiiliset polttoaineet kaukolämmön tuotannossa useista syistä.

Työllisyysvaikutukset ovat neutraaleja tai lievästi positiivisia. Nykyisten kaukolämpölaitosten lakkauttamisen seurauksena työpaikat vähenevät, mutta samanaikaisesti lämpöpumppujen valmistus, asennus ja ylläpito lisäävät työvoiman kysyntää. Poistuvien lämpölaitosten korvaaminen uusilla lämpöpumppulaitoksilla ei todennäköisesti vaikuta merkittävästi työpaikkojen kokonaismäärään. Uusien laitosten automaatiolla voidaan mahdollisesti vastata eläköitymisen tuomiin haasteisiin. Aalto yliopistossa (2021) tehdyn tutkimuksen mukaan lämpöpumppujen asennettu kapasiteetti kasvaa merkittävästi vuosien 2017 ja 2035 välillä, nousten 4 500 megawatista (MW) 12 000 MW:iin. Asennus- ja rakennustyössä tarvittavan työvoiman määrä pysyy melko vakiona 2 100 henkilötyövuodessa (htv) per MW vuosina 2020–2035, mikä kattaa yhteensä 33 500 htv. Huollon, operoinnin ja järjestelmän uusimisen alalla tarvitaan 3 600 työpaikkaa vuonna 2035, mikä vastaa noin 0,3 työpaikkaa per MW asennettua kapasiteettia. Lämpöpumppujen asennuksessa tarvitaan keskimäärin 5 henkilötyövuotta (htv) per megawatti (MW) asennettua kapasiteettia. (Aalto yliopisto, 2021) Laajamittainen siirtyminen lämpöpumppuihin edellyttää monialaista **osaamista**, joka kattaa tekniset, rakennustekniset, sähkötekniset, energia-alan, koulutukselliset ja lainsäädännölliset näkökulmat. Vaikka asennusvaihe luo tilapäisesti merkittävästi työpaikkoja, nämä eivät välttämättä johda pysyvään työllisyyden kasvuun, koska asennustyöt ovat projektiluonteisia. Pysyvien työpaikkojen määrä kasvaa arviolta 3 600 työpaikalla, mikä vastaa 0,3 työpaikkaa per asennettu megawatti lämpöpumppukapasiteettia.

Aluetalouden näkökulmasta siirtyminen lämpöpumppuihin edellyttää todennäköisesti merkittäviä investointeja ja vaatii mahdollisesti tukitoimia valtiolta, kaupungeilta ja kunnilta. Verotulot voivat laskea, koska fossiilisten polttoaineiden haittaverotus vähenee. Korvaavia veroja harkitessa on tärkeää arvioida niiden sivuvaikutuksia huolellisesti, jotta vältetään haitalliset vaikutukset ympäristölle, taloudelle ja yhteiskunnalle. Tavoitteena on tukea kestävää siirtymää uusiutuvaan

energiaan säilyttäen samalla talouden tarvitsemat resurssit ja palvelut. (Valtiovarainministeriö, 2022) Samalla on hyvä huomioida, että siirtyminen lämpöpumppuihin saattaa vaikuttaa sähkö-, kaasu- ja lämpöhuollon palkkakustannuksiin, sillä lämpöpumppujen käyttö on vähemmän työvoimavaltaista. Tämä voi luoda kuitenkin uusia työpaikkoja lämpöpumppujen asennus- ja huoltosektorilla, mikä osittain kompensoi perinteisen lämmöntuotannon palkkakustannusten laskua.

Ympäristövaikutukset skenaariossa ovat merkittäviä verrattuna vuoteen 2022. Siirtyminen pois fossiiliseen tuotantoon perustuvasta kaukolämmöstä lämpöpumppuihin vähentää merkittävästi hiilidioksidipäästöjä ja parantaa energiatehokkuutta, erityisesti jos lämpöpumppujen toiminta perustuu uusiutuvaan sähköön. (Katso kohta 6.2.1) Ero ei ole kuitenkaan niin merkittävä, jos verrataan skenaarioon 0, jossa kaukolämmön tuotannosta fossiilinen tuotanto on korvattu lämpöpumpuilla sekä biomassalla.

8. TULOSTEN JOHTOPÄÄTÖKSET

Suomen rakennuskannan lämmitysmuodoissa tapahtuu tulevana vuosikymmenenä suuria muutoksia. Riippumatta skenaariosta rakennusten lämmityksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt putoavat yli 60% verrattuna 2022 tasoon. Muutos johtuu pitkälti fossiilisten polttoaineiden korvaantumisella sähköön perustuvilla lämmitysratkaisuilla sekä biomassan käytön lisääntymisellä suurissa yli 1500 MW:n kaukolämpöverkoissa. Lämmitykseen käytettävän primäärienergian määrä pienenee merkittävästi jokaisessa tarkastelussa skenaariossa, johtuen lämpöpumppujen hyödyntämisestä. Primäärienergian tarve pienenee eniten skenaarioissa, joissa hyödynnetään hukkalämpöjä. Lämmityksen sähköistyessä korvataan myös olemassa olevaa CHP-tuotantoa, joka vähentää sähköntuotantoa ja lisää sähkönkulutusta. Tällä voi olla paikallisia vaikutuksia sähköverkkoihin.

CHP-tuotannolla on iso merkitys laskennan tuloksiin. CHP-laitosten polttoainekulutuksen laskennassa on hyödynnetty hyödynjakomenetelmää. Hyödynjakomenetelmällä polttoaineiden käyttö jaetaan sähkön ja lämmön välillä ottaen huomioon näiden hyötysuhteet. Hyödynjakomenetelmä on yleisesti käytetty menetelmä CHP-tuotannon laskennassa. Hyödynjakomenetelmä voidaan sanoa suosivan lämmöntuotantoa. Käytännössä tämä näkyy siinä, kun CHP-tuotantoa korvataan lämmön erillistuotannolla, kuten biomassan poltolla tai lämpöpumpuilla, käytetään enemmän polttoainetta tuotettua lämmitystä kohti kuin CHP-tuotannossa. Skenaarioissa CHP-tuotanto pienenee selvästi verrattuna nykytilaan.

Kustannuslaskennassa laskettiin nykytilan hinnoilla arvioita eri skenaarioiden vaatimista investoinneista, sekä skenaarioiden kaukolämmön ja muun lämmöntuotannon kustannuksia kuluttajille. Lämmitysjärjestelmän muutokset vaativat eri skenaarioissa skenaarion mukaan noin 2.6–5.3 mrd.€ investointeja. Kaukolämmön hinta vaihtelee skenaarioiden välillä 75–84 €/MWh.

Skenaario 0, joka perustuu kaukolämpötoimijoiden ilmoitettuihin suunnitelmiin, näyttäytyy kustannuslaskennassa tehokkaana skenaariona. Tämän skenaarion investoinnit sekä kaukolämmön hinta on alhaisin eri skenaarioista. Skenaariossa 0 hyödynnetään tehokkaasti olemassa olevaa tuotantokapasiteettia, joka täydentyy uudella tehokkaalla lämmöntuotantokapasiteetilla (lämpöpumput). Investointien alhainen taso heijastuu myös kaukolämmön kokonaishintaan.

CHP-tuotannon muutokset korostuvat verrattaessa skenaarioita 1 ja 2. Skenaariossa 1, jossa CHP-tuotanto on hyvin vähäistä, kaukolämmön tuotantokustannus nousee 79 €/MWh. Skenaariossa 2, jossa CHP-tuotantoa on säilytetty, tuotantokustannus on samalla tasolla skenaarion 0 kanssa eli 75 €/MWh. Skenaario 2 edellyttää enemmän investointeja, koska CHP-laitosten investointikustannus on suurempi kuin lämmön erillistuotannon investoinnit.

Skenaariossa 3 saadaan hyödynnettyä 40 % hukkalämpöjä koko kaukolämmön tarpeesta. Tämä on samaa tasoa skenaarion 0 kanssa. Hukkalämmölle, jota voidaan suoraan hyödyntää kaukolämpönä, on oletettu hinnaksi 20 €/MWh. Hukkalämmön hyödyntäminen edellyttää maltillisia investointeja. Merkittävän suoraan hyödynnettävän hukkalämmön määrän vuoksi muita lämpöpumppuja ei päästä hyödyntämään yhtä tehokkaasti kuin esimerkiksi skenaariossa 0. Alempi käyttöaste merkitsee heikompaan investoinnin kannattavuutta. Näistä syistä johtuen skenaario 3:n kaukolämmön tuotantokustannus pysyy samalla tasolla skenaarion 0 kanssa.

Jos hyödyntämiskelpoisen hukkalämmön hinnaksi asetetaan esimerkiksi 5 €/MWh, muuttuu kaukolämmön tuotantokustannus 75 €/MWh → 69 €/MWh, joka on selvästi edullisempaa verrattuna skenaarioon 0 (joka on 76 €/MWh). Hukkalämmön hinnan määrittäminen on haastavaa ja se määräytyy tapauskohtaisesti. Eri teollisuustoimijoilla on erilaiset toimintamallit ja edellytykset

hukkalämmön hyödyntämiselle. Teollisille toimijoille hukkalämpö on nimensä mukaisesti erillinen osa toimintaa, jonka hyödyntämiselle laajemmin yhteiskunnassa olisi oltava vastuullisuuteen tai vastaavaan aineettomaan arvoon liittyvät kannustimet.

Skenaarioissa 0–5 käsitellään pääasiallisesti kaukolämmön tuotantorakenteen muutoksia. Skenaariossa 6 tutkitaan mitä vaikutuksia on, jos kaukolämmön kysyntä puolittuu ja rakennukset investoivat omaan pääasiassa lämpöpumppuun pohjautuvaan lämmöntuotantoon.

Skenaario 6 edellyttää suuria investointeja verrattuna muihin skenaarioihin. Tämä johtuu siitä että, olemassa olevaa kaukolämpötuotantokapasiteettia ei hyödynnetä kokonaisuudessaan, vaan on investoitava laajamittaisesti uuteen kiinteistökohtaiseen tuotantoon. Kiinteistökohtaiset lämpöpumppuratkaisut ovat hieman kalliimpia verrattuna vastaaviin tuotantomuotoon kaukolämmön tuotannossa. Kaukolämmön yhteydessä investoinnit ovat yksikkökapasiteetiltaan suurempia kuin kiinteistöratkaisuissa, jolloin investoinnit ovat suhteessa suurempia ja investoinnin yksikkökustannus on pienempi.

Skenaarion 6 tuloksia tarkasteltiin koko rakennuskannan sekä erikseen pelkästään ei-kaukolämmön piirissä olevien rakennusten lämmön keskihintaa vertailemalla. Skenaario 6 tulokset ovat hieman korkeammalla verrattuna skenaarioon 0, johtuen pitkälti suurista investoinneista. Esimerkiksi koko rakennuskannan lämmityksen keskihinta on 79 €/MWh skenaariossa 6 ja 76 €/MWh skenaariossa 0. Koko rakennuskannan lämmityksen hintaan vaikuttaa myös kiinteistöille kohdistuva suurempi sähkönhinta. Suurten lämpöpumppujen hyödyntäminen kaukolämmön tuotannossa kuuluu veroluokkaan II, kun taas kiinteistökohtaiset ratkaisut kuuluvat sähköveroluokkaan I. Ero sähköverossa on 2,19 snt/kWh. (Vero, 2024) Siirtomaksut ovat myös suurempia kiinteistökohtaisille ratkaisuille verrattuna teolliseen käyttöön.

Herkkyystarkastelussa tutkittiin biomassan ja sähkön energiamaksun sekä biomassan ja lämpöpumppujen ja sähkökattiloiden investointien vaikutuksia investointien sisäiseen korkokantaan. Biomassan energiamaksun kasvulla on suuri negatiivinen vaikutus skenaarioihin 0, 1 ja 2, joissa hyödynnetään eniten biomassaa. IRR laskee näissä skenaarioissa 5 %-yks. - 13 %-yks. Biomassan energiamaksun halvemmalla hinnalla on lievä positiivinen vaikutus edellä mainittujen skenaarioiden kannattavuuteen. IRR nousee näissä skenaarioissa 1 %-yks. - 2 %-yks.

Sähkön energiamaksun vaihtelulla on suuri vaikutus kaikkiin skenaarioihin. On huomattavaa, että etenkin sähkön kasvanut hinta on hyvin suuri verrattuna nykytilan hintaan. Jos sähkön energiamaksu nousee 49 €/MWh 89 €/MWh ei mikään skenaarioista ole enää kannattava. Jos taas energiamaksu pienenee 35 €/MWh nousee jokaisen skenaarion IRR noin 5 %-y. On kuitenkin hyvin todennäköistä, että jos sähkön energiamaksun näkymä nousisi herkkyytarkastelun mukaiselle tasolle, ei sähkön perustuvaan lämmöntuotantoon investoita tai sitä ei ainakaan hyödynnettäisi, jos muuta lämmöntuotantokapasiteettia on käytettävissä. Sähkön hinnalla on kuitenkin suuri merkitys kaikissa skenaarioissa.

Biomassainvestointien muutoksilla ei ole suurta merkitystä skenaarioiden kannattavuuteen. Vaikutus on noin 1 %-yks. Lämpöpumppuja ja sähkökattiloita investoidaan skenaarioissa enemmän, jonka vuoksi investoinneilla on myös suurempi vaikutus. Investoinnin kasvaessa +30% laskee IRR noin 3 %-y joka skenaariossa. Investoinnin ollessa -10% IRR nousee noin 1 %-yks.

Investointikoron vaikutus nettonykyarvoon tutkittiin kolmella eri vaihtoehdolla 2%, 5% ja 10 %. Laskentakorolla on suuri vaikutus skenaarioiden kannattavuuteen. Koron ollessa 10% ainoastaan skenaariolla 0 on positiivinen nettonykyarvo. Koron ollessa 5% laskee nettonykyarvo noin puoleen verrattuna 2%-korkoon.

9. YHTEENVETO

Tässä työssä on toteutettu energiatehokkuusdirektiivin (EU)2023/1791 Artiklan 25 mukainen kattava arviointi, johon sisältyy analyysi tehokkuuteen liittyvistä taloudellista mahdollisuuksista lämmityksessä ja jäähdytyksessä. Työssä luotiin tilannekuva Suomen lämmön ja jäähdytyksen tuotannon tilasta sekä tarkasteltiin niiden kehittymistä skenaariotarkasteluin. Arvioinnin perusteella on todettavissa, että energiatehokkuusdirektiivin tavoitteet tehokkaan kaukolämmön hyödyntämiseen Suomessa ovat saavutettavissa.

Energiatehokkuusdirektiivin mukaisten tehokkaiden kaukolämpöjärjestelmien piirissä on tällä hetkellä 98 % Suomen kaukolämmitetyistä rakennuksista. Energiatoimialan suunnitelmien mukaan, vuoteen 2030 mennessä kaikki Suomen kaukolämmitetyt rakennukset ovat energiatehokkuusdirektiivin mukaisen tehokkaan kaukolämmityksen piirissä.

Suomen laaja kaukolämpöverkkojärjestelmä mahdollistaa yhteiskunnallisten hukkalämpöjen tehokkaan hyödyntämisen osana rakennusten lämmitystä. Etenkin teollisuuden energiankäytöstä vapautuu merkittävä määrä lämpöä, jonka hyödyntämistä myös pienten taajamien lämmittämiseen on hyvä kannustaa koko Suomen alueella. Puhtaan siirtymän teolliset investoinnit tuovat merkittävän määrän teollisuudelta palautuvaa lämpöenergiaa markkinalle hyödynnettäväksi. Suurten hukkalämpökapasiteettien siirtäminen kymmenien kilometrien päähän syntypaikoista on taloudellisesti mahdollista, mikäli hukkalämmön tuottajan ja vastaanottajan näkemykset lämmön arvosta ovat yhtenevät ja hukkalämmön luovuttamiseen yhteiskunnan käyttöön on riittävät vastuullisuus ynnä muut vastaavat kannustimet.

Skenaariotarkastelussa tutkittiin kaukolämpöalan omien suunnitelmien tehokkuutta muihin mahdollisiin lämpömarkkinan kehityksiin kuten laajemman biopohjaisen CHP-hyödyntämistä, hukkalämpöjen merkittävää lisäämistä, sähkökattiloiden laajaa hyödyntämistä sekä sitä miten, jos puolet kaukolämmön asiakkaista vaihtaisivat kiinteistökohtaisiin lämpöpumppuratkaisuihin. Kaukolämpöalan omissa suunnitelmissa fossiilisiin polttoaineisiin perustuvasta lämmöntuotannosta siirrytään vahvasti kohti lämpöpumpputuotantoa sekä biomassan hyödyntämistä lämmöntuotannossa. Kaukolämpöalan omat suunnitelmat ovat päästökehitykseltään, primäärienergian tarpeeltaan ja loppukäyttäjän hinnaltaan parhaat kaikissa kaukolämpöverkkojen kapasiteettiluokissa. Työssä lämmitysjärjestelmä mallinnettiin koko Suomen tasoisesti eikä se ota paikallisia verkkokohtaisia eroja huomioon.

Sosioekonomisia vaikutuksia analysoitiin skenaariotarkastelun tukena skenaarioille 0, 3 ja 6 (kaukolämpöalan suunnitelmat, merkittävä hukkalämmön hyödyntäminen sekä kiinteistökohtaisten lämpöpumppuratkaisujen merkittävä yleistymisen). Koulutuksen näkökulmasta yhteiskunnan sähköistyminen ja käynnissä oleva energiamurros luovat uusia työpaikkoja ja vaativat uutta osaamista. Tämä pätee kaikkiin skenaarioihin, mutta hieman eri tavoin. Skenaarioissa 0 ja 3 osaamista tarvitaan suurten laitosinvestointien sekä uuden sähköintensiivisen teollisuuden tarpeisiin, skenaariossa 6 taas enemmän kiinteistökohtaisiin ratkaisuihin. Aluetalouden näkökulmasta skenaarion 3 merkittävä kasvu sähköintensiivisessä teollisuudessa tuo kasvua niille alueille johon teollisuutta sijoittuu sekä voi myös laskea paikallista kaukolämmön kuluttajahintaa.

Biomassan hinnan kohoaminen on uhka kaukolämmön hintakilpailukyvyille. Jotta kaukolämpö voi markkinaehtoisesti kilpailla muita lämmitysmuotoja vastaan, on kaukolämmön hinnan oltava tasolla 75 €/MWh.

Tämän hetken tilanteessa CHP-tuotannolla on hyvin merkittävä rooli Suomen kaukolämmön tuotannossa kattaen 54 % koko lämmönhankinnasta. Suurin osa CHP-lämmöntuotannosta syntyy

teollisuuden yhteydessä olevilla voimalaitoksilla pääosin metsäteollisuudessa. Suomen teollisuudessa on käynnissä transformaatio. Transformaation seurauksena on nähtävissä, että teollisuuden yhteyteen rakennetun CHP-kapasiteetin yksikkökoot jäävät ylisuuriksi niihin yhteydessä oleviin kaukolämpöverkkoihin nähden, mikäli teollisuuden lämmöntarve poistuu.

Nykyisen ei-kaukolämmitetyn kannan siirtyminen sähköön perustuvaan lämmitykseen näyttäytyy hyvin kannattavana. Tämä siirtymä edellyttää rakennuskannan omistajilta taloudellista kyvykkyyttä investointien rahoittamiseen.

Kaukolämmön aseman säilyminen edesauttaa koko rakennuskannan päästöjen alenemista ja energiahinnan pysymistä maltillisella tasolla. Rakennuskannan laajamittainen yhteiskunnallinen ohjaaminen pois kaukolämmön piiristä johtaa koko lämmitetyn rakennuskannan lämmityskustannuksen nousuun.

10. LÄHTEET

- Aalto yliopisto, 2021: Energiamurros ja osaaminen <https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/1c9a2f4e-e53b-4b14-a28e-50cccb66d7d5/content>
- Business Finland, 2023: Plug Power suunnittelee kumppaneidensa kanssa kolmea vihreän vedyn tuotantolaitosta Kokkolaan, Porvooseen ja Kristiinankaupunkiin, <https://www.businessfinland.fi/ajankohtaista/uutiset/tiedotteet/2023/plug-power-suunnittelee-kumppaneidensa-kanssa-kolmea-vihrean-vedyn-tuotantolaitosta-kokkolaan-porvooseen-ja-kristiinankaupunkiin>
- EK, 2024, Dataikkuna Suomen vihreät investoinnit, <https://ek.fi/tutkittua-tietoa/vihreat-investoinnit/>
- Energiateollisuus 2020, Kaukolämmön käyttötaloudelliset tunnusluvut 2019, https://energia.fi/wp-content/uploads/2016/08/Kayttotaloudelliset_tunnusluvut_2019.pdf
- Energiateollisuus 2023a, Kaukolämpötilastot 2022, https://energia.fi/wp-content/uploads/2022/11/Vuositaulukot_22.xlsx
- Energiateollisuus 2023b, Kaukojäähdytystilastot 2022, <https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/Kj-tilasto2022.xlsx>
- Energiateollisuus, 2023c, Energiamurros ei toteudu ilman uusia energia-alan osajia, <https://energia.fi/tiedotteet/energiamurros-ei-toteudu-ilman-uusia-energia-alan-osajia/>
- Energiateollisuus, 2024, Kaukolämmön hinnat 1.1.2024, https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/02/KL_hintataulukko_01012024_paivitetty13032024.xlsx
- Energiavirasto 2024, Voimalaitosrekisteri, <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/158131816/Energiaviraston+voimalaitosrekisteri+11052023.xlsx/f8f3cda7-138d-eac5-ccd6-f720e0d1e7eb?t=1695128483439>
- Fingrid, 2024, Sähköntuotannon ja -kulutuksen CO2-päästöarviot, <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/co2/>
- Gaia Consulting, 2021: Selvitys energiateollisuuden työllisyysvaikutuksista, https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/Energiateollisuuden_tyollisyys_-_Loppuraportti_12.3.2021.pdf
- Motiva, 2024, Teollisuus, https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto suomessa/energian_loppukaytto/teollisuus
- Roger H. Bezdek, 2019: *The hydrogen economy and jobs of the future* Renew. Energy Environ. Sustain. 4 1 <https://www.rees-journal.org/articles/rees/abs/2019/01/rees180005s/rees180005s.html>
- Rhodium group, 2023: Clean Hydrogen Workforce Development: Opportunities by Occupation, <https://rhg.com/research/clean-hydrogen-workforce-development/>
- Sulpu, 2020, Lämpöpumpuilla huippuvuosi. Myynti hipoi jo 100 000 pumppua. Miljoonan pumpun rajapyykki rikottiin, <https://www.sulpu.fi/lampopumpuilla-huippuvuosi-myynti-hipoi-jo-100-000-pumppua-miljoonan-pumpun-rajapyykki-rikottiin/>
- SYKE, 2024, Kuntien ja alueiden KHK-päästöt, <https://paastot.hiilineutraalisuomi.fi/>

Työ- ja elinkeinoministeriö, 2023: Minne syntyivät uudet työpaikat vuonna 2022?
<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/165339>

Tilastokeskus, 2024. 11c3 -- Tutkintotavoitteisen koulutuksen opiskelijat ja tutkinnot (koulutuskoodi), 2004–2022,
https://pxdata.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_opiskt/statfin_opiskt_pxt_11c3.px

Tilastokeskus, 2024. 123h -- Tulot ja tuotanto sektoreittain ja toimialoittain, vuosittain, 1975–2022*, https://pxdata.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_vtp/statfin_vtp_pxt_123h.px

Tilastokeskus, 2024. 14az -- Ympäristötuet toimialoittain, 2014–2022,
https://pxdata.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ymtu/?tablelist=true

Tilastokeskus, 2024. 11ig -- Ilmapäästöt toimialoittain, 2008–2021,
https://pxweb2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_tilma/statfin_tilma_pxt_11ig.px

Tilastokeskus, 2024. 12gd -- Kaukolämmön hinta kuluttajatyypeittäin, 1996M01–2024M03,
https://pxdata.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ehi/statfin_ehi_pxt_12gd.px

Tilastokeskus, 2024. 11ws -- Työllisyys ja työtunnit, vuosittain, 1975–2022,
https://pxdata.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_vtp/statfin_vtp_pxt_11ws.px

Valtioneuvosto, 2022: Vetytalous – mahdollisuudet ja rajoitteet,
https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163901/VNTEAS_2022_21.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Valtiovarainministeriö, 2022: Taustaselvitys Suomen energiaverotuksen kehitystyölle julkistettiin,
<https://vm.fi/-/taustaselvitys-suomen-energiaverotuksen-kehitystyölle-julkistettiin>

Vero, 2024, Sähkön, maakaasun, biokaasun, polttoturpeen, kivihiilen ja mäntyöljyn verotaulukot,
<https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/verot-ja-maksut/valmisteverotus/sahkovero/verotaulukot/>

VTT, 2024, Perusskenaariot energia- ja ilmastotoimien kokonaisuudelle kohti päästöttömyyttä (PEIKKO), <https://tietokayttoon.fi/-/perusskenaariot-energia-ja-ilmastotoimien-kokonaisuudelle-kohti-paastottomuutta-peikko->

Liite 1. Yksilöidyt laitokset EED Artikla 25 liitteen X, kohdan 2b mukaisesti

Jaottelu	Lämpöyrittäjä	Tuotantolaitoksen nimi	Lämmöntuotanto [GWh]	Jäähdytys [GWh]
Lämpövoimalat (yli 50 MW)	Fortum Power & Heat	Loviisa Y1	7029	0
Lämpövoimalat (yli 50 MW)	Fortum Power & Heat	Loviisa Y2	7228	0
Lämpövoimalat (yli 50 MW)	Teollisuuden Voima Oy	Olkiluoto 3	18622	0
Lämpövoimalat (yli 50 MW)	Teollisuuden Voima Oy	Olkiluoto 1	10593	0
Lämpövoimalat (yli 50 MW)	Teollisuuden Voima Oyj	Olkiluoto 2	11617	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Adven Oy, Kuusamo	LK305 Kuusamon voimalaitos	106	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Alva Rauhalahden Oy	Rauhalahden voimalaitos	332	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Etelä-Savon Energia Oy	Pursiala 2	243	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Etelä-Savon Energia Oy	Pursiala 1	175	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Fortum Power and Heat Oy, Espoo	Suomenoja 2	458	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Fortum Power and Heat Oy, Espoo	Suomenoja 1	348	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Fortum Power and Heat Oy, Espoo	Suomenoja 6	172	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Helen Oy	Vuosaari B	352	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Helen Oy	Hanasaari B	-	-
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Helen Oy	Salmisaari B	1526	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Helen Oy	Vuosaari A	130	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Herrfors Oy Ab, Ylivieska	Tulolantie	70	0

Jaottelu	Lämpöyrittäjä	Tuotantolaitoksen nimi	Lämmöntuotanto [GWh]	Jäähdytys [GWh]
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Jyväskylän Voima Oy	Keljonlahden voimalaitos	781	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Järvi-Suomen Voima Oy, Savonlinna	Järvi-Suomen Voima	190	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Kaukaan Voima Oy, Lappeenranta	Kaukaan Voima Oy	464	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Kemijärven lämpö ja vesi Oy	KeVo	59	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Keravan Lämpövoima Oy	Keravan biovoimalaitos	250	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Kokkolan Energia	Kokkolan Energia Oy Voima	73	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Kotkan Energia Oy	Hovinsaari	182	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	KSS Energia Oy	Hinkismäki	-	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Kuopion Energia Oy	Haapaniemi 2 ja 3 (HP2 savukaasupesuri 46 MW v. 2015)	856	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Lahti Energia Oy, Lahti	Kymijärvi 3, höyrykattila	281	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Lahti Energia Oy, Lahti	Kymijärvi, höyrykattila	260	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Lahti Energia Oy, Lahti	Kymijärvi, kaasuturbiini	0	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Loimua Oy, Hämeenlinna	Vanaja (kaasuturbiini)	0	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Loimua Oy, Hämeenlinna	Vanaja (leijukattila)	0	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Mariehamns Energi Ab	Dieselmötevärmeverk G4	-	0

Jaottelu	Lämpöyrittäjä	Tuotantolaitoksen nimi	Lämmöntuotanto [GWh]	Jäähdytys [GWh]
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Napapiirin Energia ja Vesi Oy	Suosiola	391	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Nevel Oy, Forssa	Kiimassuo	146	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Nevel Oy, Salon Energiantuotanto Oy	Salon voimalaitos	37	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Nivalan Kaukolämpö Oy	Teollisuuskylä	48	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Nokianvirran Energia Oy	Nokia voimalaitos	-	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Oulun Energia Oy	Toppila 2	725	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Oulun Energia Oy	Laanilan biovoimalaitos	540	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Porvoon Energia Oy	Tolkkinen 2	142	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Porvoon Energia Oy	Tolkkinen	128	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Savon Voima Oyj, Iisalmi	Energiakuja, VL2 voimalaitos	131	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Savon Voima Oyj, Joensuu	Joensuu CHP	391	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Savon Voima Oyj, Pieksämäki	VL1, Kutteritie	98	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Seinäjoen Voima Oy, Seinäjoki	Sevo	308	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Tampereen Sähkölaitos, Tampere	Naistenlahti	423	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Tampereen Sähkölaitos, Tampere	Lielähti	197	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Turun Seudun Energiantuotanto Oy	Na 4	782	0

Jaottelu	Lämpöyrittäjä	Tuotantolaitoksen nimi	Lämmöntuotanto [GWh]	Jäähdytys [GWh]
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Turun Seudun Energiantuotanto Oy	Na 3	376	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Vantaan Energia Keski-Uusimaa Oy, Järvenpää	Järvenpään voimalaitos	222	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Vantaan Energia Oy	Martinlaakso 2	295	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Vantaan Energia Oy	Martinlaakso 1 (bio)	172	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Vantaan Energia Oy	Martinlaakso 4 (kaasukombi)	25	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	Vaskiluodon Voima Oy, Vaasa	Vaskiluoto 2	276	0
Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP) (yli 20 MW)	VSV Energia Oy	ONKA	-	0
Jätteenpolttolaitokset	Fortum Waste Solutions Oy, Riihimäki	Fortum Waste Solutions Oy, Riihimäki	435	0
Jätteenpolttolaitokset	Kotkan Energia Oy	Hyötyvoimala	15	0
Jätteenpolttolaitokset	Lahti Energia Oy, Lahti	Kymijärvi 2, höyrykattila	122	0
Jätteenpolttolaitokset	Lounavoima Oy, Salo	Korvenmäki	157	0
Jätteenpolttolaitokset	Oulun Energia Oy	Ekovoimalaitos	82	0
Jätteenpolttolaitokset	Riikinvoima Oy	Riikinvoima	150	0
Jätteenpolttolaitokset	Tampereen Sähkölaitos, Tampere	Tammervoima hyötyvoimalaitos	387	0
Jätteenpolttolaitokset	Vantaan Energia Oy	Jätevoimala 1	572	0
Jätteenpolttolaitokset	Vantaan Energia Oy	Jätevoimalan laajennus	166	0
Jätteenpolttolaitokset	Westenergy Oy, Mustasaari	Westenergy	251	0

Jaottelu	Lämpöyrittäjä	Tuotantolaitoksen nimi	Lämmöntuotanto [GWh]	Jäähdytys [GWh]
Uusiutuvan energian laitokset (yli 20 MW), jotka eivät kuulu em. ryhmiin i) ja ii)	Fortum Power and Heat Oy, Espoo	Suomenoja 4	27	21
Uusiutuvan energian laitokset (yli 20 MW), jotka eivät kuulu em. ryhmiin i) ja ii)	Fortum Power and Heat Oy, Espoo	Suomenoja 4 LP3	0	0
Uusiutuvan energian laitokset (yli 20 MW), jotka eivät kuulu em. ryhmiin i) ja ii)	Helen Oy	Katri Vala	203	158
Uusiutuvan energian laitokset (yli 20 MW), jotka eivät kuulu em. ryhmiin i) ja ii)	Helen Oy	Esplanadi	32	24
Uusiutuvan energian laitokset (yli 20 MW), jotka eivät kuulu em. ryhmiin i) ja ii)	Turun Seudun Energiantuotanto Oy	Kakola	22	17
Teollisuuslaitokset (yli 20 MW)	Alholmens Kraft Oy, Pietarsaari	AK2	125	0
Teollisuuslaitokset (yli 20 MW)	Alholmens Kraft Oy, Pietarsaari	AK1	63	0
Teollisuuslaitokset (yli 20 MW)	Kainuun Voima Oy, Kajaani	Kainuun Voima	649	0
Teollisuuslaitokset (yli 20 MW)	Kokkolan Energia	Kokkolan Energia Oy Power	133	0
Teollisuuslaitokset (yli 20 MW)	Kymin Voima Oy	Kymin Voima Oy	307	0
Teollisuuslaitokset (yli 20 MW)	Metsä Fibre Oy, Kemi	Soodakattila SK-1	16	0
Teollisuuslaitokset (yli 20 MW)	Metsä Fibre Oy, Äänekosken Biotuotetehdas	Metsä Fibre Oy, Äänekosken Biotuotetehdas	36	0
Teollisuuslaitokset (yli 20 MW)	Metsä Fibre Oy, Äänekoski	Äänevoima Oy, Äänekoski	-	0
Teollisuuslaitokset (yli 20 MW)	MM Kotkamills Boards Oy	Kombivoimalaitos	-	0
Teollisuuslaitokset (yli 20 MW)	Pori Energia Oy, Pori	Porin Prosessivoima	343	0
Teollisuuslaitokset (yli 20 MW)	Pori Energia Oy, Pori	Porin Prosessivoima	343	0
Teollisuuslaitokset (yli 20 MW)	Raahen Voima Oy	Raahen Voima, K4	0	0
Teollisuuslaitokset (yli 20 MW)	Raahen Voima Oy	Raahen Voima, K5	0	0

Jaottelu	Lämpöyrittäjä	Tuotantolaitoksen nimi	Lämmöntuotanto [GWh]	Jäähdytys [GWh]
Teollisuuslaitokset (yli 20 MW)	Rauman Biovoima Oy	Rauman Biovoima Oy	273	0
Teollisuuslaitokset (yli 20 MW)	Stora Enso Oulu Oy	Soodakattila SK7	40	0
Teollisuuslaitokset (yli 20 MW)	Stora Enso Oulu Oy	Leijupetikattila K3	12	0
Teollisuuslaitokset (yli 20 MW)	Stora Enso Publication Papers Oy Ltd, Kouvola	Voimalaitos kokonaisuus	1	0

Liite 2. Skenaariolaskennan oletukset

Polttoaineet ja energiamaksut sisältäen verot ja muut vastaavat maksut (alv 0%)	€/MWh	Lähde
Maakaasu	110.9	Tilastokeskus, 2024
Öljy	137.3	Tilastokeskus, 2024
Kivihiili	90.6	Tilastokeskus, 2024
Turve	52.3	Tilastokeskus, 2024
Biomassa	30.8	Tilastokeskus, 2024
Jäte	0.0	Rambollin asiantuntija-arvio
Teollisuuden sähkö	73.5	Tilastokeskus, 2024
Kiinteistökohtainen sähkö	145.2	Tilastokeskus, 2024
Teollisuuden energiakäytöstä palautuva lämpö (suoraan hyödynnettävissä kaukolämpöön)	20.0	Rambollin asiantuntija-arvio
Teollisuuden energiakäytöstä palautuva lämpö (ei suoraan hyödynnettävissä kaukolämpöön)	5.0	Rambollin asiantuntija-arvio
Kaukolämmön muut käyttö- ja kunnossapitokustannukset	€/MWh	
Kiinteät tuotantokustannukset	5	TEM, 2021
Siirron kulut	5	TEM, 2021
Siirron pääoman tuotto	9	TEM, 2021
Tuotannon pääoman tuotto	11.4	TEM, 2021
Muut kulut ja muu tuotto	11	TEM, 2021
Yhteensä	41.4	TEM, 2021
Kiinteistökohtaisten järjestelmien käyttö- ja kunnossapitokustannukset	€/MWh	
Lämpöpumppujärjestelmät	7	Rambollin asiantuntija-arvio
Puu	0.5	Rambollin asiantuntija-arvio
Fossiiliset	2	Rambollin asiantuntija-arvio
Investoinnit	€/kW	
Maakaasu	Ei uusia investointeja skenaarioissa	
Öljy	Ei uusia investointeja skenaarioissa	
Kivihiili	Ei uusia investointeja skenaarioissa	
Turve	Ei uusia investointeja skenaarioissa	
Biomassa (erillistuotanto)	1000	Rambollin asiantuntija-arvio

Biomassa (CHP-tuotanto)	1500	Rambollin asiantuntija-arvio
Jäte	3000	Rambollin asiantuntija-arvio
Sähkö	200	Rambollin asiantuntija-arvio
Lämpöpumput	1000	Rambollin asiantuntija-arvio
Teollisuuden energiakäytöstä palautuva lämpö	50	Rambollin asiantuntija-arvio
Kiinteistökohtaiset lämpöpumppujärjestelmä	1250	Rambollin asiantuntija-arvio
Kiinteistökohtainen Sähkökattila	200	Rambollin asiantuntija-arvio
Hiilidioksidipäästöt		
	Päästökerroin tCO₂/GWh	
Maakaasu	199	Tilastokeskus, 2024
Öljy	250	Tilastokeskus, 2024
Kivihiili	335	Tilastokeskus, 2024
Turve	387	Tilastokeskus, 2024
Biomassa	0	Tilastokeskus, 2024
Jäte	144	Tilastokeskus, 2024
Sähkö v. 2030	37	Energiateollisuus, 2022
Energiatuotannon arvoja		
CHP-laitoksen keskimääräinen rakennusaste	35 %	Rambollin asiantuntija-arvio
Maakaasukombilaitoksen rakennusaste	70 %	Rambollin asiantuntija-arvio
Erillislämmöntuotannon hyötysuhde	90 %	Rambollin asiantuntija-arvio
CHP-laitoksen sähkön hyötysuhde	39 %	Rambollin asiantuntija-arvio
Kaukolämmön tuotannon lämpöpumpun COP	2.7–2.9	Rambollin asiantuntija-arvio
Kiinteistökohtaisen lämpöpumpun COP	2.7	Rambollin asiantuntija-arvio
Kiinteistökohtaisen lämpöpumpun energiapetto	95 %	Rambollin asiantuntija-arvio