

Finland / Energiatehokkuusdirektiivin (EED) (EU) 2023/1791 artiklan 25.1 mukainen lämmityksen ja jäähdytyksen tehostamismahdollisuuksien kattava arviointi

Säännökset ja komission suositukset kattavan arvioinnin tekemiseksi:

Työssä on noudatettu EED (EU) 2023/1791 liitettä X Lämmityksen ja jäähdytyksen tehostamismahdollisuudet sekä soveltuvin osin hyödynnetty edellisen kattavan arvioinnin suositusta KOM suositus C(2019)6625 final.

Osa I Selvitys lämmityksestä ja jäähdytyksestä

Osa I (1)

lämmityksen ja jäähdytyksen kysyntä arvioituna hyötyenergiana ja määritettynä lopullisena energiankulutuksena gigawattitunteina (GWh) vuodessa sektoreittain

Osa I (6)

ennuste lämmityksen ja jäähdytyksen kysynnän kehityksestä seuraavien 30 vuoden näkökulmasta gigawattitunteina (GWh) ottaen erityisesti huomioon seuraavien 10 vuoden ennusteet, kysynnän muutos rakennuksissa ja eri teollisuuden aloilla sekä Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin (EU) 2018/844 mukaisten rakennusten pitkän aikavälin peruskorjausstrategioiden ja muiden vastaavien kysynnän hallintaan liittyvien toimintapolitiikkojen ja strategioiden vaikutukset.

		Year							
		Unit	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Heating demand, final energy	Residential sector	GWh/a	55823						
	Service sector	GWh/a	19339						
	Industrial sector	GWh/a	NA						
	Other sectors	GWh/a	NA						
Cooling demand, final energy	Residential sector	GWh/a	NA						
	Service sector	GWh/a	NA						
	Industrial sector	GWh/a	NA						
	Other sectors	GWh/a	NA						
Heating demand, useful energy	Residential sector	GWh/a	49313	48289	44283	42062	39504	37190	35514
	Service sector	GWh/a	18283	15264	13489	11560	9630	8053	7816
	Industrial sector	GWh/a	NA	NE	NE	NE	NE	NE	NE
	Other sectors	GWh/a	NA	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Cooling demand, useful energy	Residential sector *	GWh/a	NA	IE	IE	IE	IE	IE	IE
	Service sector	GWh/a	NA	3500	4500	5500	6400	7100	7800
	Industrial sector	GWh/a	NA	NE	NE	NE	NE	NE	NE
	Other sectors	GWh/a	NA	NE	NE	NE	NE	NE	NE

* Residential cooling demand included in figures for service sector

Osa I (2a)

Yksilöidään (tarvittaessa arvioidaan paikalla kotitalouksissa tai palveluntarjoamispaikoissa tuotettu) lämmitys ja jäähdytys (GWh) tekniikoittain eri sektoreilla, erottaen toisistaan fossiilisista ja uusiutuvista energialähteistä saatu energia, jos mahdollista. Tekniikat jaotellaan seuraavasti: lämpökattilat, tehokas lämmön ja sähkön yhteistuotanto, lämpöpumput, hukkalämpö (kun arvioidaan muualla kuin paikan päällä tuotettua energiaa), muut tekniikat ja muista lähteistä paikan päällä/muualla kuin paikan päällä saatu energia.

<i>Energy provided on-site</i>			Unit	Value
Residential sector	Fossil fuel sources	Heat only boilers	GWh/a	1535
		Other technologies	GWh/a	0
		HECHP	GWh/a	0
	Renewable energy sources	Heat only boilers	GWh/a	IE*
		HECHP	GWh/a	0
		Heat pumps	GWh/a	8009
		Other technologies	GWh/a	7459
Service sector	Fossil fuel sources	Heat only boilers	GWh/a	2540
		Other technologies	GWh/a	0
		HECHP	GWh/a	0
	Renewable energy sources	Heat only boilers	GWh/a	493
		HECHP	GWh/a	0
		Heat pumps	GWh/a	886
		Other technologies	GWh/a	NA
Industrial sector	Fossil fuel sources	Heat only boilers	GWh/a	NA
		Other technologies	GWh/a	NA
		HECHP	GWh/a	NA
	Renewable energy sources	Heat only boilers	GWh/a	NA
		HECHP	GWh/a	NA
		Heat pumps	GWh/a	NA
		Other technologies	GWh/a	NA
Other sectors	Fossil fuel sources	Heat only boilers	GWh/a	NA
		Other technologies	GWh/a	NA
		HECHP	GWh/a	NA
	Renewable energy sources	Heat only boilers	GWh/a	NA
		HECHP	GWh/a	NA
		Heat pumps	GWh/a	NA
		Other technologies	GWh/a	NA

* Residential heat only boilers using renewable energy are reported under Other technologies

Energy provided off-site

Residential sector	Fossil fuel sources	Waste heat	GWh/a	1617
		HECHP	GWh/a	5397
		Other technologies	GWh/a	1815
	Renewable energy sources	Waste heat	GWh/a	IE*
		HECHP	GWh/a	6761
		Other technologies	GWh/a	9952
Service sector	Fossil fuel sources	Waste heat	GWh/a	1060
		HECHP	GWh/a	3067
		Other technologies	GWh/a	1064
	Renewable energy sources	Waste heat	GWh/a	IE*
		HECHP	GWh/a	3521
		Other technologies	GWh/a	4305
Industrial sector	Fossil fuel sources	Waste heat	GWh/a	NA
		HECHP	GWh/a	NA
		Other technologies	GWh/a	NA
	Renewable energy sources	Waste heat	GWh/a	NA
		HECHP	GWh/a	NA
		Other technologies	GWh/a	NA
Other sectors	Fossil fuel sources	Waste heat	GWh/a	NA
		HECHP	GWh/a	NA
		Other technologies	GWh/a	NA
	Renewable energy sources	Waste heat	GWh/a	NA
		HECHP	GWh/a	NA
		Other technologies	GWh/a	NA

* All waste heat is reported under fossil fuel sources

Osa I (2b)

Tieto sellaisten laitosten tarjontamahdollisuuksien yksilöinnistä, jotka tuottavat hukkalämpöä tai -kylmää (gigawattitunteina vuodessa):

- i) lämpövoimalat, jotka pystyvät heti tai jälkiasennusten jälkeen tuottamaan hukkalämpöä, jonka kokonaislämpöteho on yli 50 MW;
- ii) lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset, joissa käytetään liitteessä II olevassa II osassa tarkoitettuja tekniikoita ja joiden kokonaislämpöteho on yli 20 MW;
- iii) jätteenpolttolaitokset;
- iv) uusiutuvan energian laitokset, joiden kokonaislämpöteho on yli 20 MW, jotka eivät ole 2 kohdan b alakohdan i ja ii alakohdassa tarkoitettuja laitoksia ja jotka tuottavat lämmitystä tai jäähdytystä uusiutuvista lähteistä peräisin olevaa energiaa käyttäen;
- v) teollisuuslaitokset, joiden kokonaislämpöteho on yli 20 MW ja jotka voivat tuottaa hukkalämpöä;

on liitteen **Selvitys EED Art 25** sivuilla 4-9.

Osa I (2c)

Uusiutuvista lähteistä sekä hukkalämmöstä tai -kylmästä peräisin olevan energian ilmoitettu osuus loppuenergiankulutuksesta kaukolämmityksen ja –jäähdytyksen alalla viiden viime vuoden aikana direktiivin (EU) 2018/2001 mukaisesti

Vuosi	Uusiutuvista tai hukkalämmöstä peräisin oleva osuus kaikesta kaukolämmöstä
2018	43 %
2019	47 %
2020	53 %
2021	56 %
2022	57 %

Osa I (3)

Yhdistetyt tiedot olemassa olevista yhteistuotannolla toimivista kaukolämmitys- ja kaukojäähdytysverkoista viidessä kapasiteettiluokassa

- a) primäärienergian kulutus
- b) kokonaishyötysuhde
- c) primäärienergian säästöt
- d) CO₂-päästökertoimet

on liitteen **Selvitys EED Art 25** sivulla 8 (Taulukko 2).

Osa I (4)

Kuvaus olemassa olevista yhteistuotannosta saadulla energialla toimivista kaukolämmitys- ja kaukojäähdytysverkoista viidessä kapasiteettiluokassa, jotka kattavat seuraavat tiedot:

- a) primäärienergian kokonaiskulutus
- b) yhteistuotantoyksikköjen primäärienergian kulutus
- c) yhteistuotannon osuus kaukolämmityksen tai kaukojäähdytyksen tuottamisessa
- d) kaukolämmityksen järjestelmähäviö;
- e) kaukojäähdytyksen järjestelmähäviö;
- f) liittymätiheys;
- g) järjestelmien osuudet eri käyttölämpötilaryhmittäin

on liitteen **Selvitys EED Art 25** sivuilla 8-9 (Taulukot 3 ja 4).

Osa I (5)

Koko jäsenvaltion kattavat kartat, jossa yksilöidään

- a) 1-kohdan mukaiseen analyysiin perustuvat lämmityksen ja jäähdytyksen kysyntäalueet käyttäen johdonmukaisia kriteereitä, joilla voidaan keskittyä runsaasti energiaa tarvitseviin alueisiin kunnissa ja taajamissa
- b) olemassa olevat lämmityksen ja jäähdytyksen tarjontapisteet ja kaukolämpölaitokset
- c) suunnitellut lämmityksen ja jäähdytyksen tarjontapisteet ja suunnitellut lämpölaitokset sekä yksilöidyt uudet alueet kaukolämmitystä ja –jäähdytystä varten.

on liitteen **Selvitys EED Art 25** sivuilla 5,6 ja 11-14.

Osa II Tavoitteet, strategiat ja politiikkatoimet

Raportoitu yksityiskohtaisesti Suomen integroidussa kansallisessa energia ja ilmastosuunnitelmassa (NECP) (Publications of the Ministry of Economic Affairs and Employment, Energy, 2024:30).

Tavoitteet, strategiat ja politiikkatoimet, raportoitu mm. seuraavissa luvuissa:

- 2.2 Dimension energy efficiency (korjausrakentamisen strategia yms.)
- 2.4.4. Energy poverty (energia-avustus)
- 3.1.1. GHG emissions and removals (öljylämmityksestä luopuminen ja avustus, energiaverotus)
- 3.1.2 Renewable energy (energiatuet, uusi teknologia, kaukolämmitys ja –jäähdytys)
- 3.1.3 Other elements of the dimension (kivihiilen kieltä lämmitykseen)
- 4.6. Dimension research, innovation and competitiveness (RRF investointituki)

Kansallinen rakennusten perusparannussuunnitelma

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi edellyttää EU:n jäsenmailta kansallista rakennusten perusparannussuunnitelmaa. Suunnitelmassa esitetään toimenpiteet, joiden avulla nykyinen rakennuskanta pyritään saattamaan päästöttömäksi vuoteen 2050 mennessä ja saavutetaan asuinrakennuskannan energiatehokkuuden parannuksille asetetut tavoitteet. Työ rakennusten perusparannussuunnitelman tuottamiseksi on käynnistynyt toukokuussa 2024 ja suunnitelman laadinnassa kuullaan ja osallistetaan vahvasti sidosryhmiä sekä kansallisella että alueellisella tasolla. Avoin verkkokysely on auki 30.6.2024 saakka sidosryhmien näkemysten keräämiseksi.

<https://ym.fi/-/rakennusten-energiatehokkuusdirektiivin-toimeenpano-rakennuskannan-perusparannussuunnitelman-laatiminen-kaynnistyy>

Perusparannussuunnitelma korvaa vuonna 2020 julkaistun Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategian 2020–2050.

Osa III Analyysi tehokkuuteen liittyvistä taloudellisesti mahdollisuuksista lämmityksessä ja jäähdytyksessä

Kustannushyötyanalyysi ja tiedot ovat liitteessä **Selvitys EED Art 25** (s.26-45).

Osa IV Mahdolliset uudet strategiat ja politiikkatoimet

Arviointi ja selvitys uusista lainsäädännöllisistä ja muista toimenpiteistä, joilla pyritään toteuttamaan kustannushyötyanalyysin perusteella mahdollisesti määritetyt taloudelliset mahdollisuudet, tehdään kansallisen energia- ja ilmastostrategiatyön yhteydessä ja päätökset tehdään ja toimeenpannaan sen jälkeen, kun strategia valmistuu. Kansallisen energia- ja ilmastostrategian valmistelu on käynnistynyt ja sen odotetaan valmistuvan keväällä 2025.

<https://tem.fi/energia-ja-ilmastostrategia>

EU:n uusiutuvan energian direktiivin 2018/2001/EU 15 artiklan 7 kohta

Selvitys uusiutuvista lähteistä peräisin olevaan energiaan liittyvä potentiaali sekä hukkalämmön ja -kylmän käyttöön lämmityksen ja jäähdytyksen alalla liittyvä potentiaali on liitteessä **Selvitys RED II art 15(7)**.

LIITTEET

Liite Selvitys EED Art 25

Liite Selvitys RED II art 15(7)

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 yhdenmukaisesti 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:

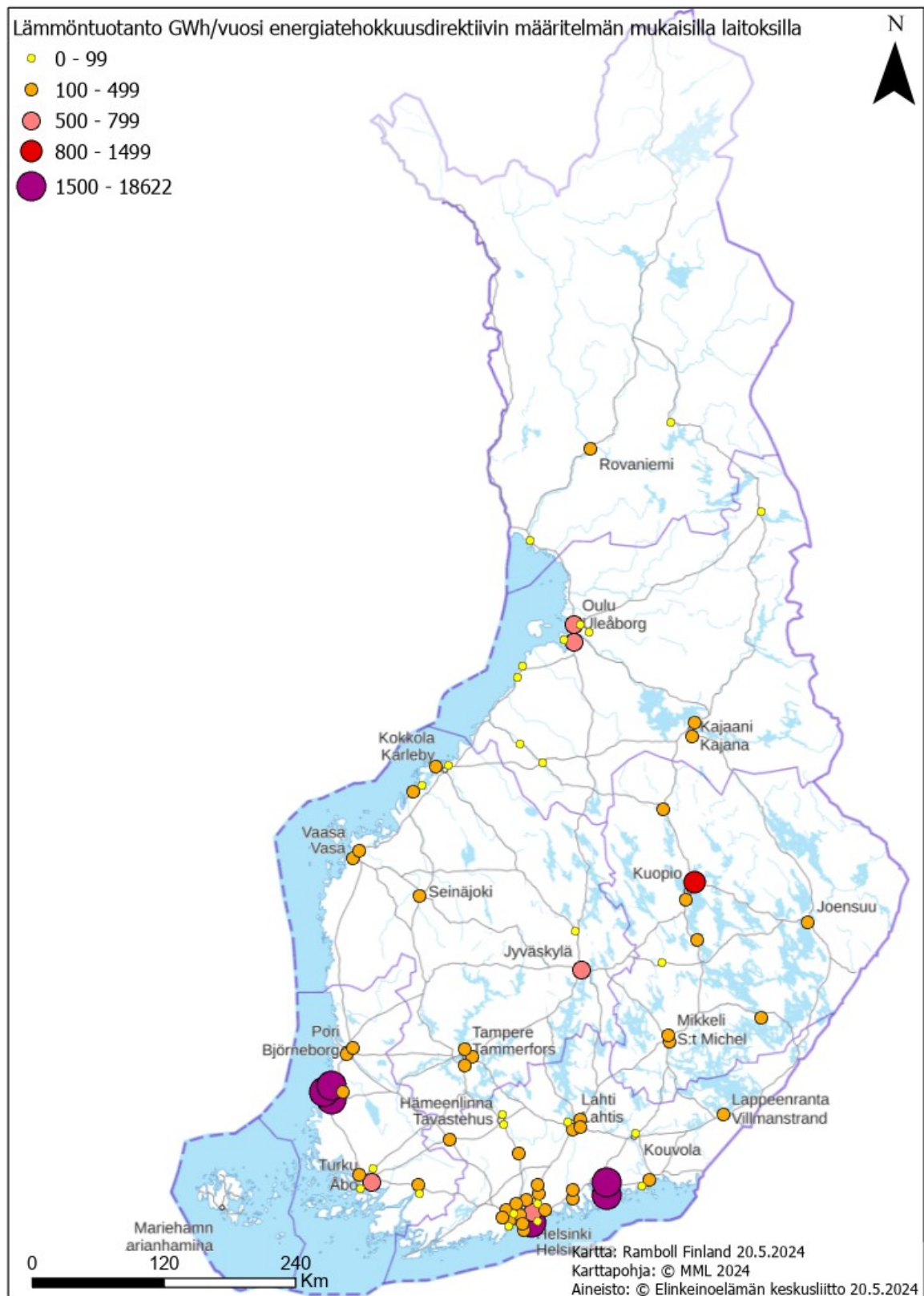
- lämpövoimalat, jotka pystyvät heti tai jälkiasennusten jälkeen tuottamaan hukkalämpöä, jonka kokonaislämpöteho on yli 50 MW
- lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset (CHP), joiden kokonaislämpöteho on yli 20 MW
- jätteenpolttolaitokset
- uusiutuvan energian laitokset, joiden kokonaislämpöteho on yli 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)	<ul style="list-style-type: none"> 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)	<ul style="list-style-type: none"> 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: <ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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)	<ul style="list-style-type: none"> 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)	<ul style="list-style-type: none"> 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.

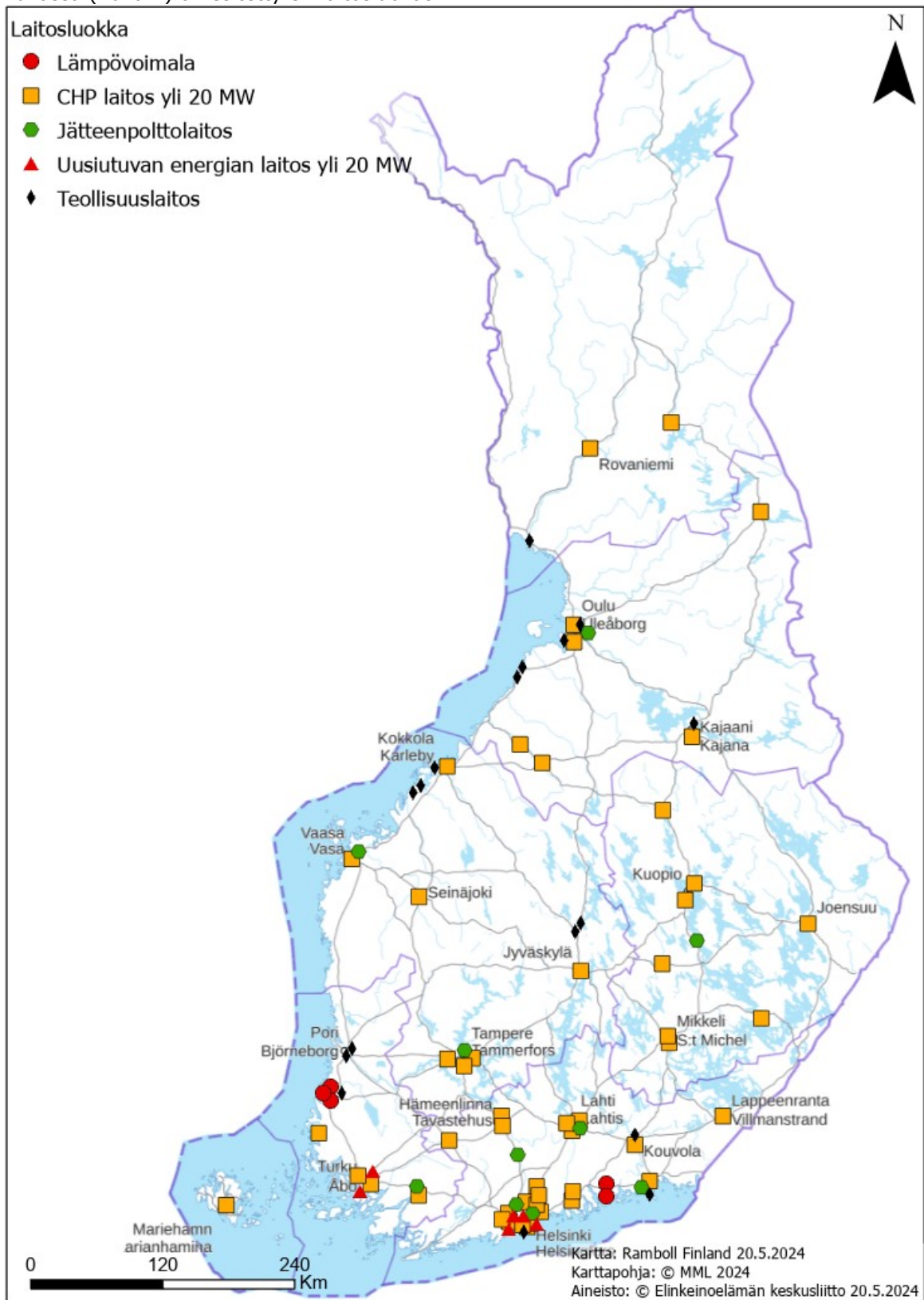
Laitokset on yksilöity ja listattu Liitteessä 1. Seuraavat karttakuvat havainnollistavat laitosten sijainnit sekä lämmöntuotannon painottumisen Suomessa. Lämmöntuotanto painottuu isoihin asutuskeskittyymiin sekä ydinvoimalaitosten sähköntuotannon yhteydessä syntyvään lämpöön

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 laitoslakat.



Kuva 2. Direktiivin määritelmän mukaisten lämpöä tuottavien laitosten sijainti ja laitoslakka (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

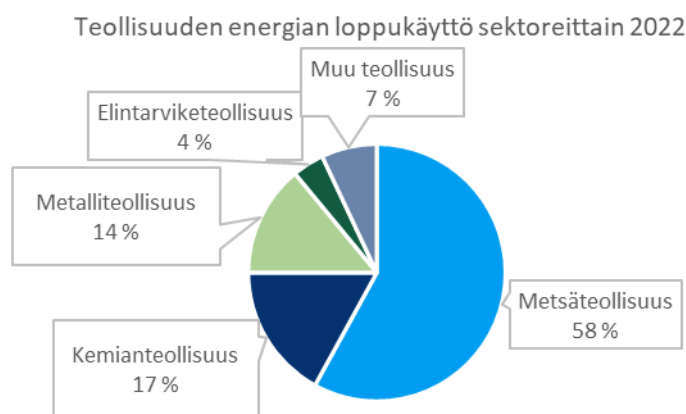
3.1 Suunnitteilla olevat uudet lämmitys- ja jäähdytystarjontapisteet

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.

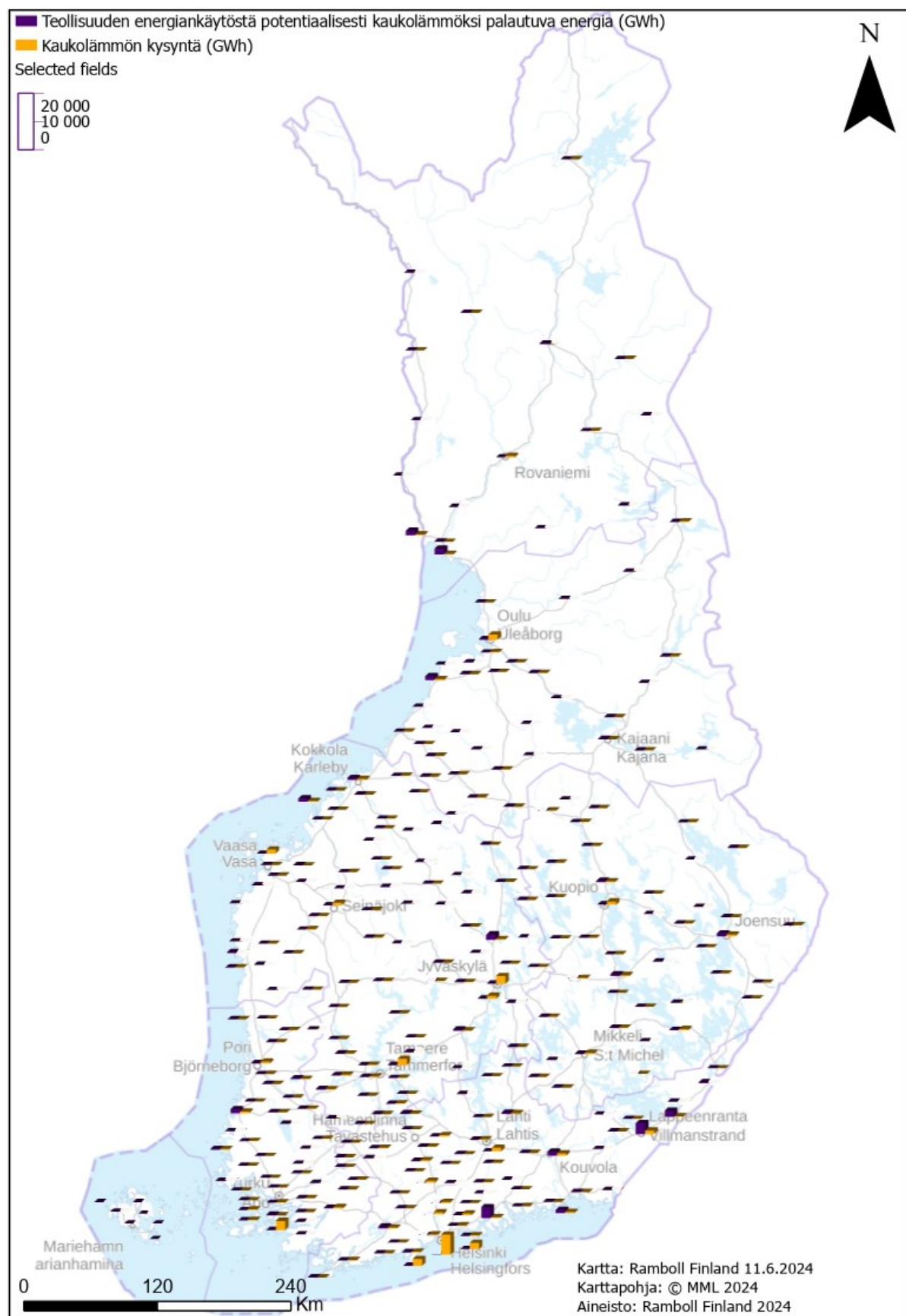
Teollisuuden kokonaisenergian käyttö Suomessa oli vuonna 2022 oli 126 TWh eli noin 44 % loppukäytöstä. Teollisuuden sähkönkulutus oli 36 TWh. Metsäteollisuuden osuus teollisuuden energiankäytöstä on noin 58 %, kemianteollisuuden 17 % ja metallinjalostuksen 14 %. Teollisuuden energian loppukäyttö väheni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



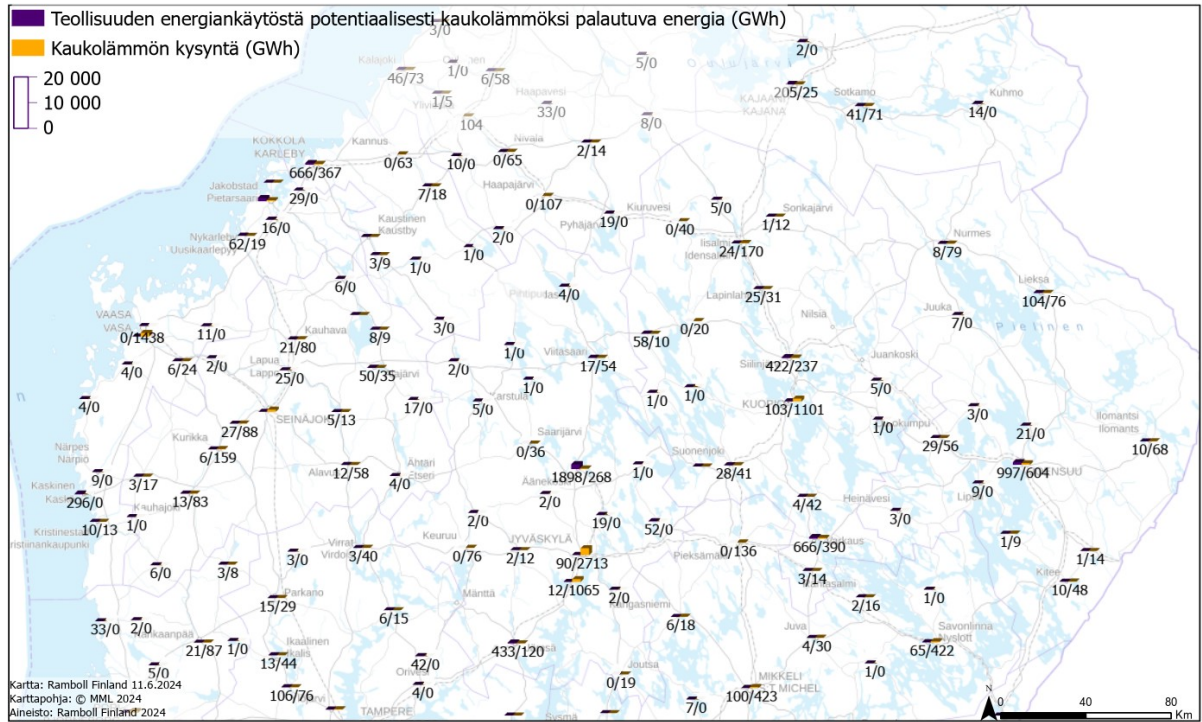
Kuva 3 Teollisuuden energiakäytön jakauma vuonna 2022 (Motiva, 2024)

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 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.



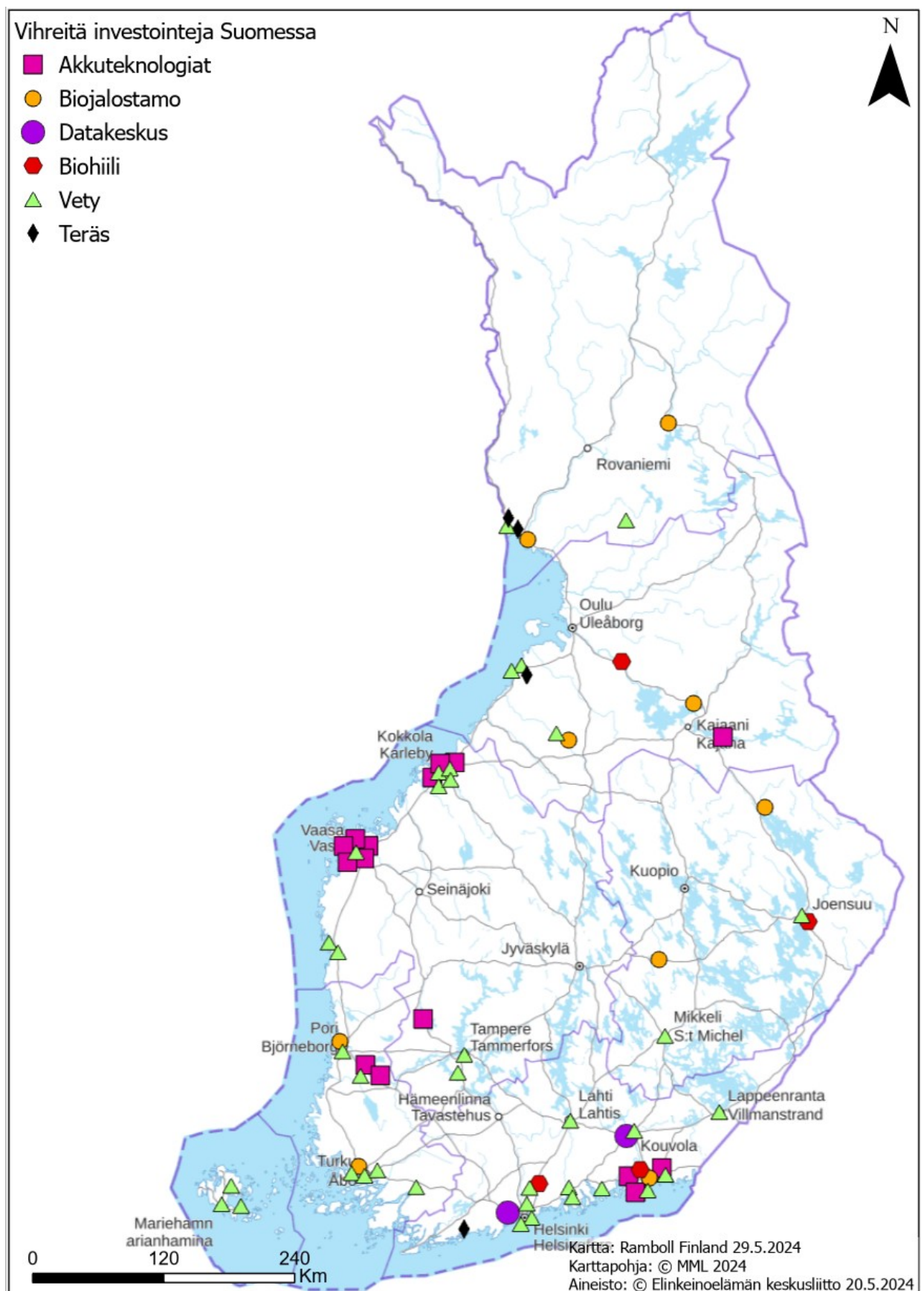
Kuva 8. Pohjois-Suomi. Teollisuuden energiankäytöstä potentiaalisesti kaukolämmöksi palautuva energia (GWh) ja kaukolämmön kysyntä (GWh). Ensimmäinen numero on palautuva energia ja kautta-viivan jälkeinen numero on kaukolämmön kysyntä.

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.

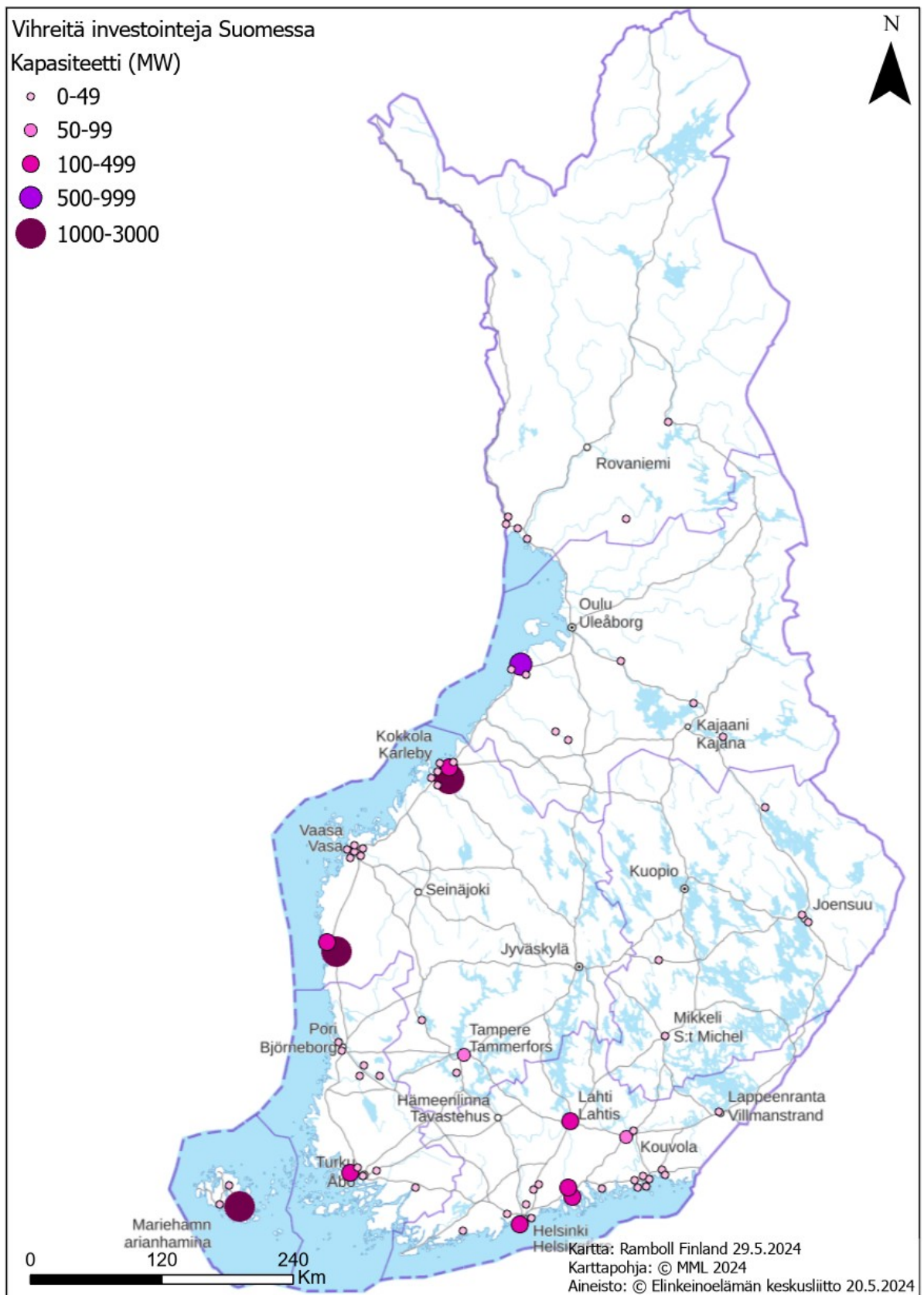
3.3 Suunnitteilla olevat puhtaan siirtymän hankkeet

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)

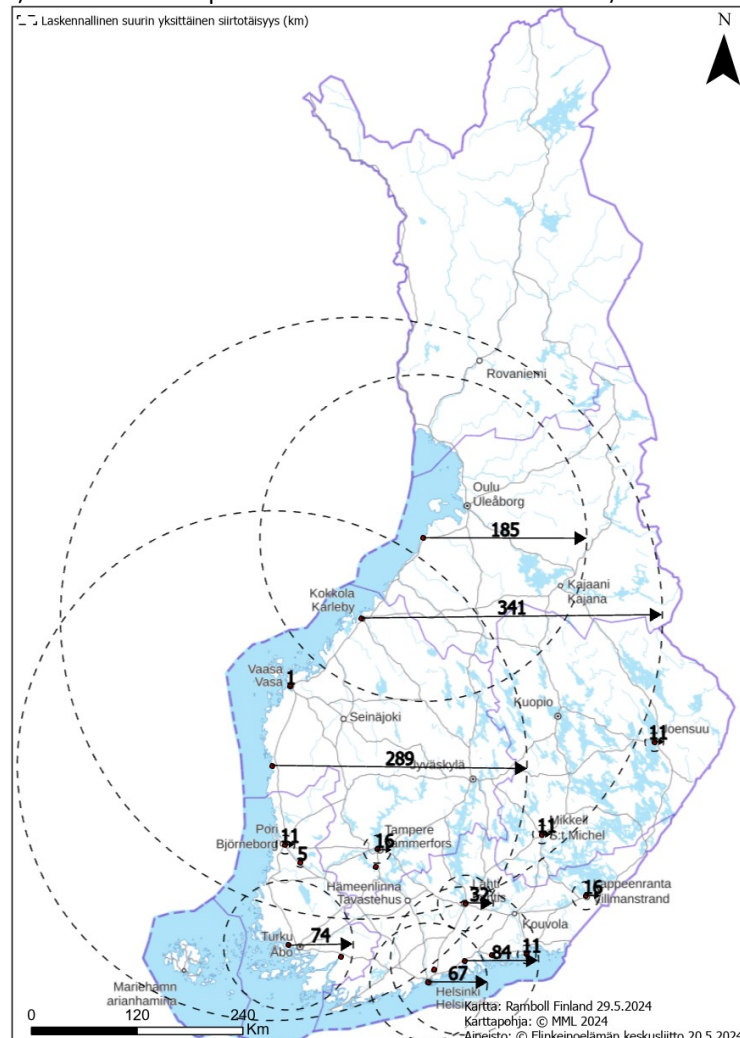
3.3.1 Puhtaan siirtymän hankkeiden hukkalämpökapasiteetti ja sen hyödyntäminen

EK:n aineistossa mainitut suunnitteilla olevien puhtaan siirtymän hankkeiden yhteenlaskettu hukkalämpökapasiteetti on 20,5 TWh/a. Lukuun sisältyy ainoastaan vety- ja datakeskushankkeet, joista on ilmoitettu teho ja/tai muu kapasiteetti. Koko Suomen rakennuskannan lämmitystarve on 95 TWh/a ja kaukolämmön kysyntä 43 TWh/a (VTT, 2024). Suunnitella olevien hankkeiden hukkalämpökapasiteetti riittäisi kattamaan noin 22 % koko Suomen lämmitystarpeesta, jos ne saataisiin hyödynnettyä lämmitykseen. Siten myös alentamaan näin vastaavalla energiamäärällä Suomen primäärienergian tarvetta.

Etäisyysskartassa (Kuva 11) on esitetty etäisyys, mille etäisyydelle hukkalämpöä voitaisiin teoreettisesti siirtää mahdollisilta vetylaitoksilta sekä datakeskuksista. Etäisyyden laskennassa hyödynnettiin julkisesti tiedossa olevia vetylaitosten ja datakeskusten tehotietoja, laitosten käyttötunteina 7500 h ja 35 % hukkalämmön osuutta vetylaitoksilla ja datakeskuksilla käyttötunteina 8760 h ja 20 % hukkalämmön osuutta. Etäisyyden laskennassa on arvioitu, että siirtokustannus saa olla maksimissaan 5 €/MWh, joka on laskettu seuraavilla oletuksilla:

- Pääomakustannukset 1 500 €/m
- Pitoaika 30 vuotta
- Häviötehona on arvioitu 0.1%/km

Laskennan tulos on, että hukkalämpöä on kannattava siirtää 0.1 km/GWh hukkalämpöä.



Kuva 11. Laskennallinen hukkalämmön siirtoetäisyys (km)

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.

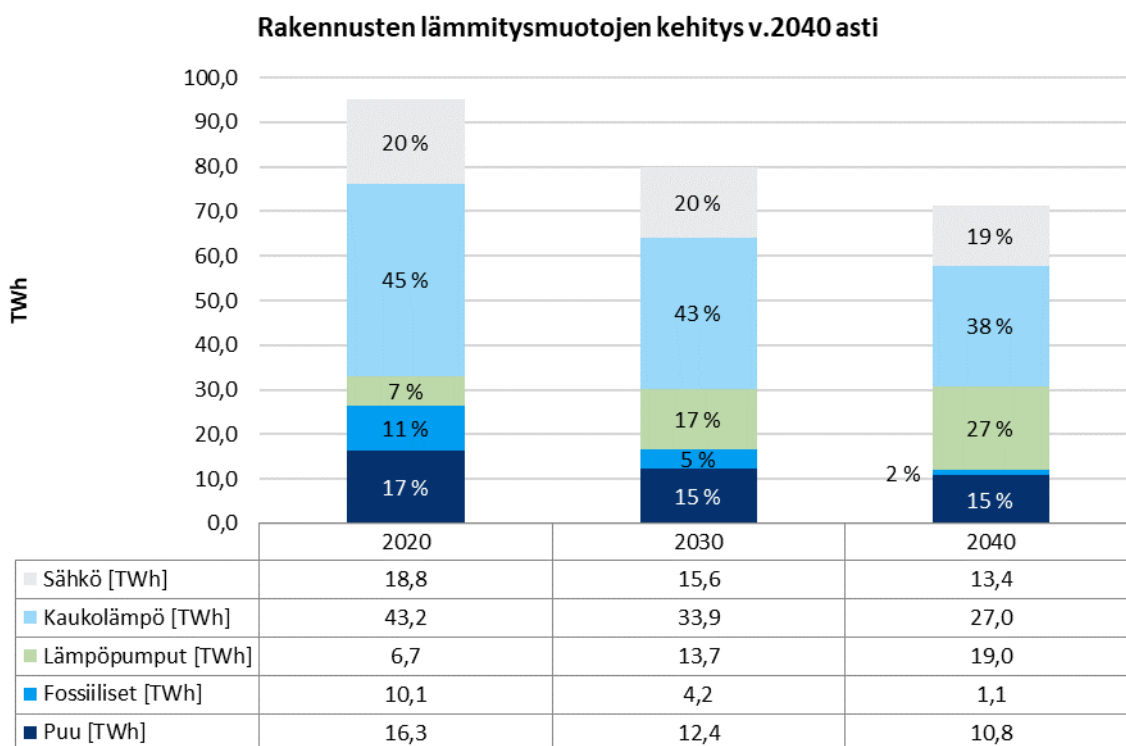
Hukkalämmön siirto mainituilla parametreilla laskettuna osoittaa, että suurten GW-luokan laitosten hukkalämpökapasiteetti ulottuu hyvin etäälle $>>100$ km:ä laitoksen sijainnista. Hukkalämmön siirto laitoksilta taajamien lämmitykseen voi olla mahdollista, mikäli hukkalämmön hyödyntämiselle on riittävät 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.

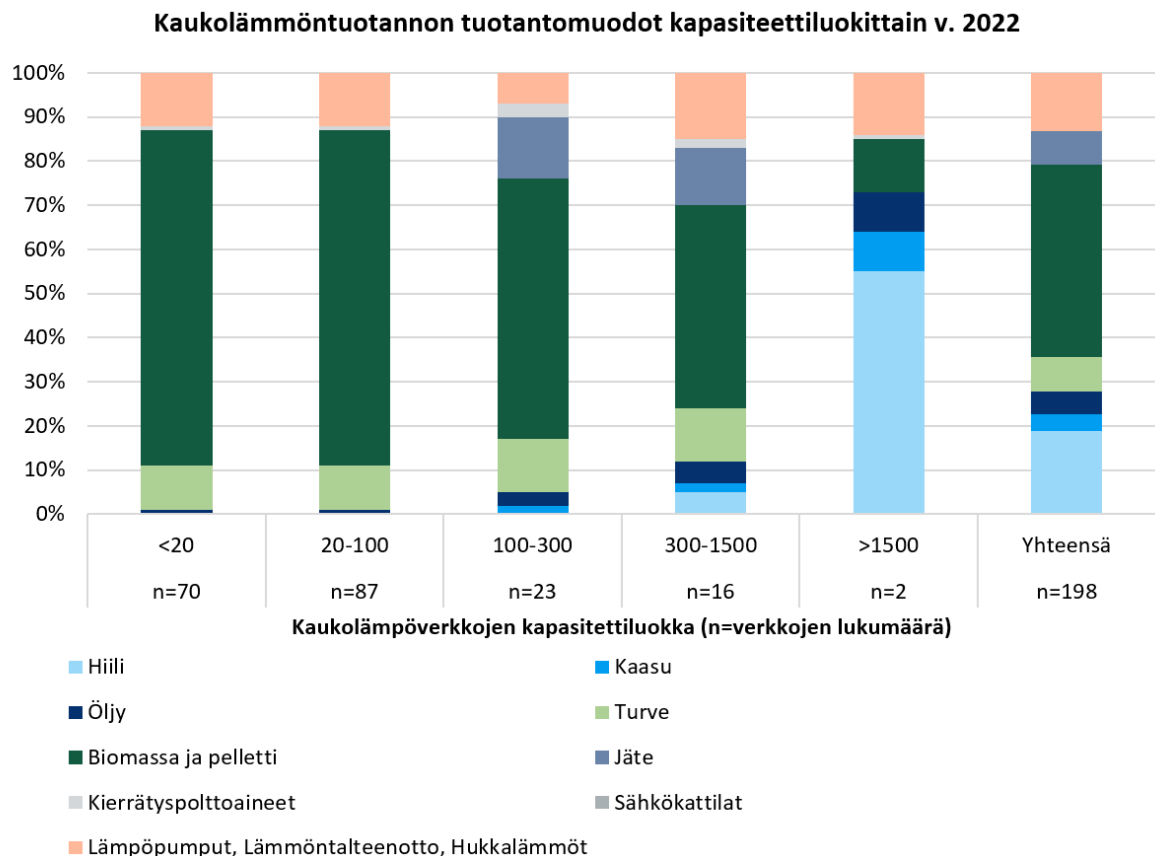
4.2 Muutos kaukolämmön tuotannossa

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).

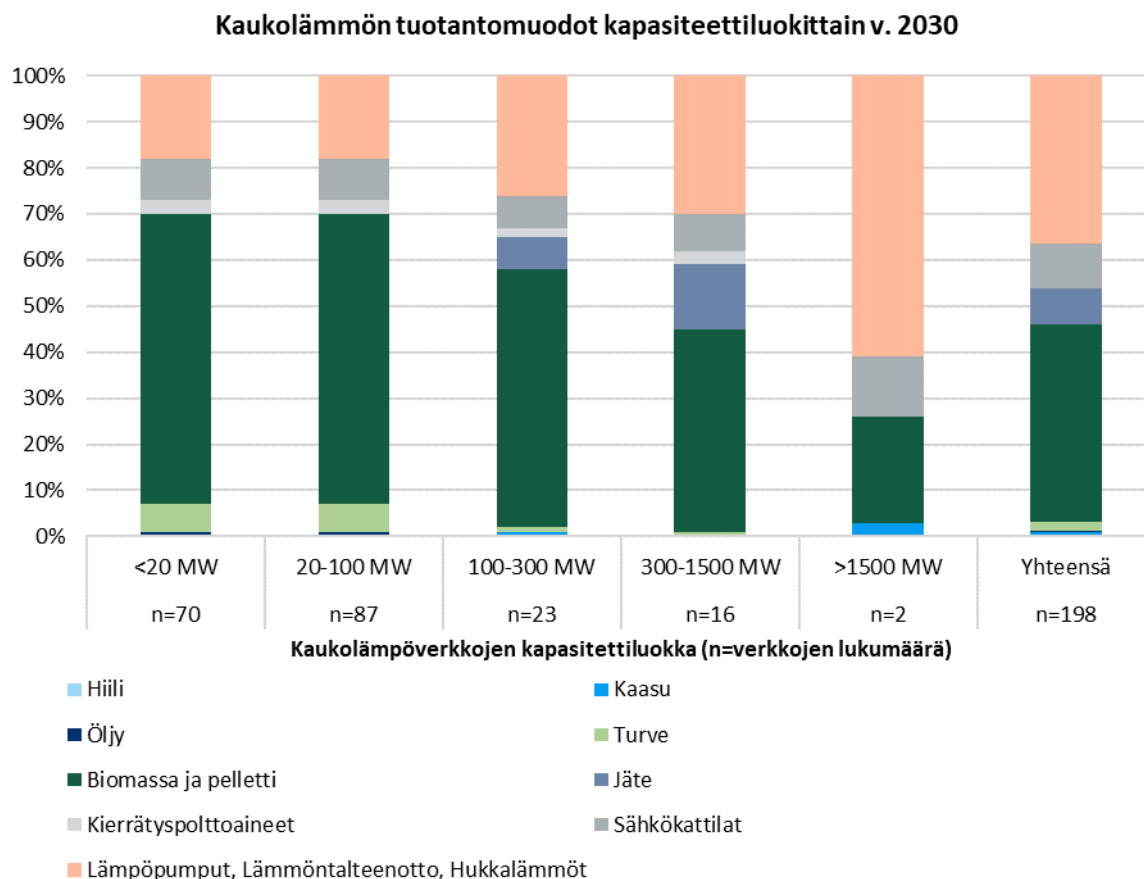


Kuva 13 Kaukolämpöverkkojen suhteelliset tuotantomuodot kapasiteettiluokittain v.2022

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.

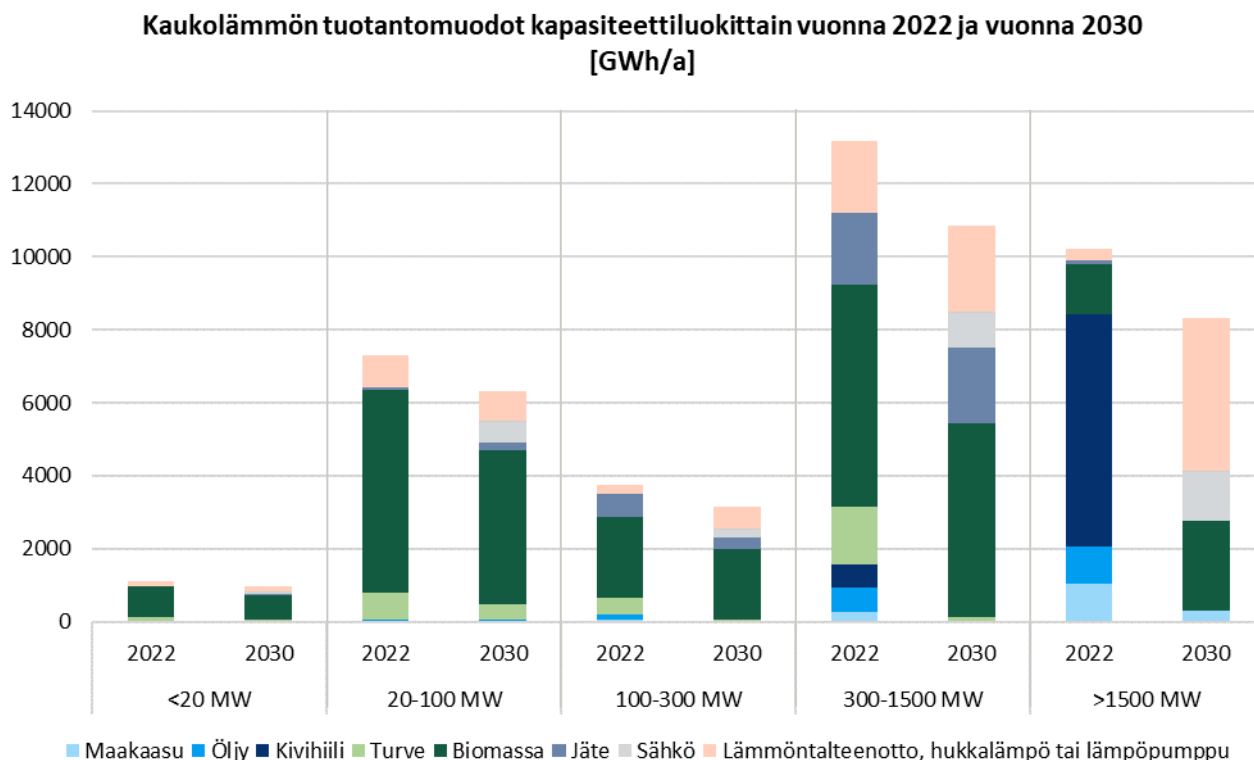
Energiamäärämuutokset kapasiteettiluokittain on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 15). Kuvasta huomataan kuinka kriittisiä yli 300 MW ja etenkin yli 1500 MW kaukolämpöverkot ovat muutoksen kannalta. Niissä tapahtuva muutos on sekä suhteellisesti että absoluuttisesti suurin.

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.



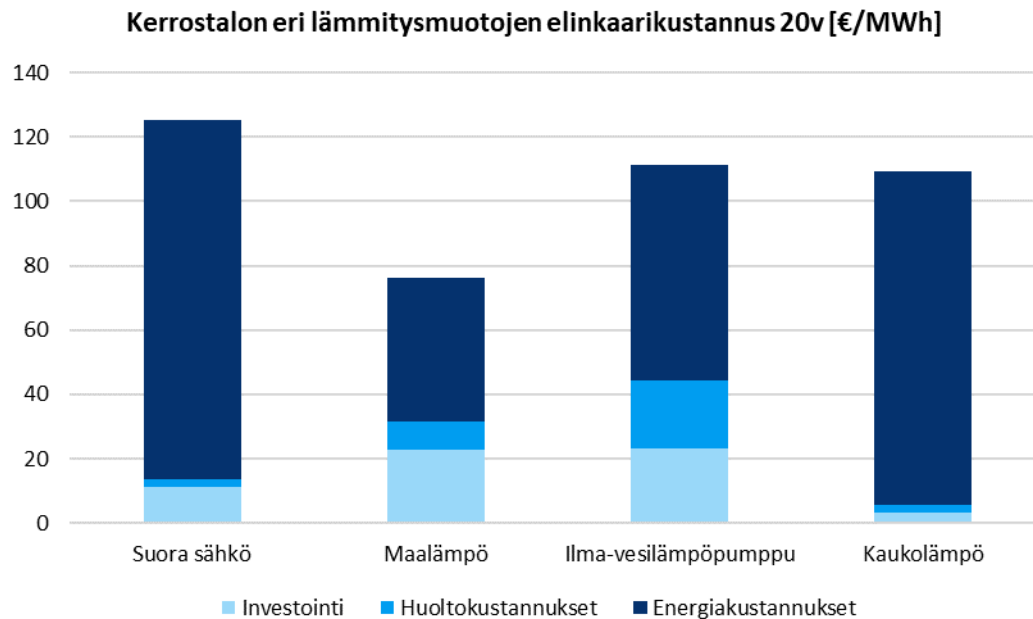
Kuva 15 Kaukolämmön tuotantomuodot kapasiteettiluokittain vuonna 2022 ja vuonna 2030

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 volatilitteettia, 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 määriillä

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 Energiateollisuus 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 Energiateollisuuden 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

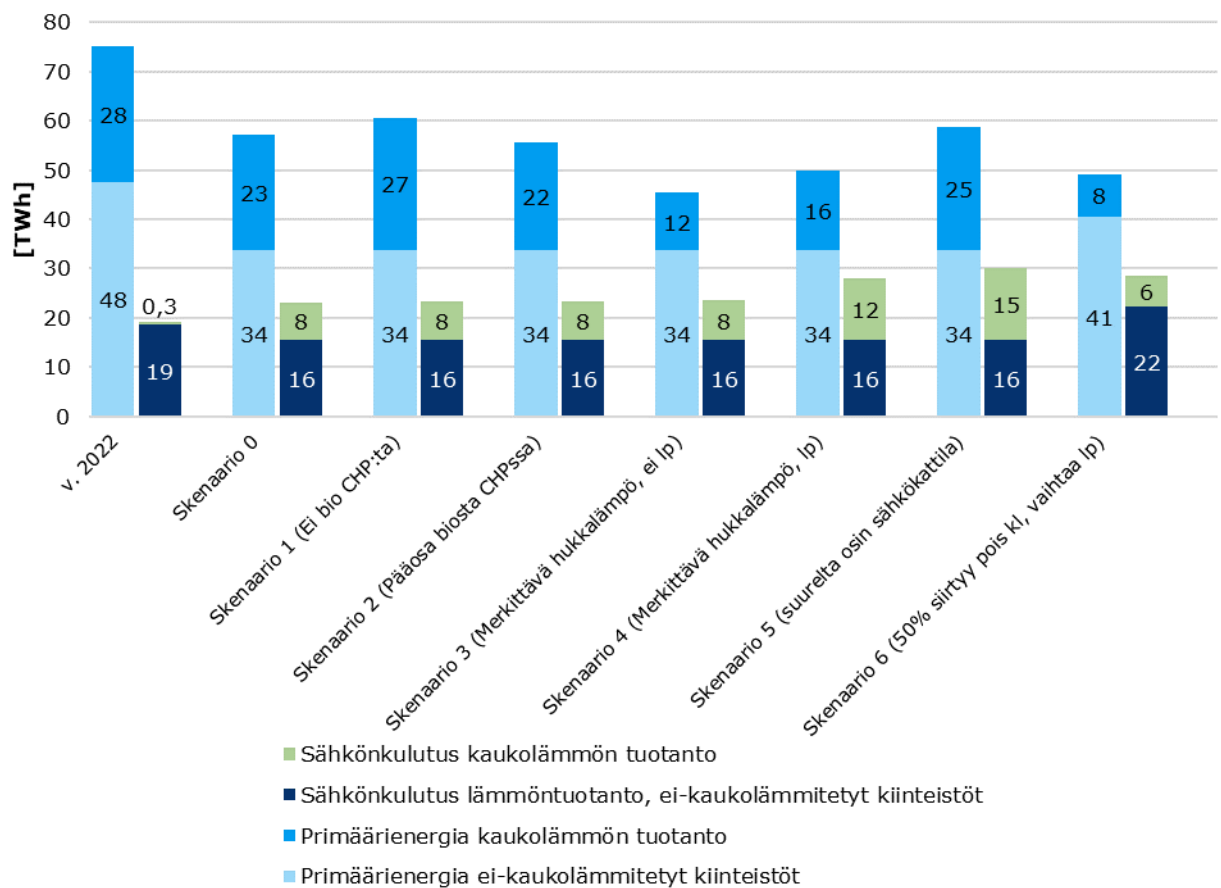
Tuloksissa käsitellään ensin energia- ja päästölaskennan tulokset, jonka jälkeen kustannukset sekä niihin liittyvät herkkyystarkastelut.

6.2.1 Energia- ja päästötulokset

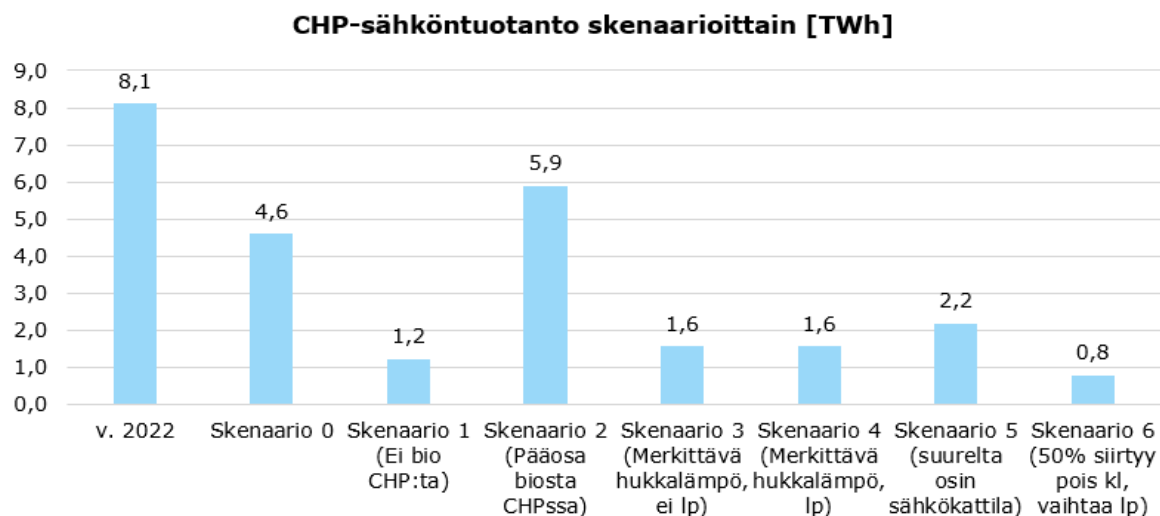
Primäärienergian kokonaiskulutus vähenee selvästi nykytilanteesta jokaisessa skenaariossa (Kuva 17). Taustalla vaikuttaa yleinen lämmönkysynnän pientyminen. Muutos polttavasta lämmöntuotannosta lämpöpumpuilla tuotettuun lämmitykseen niin kaukolämmössä kuin muissakin rakennuksissa pienentää myös primäärienergian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

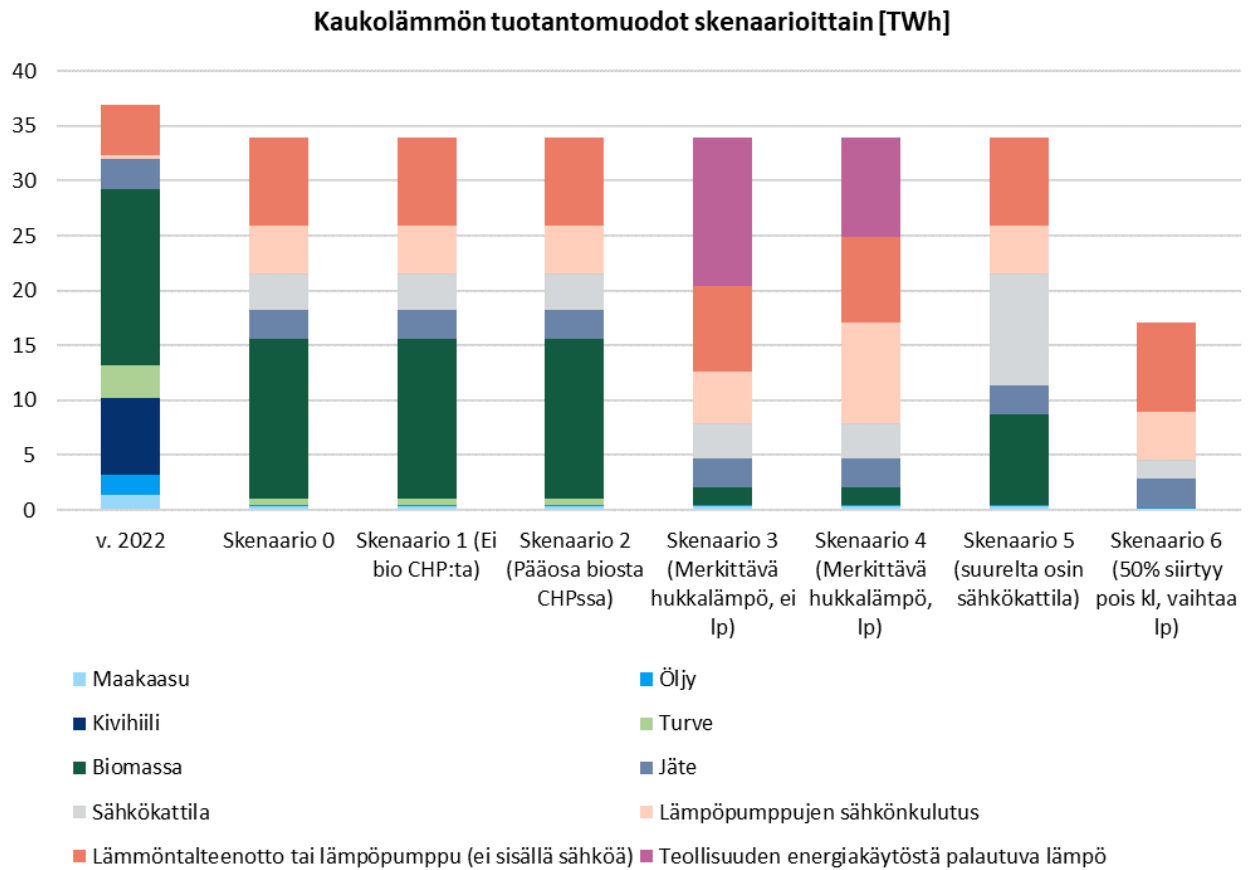


Kuva 17 Primäärienergian- ja sähkönkulutus skenaarioittain



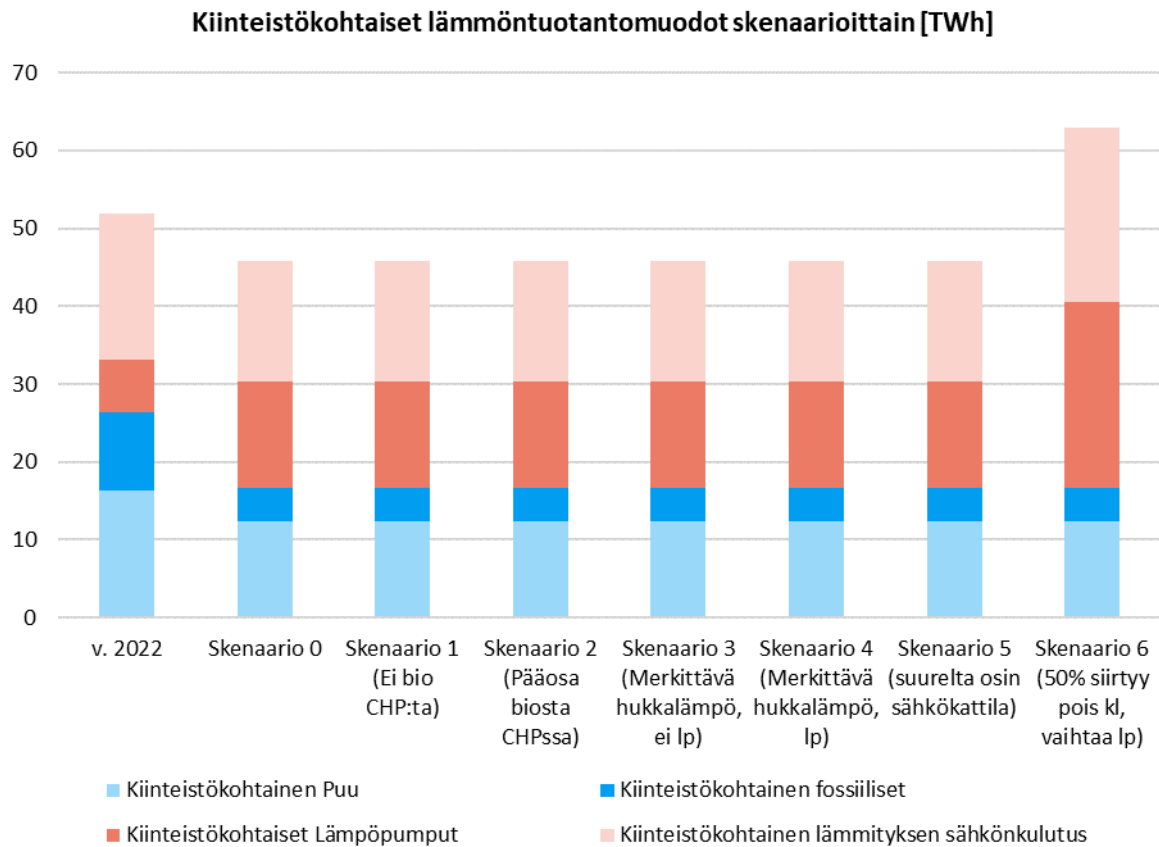
Kuva 18 CHP-sähköntuotanto skenaarioittain ja v. 2022

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.



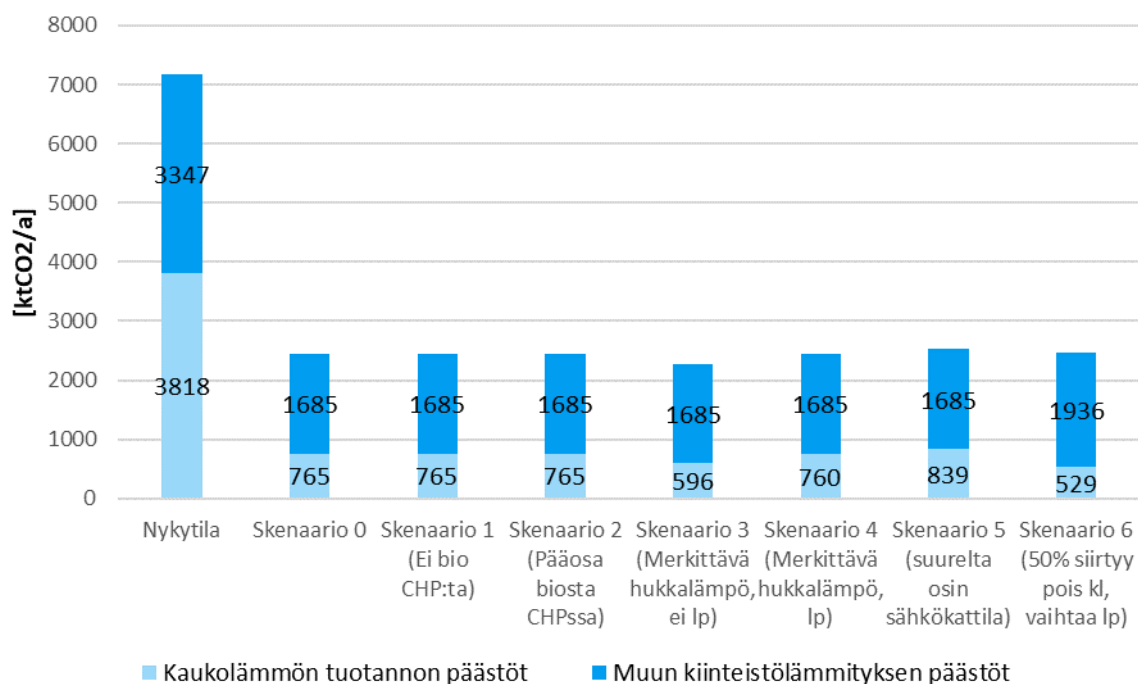
Kuva 19 Kaukolämmön tuotantomuodot skenaarioittain [TWh]

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

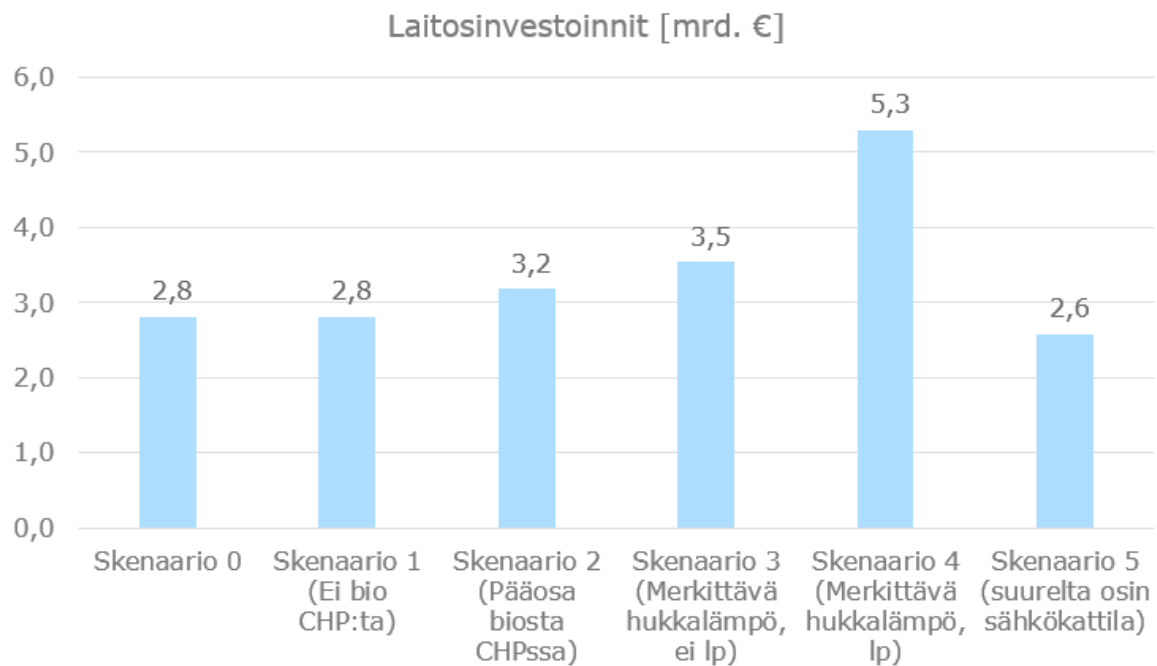
6.2.2 Kustannustulokset

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.

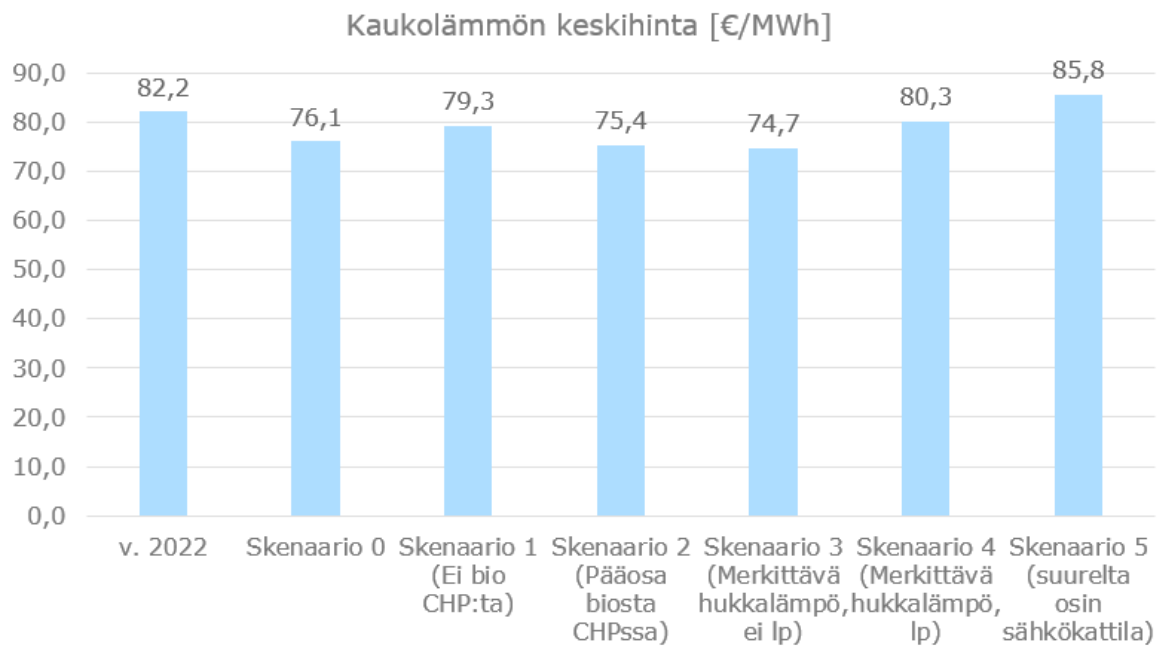
Kaukolämpötoimialan omassa skenaariossa (skenaario 0) tarvittavat investoinnit ovat 2,8 mrd. €.



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

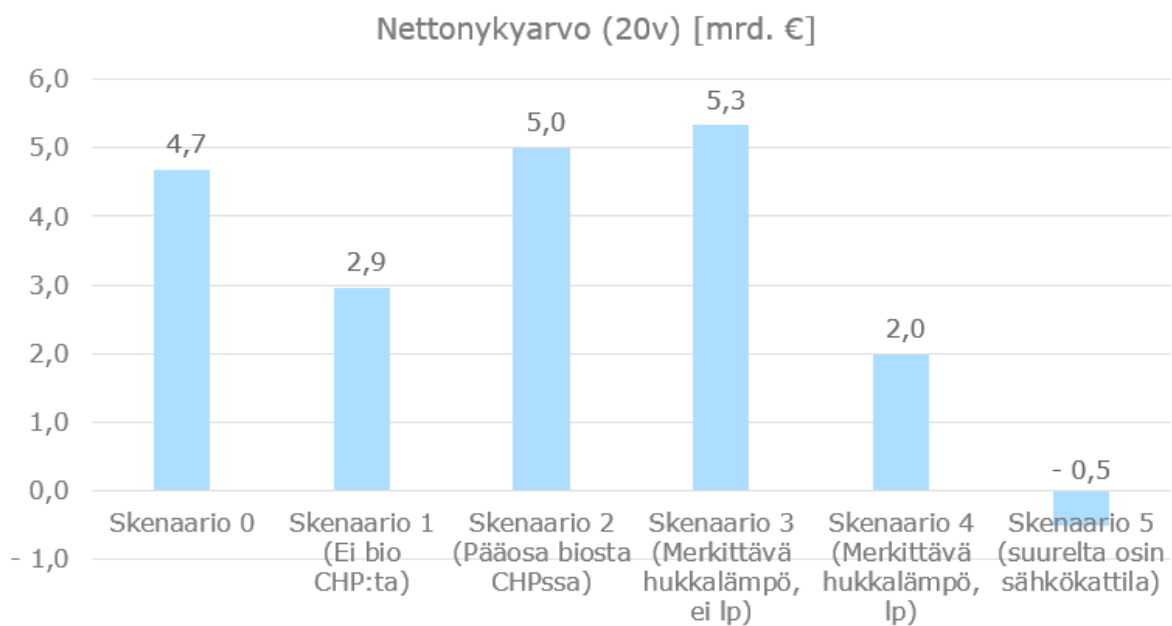
6.2.3 Skenaarioiden taloudelliset tunnusluvut

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).

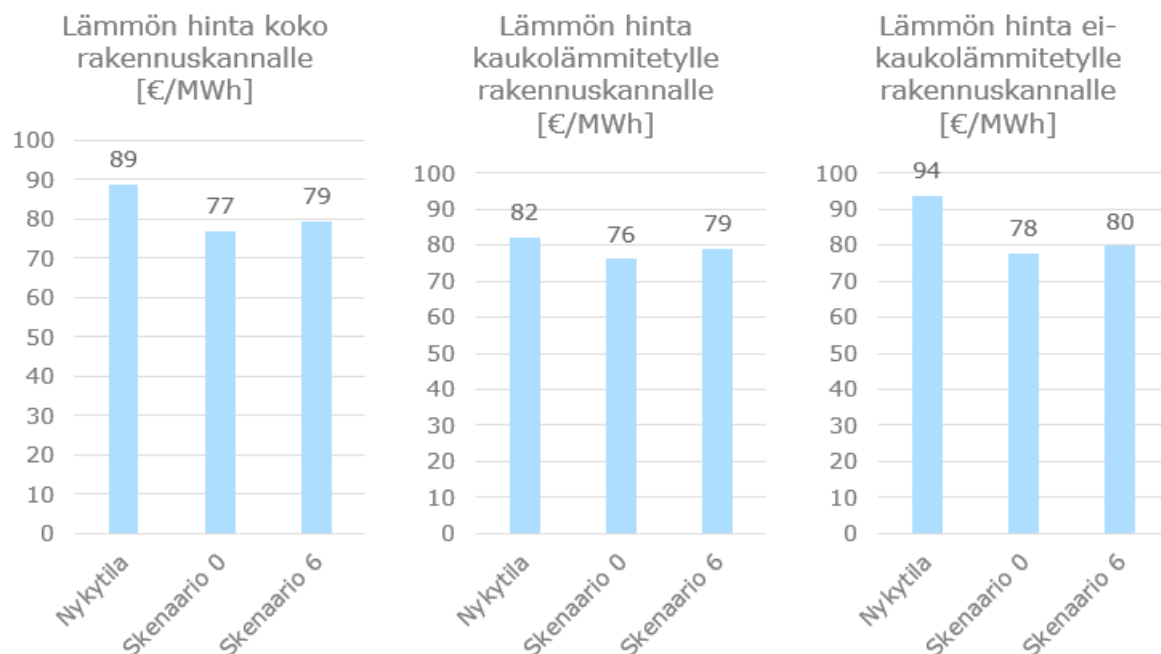


Kuva 24 Skenaarioiden nettonykyarvo (20 vuodella)

Sähkökattilainvestoinnin heikkoon kannattavuuteen vaikuttaa laskennassa käytetty vakiona pysyvä sähkön hinta. Vakiohinnan käyttöä perustelee 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

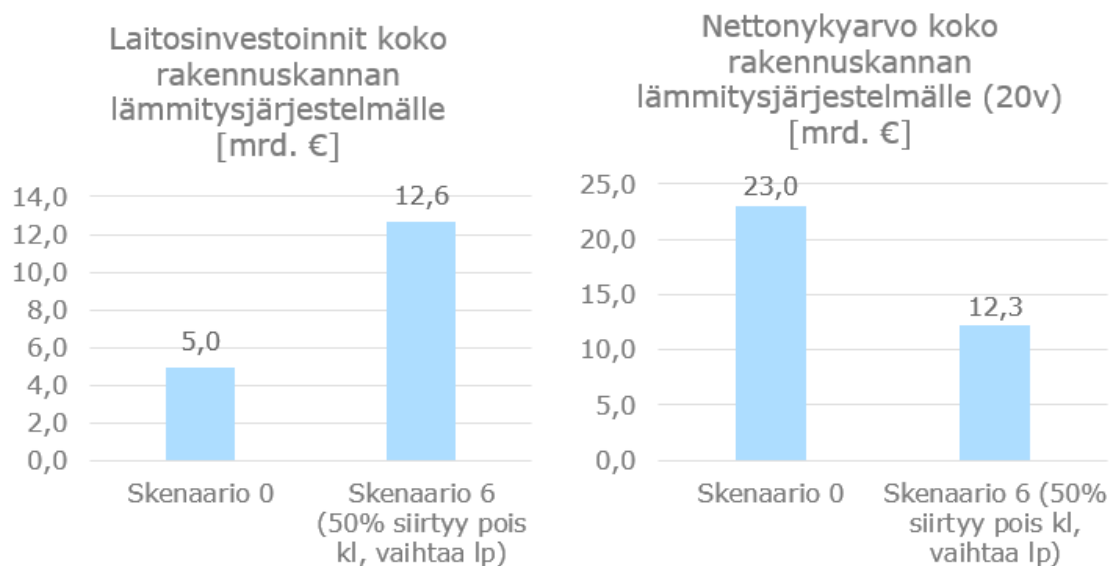
Skenaariossa 6 on oletuksena kaukolämmön kattavuuden pieneneminen lämmitysmuotona 50%. Kaukolämmöstä poistuvan rakennuskannan oletetaan käyttävän lämpöpumppuja lämmöntuotantoon. Alla on esitetty lämmön keskihintaa nykytilassa, skenaariossa 0 ja skenaariossa 6 (kuva 23).



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.

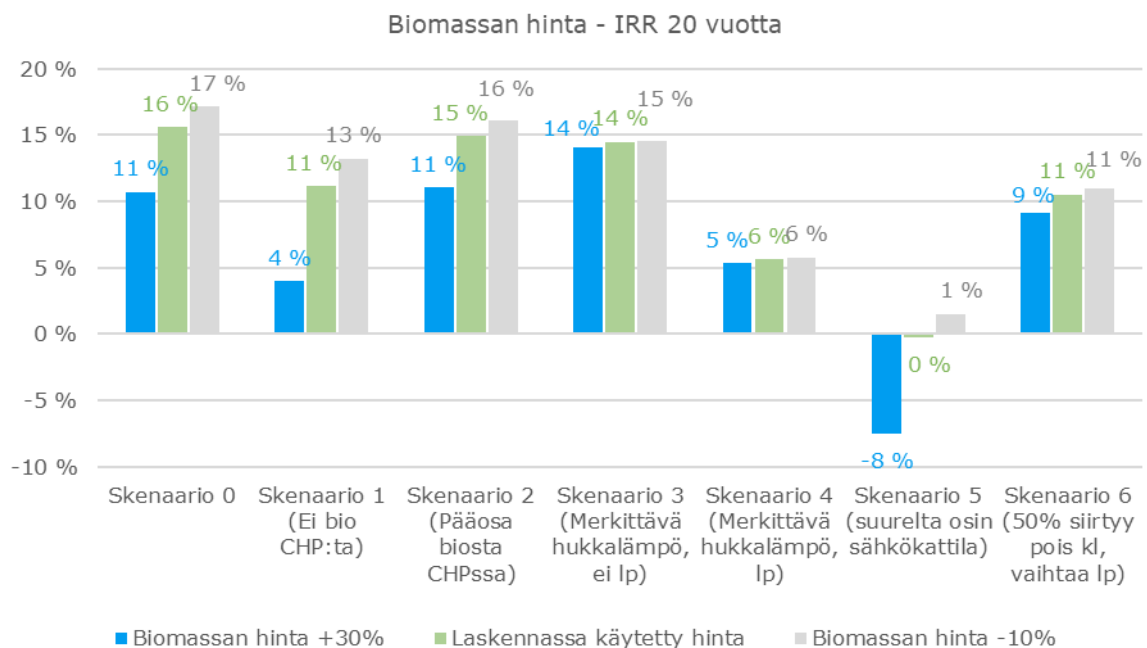
6.4 Herkkyysanalyysi

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:

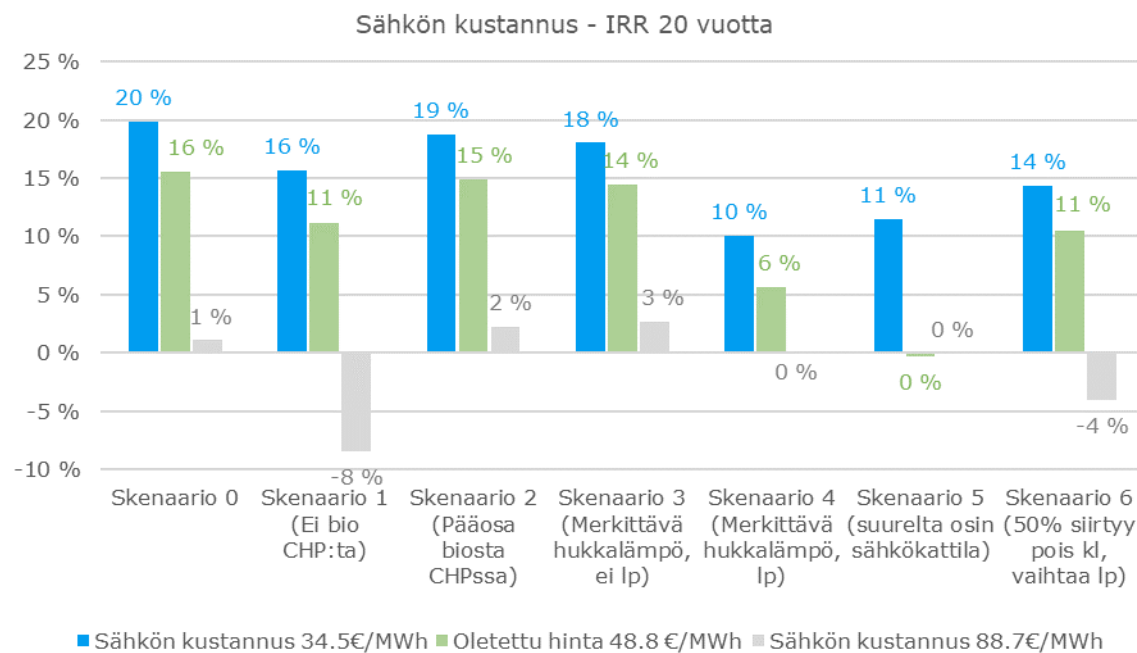
- Biomassan polttoaineen kustannuksen hinta +30% & -10%
- Sähkön kustannuksen energiamaksu 34,5 €/MWh & 88,7 €/MWh
- Biomassan investointi +30% & -10%
- Lämpöpumppeiden sekä sähkökattiloiden investointi +30% & -10%
- Laskentakorko 2 % & 5 % & 10 %

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



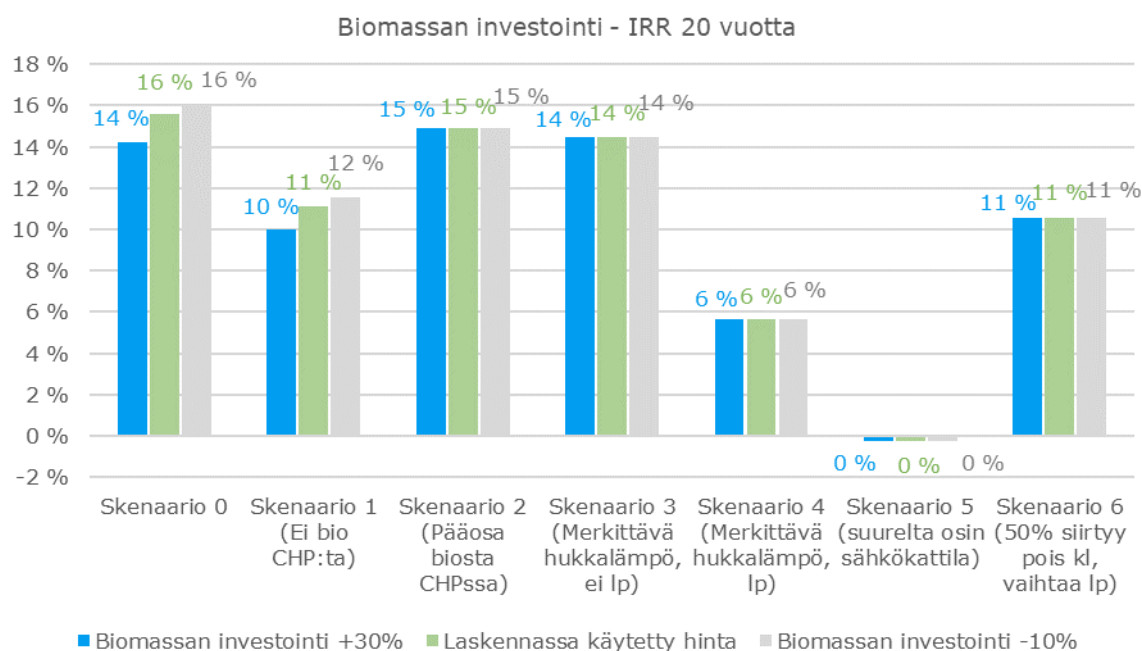
Kuva 27 Skenaariot 0-6 herkkytettyinä Biomassan kustannuksilla (+30% & -10%)

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.



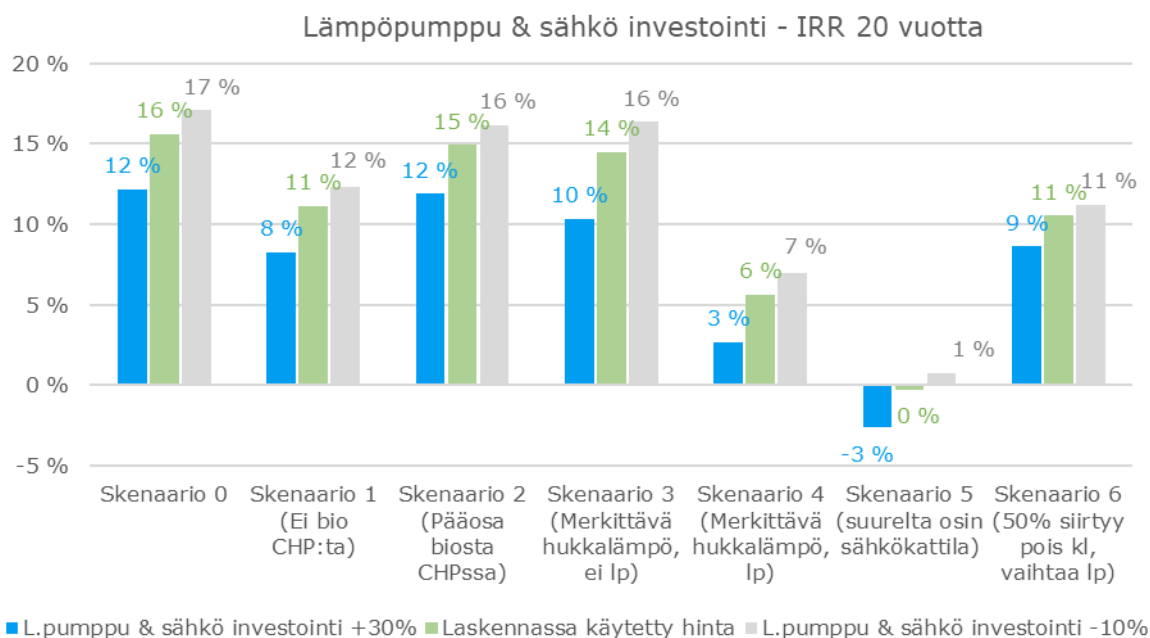
Kuva 28 Skenaariot 0–6 herkkyytettynä sähkön kustannuksella (34.5 €/MWh & 88.7 €/MWh) vs Normaali 48.8 €/MWh

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%)

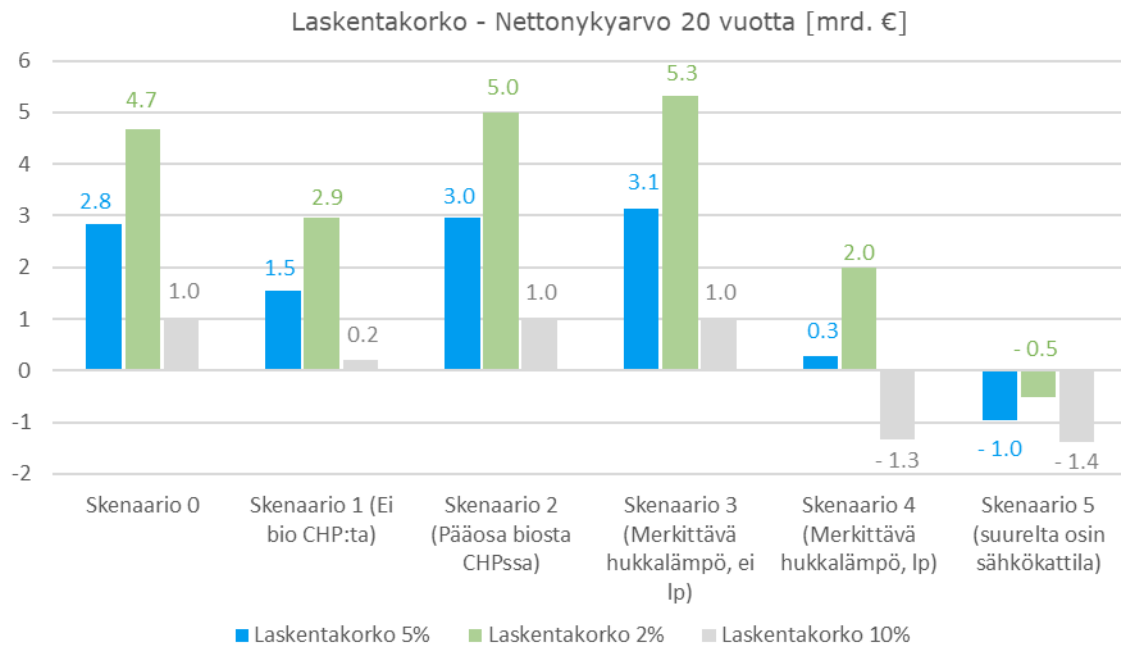
Biomassan investoinnin eri herkkyysvaihtoehdoilla ei ole juuri vaikutusta skenaarioiden kannattavuuslaskelmaan. Skenaariossa ei toteuteta suuria biomassaan liittyviä investointeja, joten kustannusten vaihtelulla ei ole sitä kautta suuria vaikutuksia kannattavuuteen.



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, vaatii merkittäviä investointeja lämpöpumppeihin sekä sähkökattiloihin.



Kuva 31 Skenaariot 0–5 herkkyytettyinä 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 herkkyyssvaihtoehdoista, mutta Skenaariot 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 palkansaaajakorvaukset 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 sähkөөn. (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 skenaarista 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 halvemalla 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 käyttöloudelliset tunnusluvut 2019, https://energia.fi/wp-content/uploads/2016/08/Kayttoloudelliset_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 energiapito	95 %	Rambollin asiantuntija-arvio



Asiakas: Työ- ja elinkeinoministeriö

Projekti: Selvitys uusiutuvista lähteistä peräisin olevaan energiaan liittyvästä potentiaalista sekä hukkalämmöstä lämmityksessä ja jäähdytyksessä

Yhteyshenkilö
Jenni Patronen
Matkapuhelin
0407544922
Sähköposti
jenni.patronen@afry.com

Pvm.
09/12/2020

Yhteyshenkilö
Heidi Uimonen
Matkapuhelin
0406619229
Sähköposti
heidi.uimonen@afry.com

Asiakas
Työ- ja elinkeinoministeriö

Selvitys uusiutuvista lähteistä peräisin olevaan
energiaan liittyvästä potentiaalista sekä hukkalämmöstä
lämmityksessä ja jäähdytyksessä

Copyright © 2020 AFRY Management Consulting Oy

All rights reserved

Tämä raportti on tehty AFRY Management Consulting Oy:n (AFRY) toimesta työ- ja elinkeinoministeriön käyttöön ("Asiakas"). Raportti on laadittu noudattaen AFRYn ja Asiakkaan välisen sopimuksen ehtoja. AFRYn tähän raporttiin liittyvä tai siihen perustuva vastuu määräytyy yksinomaan kyseisten sopimusehtojen mukaisesti.

AFRYn näkemyksen mukaan tämän julkaisun sisältämät tiedot ovat paikkansapitäviä ja perusteltuja. Tästä huolimatta raporttia tulkitsevien tai käyttävien osapuolten tulee käyttää omaa harkintaansa sekä ammattitaitoaan julkaisun tietojen soveltamisessa. Tämä julkaisu sisältää osittain informaatiota, joka ei ole AFRYn hallittavissa. Näin ollen AFRY ei anna julkaisun perusteella tai siihen liittyen mitään vakuutusta, nimenomaista tai konkludenttista, eikä vastaa sen sisältämien tietojen ja arvioiden oikeellisuudesta. Pöyry ei vastaa kolmansille osapuolille tämän julkaisun käyttämisen tai siihen luottamisen perustella aiheutuneesta haitasta taikka mistään välittömästä tai välillisestä vahingosta.

Sisältö

1	Työn tausta	4
2	Uusiutuvista lähteistä peräisin olevaan energiaan liittyvä potentiaali	4
2.1	Biomassan potentiaali	4
2.2	Geotermisen lämmön potentiaali	7
2.3	Maalämmön potentiaali	8
3	Hukkalämmön ja -kylmän käyttöön liittyvä potentiaali lämmitys- ja jäähdytysalalla...	10
3.1	Hukkakylmän potentiaali	10
3.2	Hukkalämmön potentiaali kaukolämmössä	10
3.3	Hukkalämmön potentiaali kiinteistökohtaisessa lämmityksessä	10
4	Paikka-analyysi uusiutuvan energian tuotannon kannalta vähäisen ekologisen riskin omaavista alueista	12
5	Pienimuotoisten kotitalouksien hankkeiden potentiaali	13

1 Työn tausta

EU:n energiatehokkuusdirektiivin artikla 14(1) edellyttää jäsenvaltioilta kattavaa arviointia, joka koskee tehokkaan yhteistuotannon ja tehokkaan kaukolämmityksen ja -jäähdytyksen hyödyntämismahdollisuuksia. EU:n uusiutuvan energian direktiivin 2018/2001/EU 15 artiklan 7 kohdan mukaan jäsenvaltioiden on arvioitava uusiutuvista lähteistä peräisin olevaan energiaan liittyvä potentiaalinsa sekä hukkalämmön ja -kylmän käyttöön lämmityksen ja jäähdytyksen alalla liittyvä potentiaalinsa. Kyseiseen arviointiin on tarvittaessa sisällytettävä paikka-analyysi vähäisen ekologisen riskin omaavien alueiden osalta ja pienimuotoisten kotitalouksien hankkeiden potentiaali, ja tämä arviointi on sisällytettävä direktiivin 2012/27/EU 14 artiklan 1 kohdan nojalla vaadittuun toiseen kattavaan arviointiin.

Tämän selvityksen tavoitteena on tuottaa EU:n energiatehokkuusdirektiivin liittyvään arviointiin lisätietoa kansallista raportointia varten. Työssä on kuvattu yleisellä tasolla arvioita uusiutuvan energian kysynnästä, todennäköisestä potentiaalista sekä kuvattu merkittävimpiä rajoitteita. Selvitys nojaa pääosin tilastoihin ja julkisiin lähteisiin.

2 Uusiutuvista lähteistä peräisin olevaan energiaan liittyvä potentiaali

Merkittävimmät uusiutuvan energian lähteet, joiden käyttöä voitaisiin Suomessa lisätä lämmöntuotannossa, ovat biomassan käyttö ja geoterminen energia. Tässä luvussa on arvioitu biomassan ja geotermisen energian potentiaaleja Suomen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmässä. Molempien osalta arviointi on tehty kysyntä huomioiden, ja arvioitu ensin maksimikysyntää ja siihen verrattuna tuotantopotentiaalia.

Arvion mukaan biomassan käyttöpotentiaali voisi maksimissaan olla vuonna 2030 noin 60 TWh, jonka kattamista biomassan teoreettinen saatavuus ei Suomessa rajoita. Sekä maalämmön että geotermisen lämmön teoreettinen potentiaali ylittää Suomen lämmitysenergian tarpeen moninkertaisesti, mutta tällä hetkellä tämä potentiaali on pitkälti hyödyntämätön.

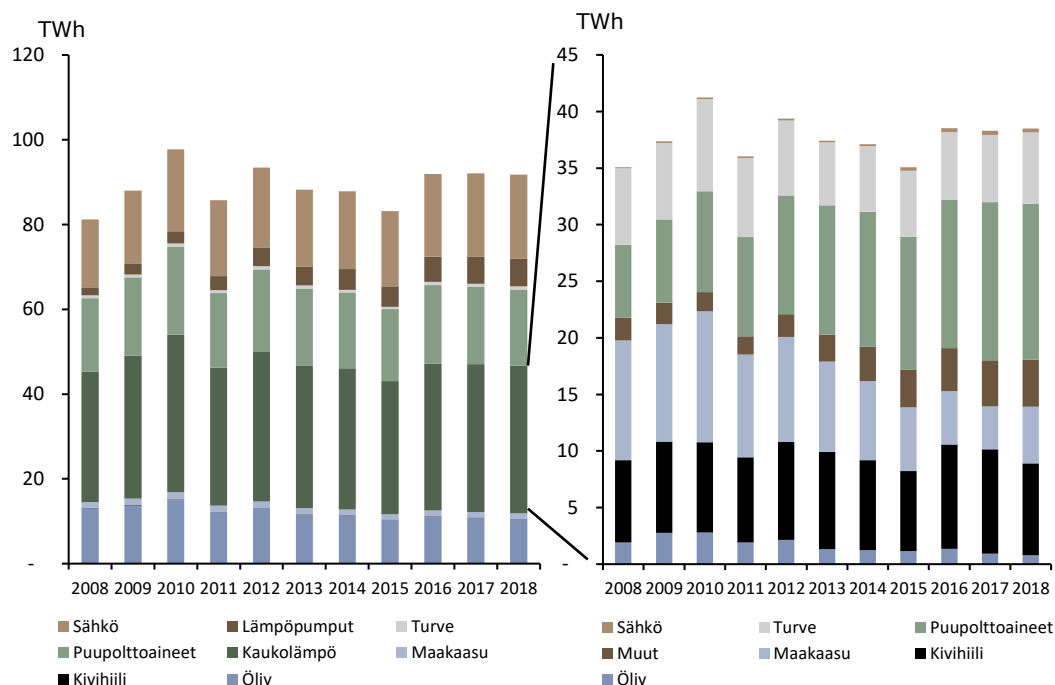
2.1 Biomassan potentiaali

Biomassan kysyntä

Tässä työssä kiinteän biomassan maksimikysyntä kiinteistöjen lämmityksessä ja teollisuuden lämmöntuotannossa on arvioitu perustuen polttamalla tuotetun lämmön määrään ja tarpeeseen vuoteen 2030 saakka. Kysyntäarvio on tehty hyvin karkealla tasolla mukaillen TEMin toimittamia lämmitystarve-ennusteita, Tilastokeskuksen tietoja ja muita selvityksiä. Maksimikysyntää arvioitaessa nykyisen biomassan energiakäytön oletetaan jatkuvan, ja lisäkäyttöpotentiaali perustuu polttoainemuutoksiin kattiloissa esimerkiksi turpeen korvaamiseksi ja uusiin fossiilisia polttoaineita ja turvetta korvaaviin biomassaa käyttäviin laitoksiin. Kokonaisuudessaan tässä työssä on pyritty hahmottamaan mahdollista biomassan maksimikysyntää Suomessa nykyisenkaltaisessa energiantuotanto- ja teollisuustuotantorakenteessa.

Kiinteän biomassan käyttö on noussut välillä 2008-2018 lämmityksen kokonaiskulutuksessa (Kuva 1). Kiinteistökohtaisessa lämmityksessä biomassan käyttö vuonna 2018 oli 18 TWh, ja rakennusten energiantarve lämmityksessä oli kokonaisuudessaan 92 TWh vuonna 2018. Kiinteistökohtaisesti fossiilisia polttoaineita – pääosin öljyä – käytettiin 12 TWh. Vuonna 2018 kaukolämmön tuotantoon kului polttoaineita 38,5 TWh, josta noin 36 % oli biomassaa ja noin 36 % fossiilisia polttoaineita.

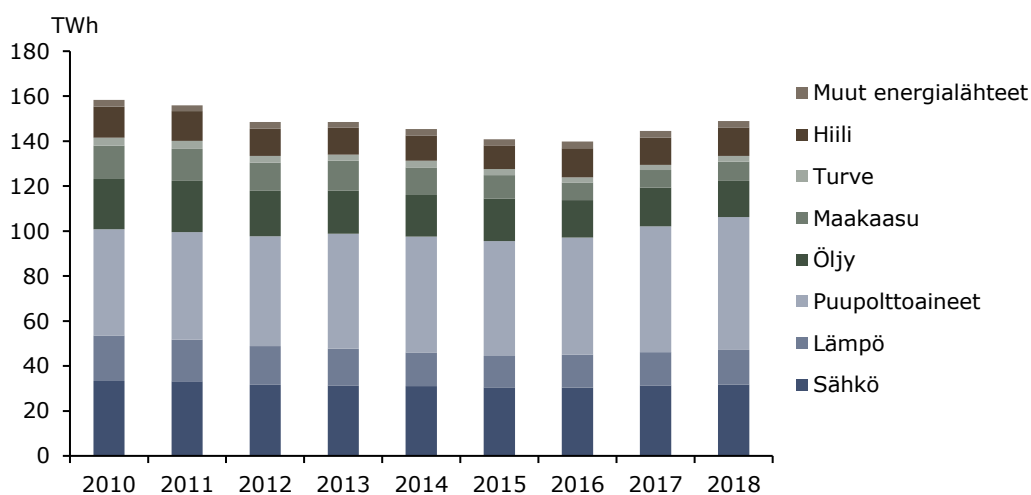
Kuva 1: Rakennusten lämmityksen ja kaukolämmön tuotannon energiankulutusenergilähteittäin 2008-2018



Lähde: Tilastokeskus

Teollisuuden energiankäyttö Suomessa oli kokonaisuudessaan 149 TWh vuonna 2018, josta metsäteollisuus oli suurin teollisuuden energiankäyttäjä 58 %:n osuudella. Vuonna 2018 puupolttoaineiden osuus kaikesta teollisuuden energiankäytöstä oli 40 % (Kuva 2). Vuonna 2018 noin 21 % käytetystä energiasta oli sähköä, 10 % muualta ostettua lämpöä ja loput muita energianlähteitä, joita käytettiin teollisuuslaitosten sähkön- ja lämmöntuotantoon. Fossiilisten polttoaineiden osuus teollisuuden lämmityksessä on vähenemässä ja arvioidaan vähenevän entisestään.

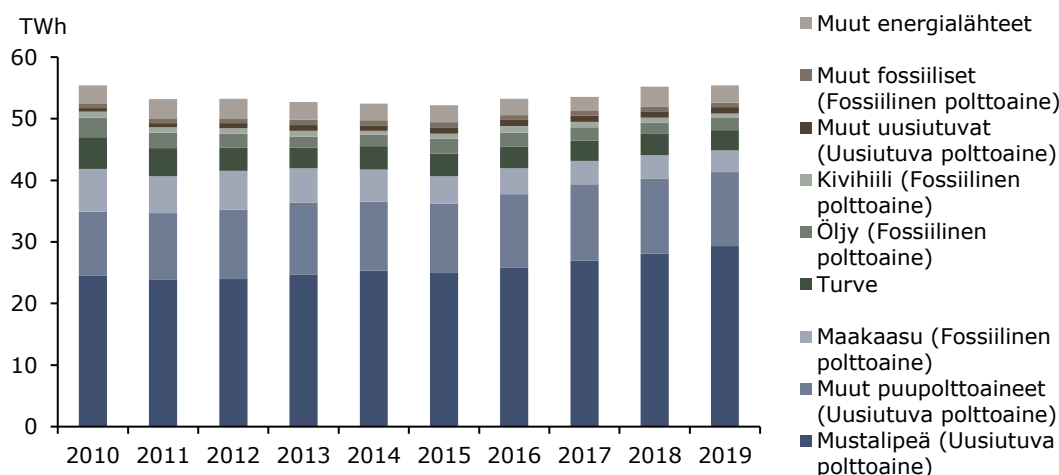
Kuva 2: Teollisuuden energiankäyttö energialähteittäin 2010-2018



Lähde: Tilastokeskus

Teollisuuden lämmöntuotanto on pysynyt melko vakaana viime vuosikymmenen ajan, ja vuonna 2018 se oli noin 55 TWh (Kuva 3). Yli 75 % lämmöntuotannosta tuotetaan uusiutuvilla energianlähteillä. Fossiilisten polttoaineiden osuus oli 19 %. Merkittävin uusiutuvan energian lähde on mustalipeä, jota syntyy metsäteollisuudessa.

Kuva 3: Teollisuuslämmön tuotanto energianlähteittäin 2010-2019



Lähde: Tilastokeskus

Yhteensä kiinteistökohtaisessa lämmityksessä, kaukolämmön tuotannossa ja teollisuuslämmön tuotannossa biomassaa käytettiin 53,3 TWh vuonna 2018.

Biomassan saatavuus

Kokonaisuudessaan työssä on pyritty hahmottamaan kiinteän biomassan potentiaalia Suomessa nykyisenkaltaisessa energiantuotanto- ja teollisuustuotantorakenteessa. Vuonna 2019 lämpö- ja voimalaitosten kiinteiden puupolttoaineiden käyttö oli noin 36 TWh (Taulukko 1). AFRYn arvion mukaan kiinteän biomassan lisäpotentiaali olisi vuonna 2030 noin 10 TWh, mikä nostaa kiinteän biomassan kokonaispotentiaaliksi noin 46 TWh:n tasolle vuoteen 2030 mennessä. Lisäpotentiaali perustuu oletukseen, että teollisen puun korjuumäärät säilyvät vuoden 2019 tasolla. Pienpuun korjuupotentiaaliksi kehitys on huomioitu Luonnonvarakeskuksen hakkuukertymäarvioiden mukaisesti. Lisäpotentiaali ei huomioi mahdollisia muutoksia metsäteollisuuden tuotantomäärissä ja tuotantorakenteissa, vaan sivutuotetarjonnan oletetaan säilyvän vuoden 2019 tasolla. Tuontipuuhun liittyvää lisäpotentiaalia ei ole huomioitu tässä selvityksessä.

Taulukko 1: Lämpö- ja voimalaitosten kiinteän biomassan käyttö 2019 ja arvio 2030 lisäpotentiaalista, TWh

	TWh (2019)	TWh (2030)
Metsähake yhteensä	15,1	15,1 + 10
Metsäteollisuuden sivutuotepuu yhteensä	21,2	21,2
Lämmitykseen kuluva biomassa yhteensä	36,3	46,3

Lähde: Tilastokeskus, AFRY

Biomassan hankintaan liittyvät kustannus- ja ympäristötekijät vaikuttavat biomassan saatavuuteen ja käyttömäärien kehittymiseen. Arvioitu potentiaali muodostuu hakkuutähteistä metsästä kerättävistä energiapuujukeista (esimerkiksi oksat ja teolliseen

Taulukko 2: Suurin ylläpidettävissä oleva aines- ja energiapuun hakkuukertymä

	2016-2025	2026-2035	2036-2045
Ainespuukertymän tilavuus 1000 m3/v	74 595	79 001	79 531
Energiapuukertymän kokonaistilavuus 1000 m3/v	19 373	23 783	24 424
Energiapuukertymä TWh	39	48	49

Lähde: Luonnonvarakeskus 2020

Huom: Energiapuukertymä sisältää kannot, oksat ja latvukset ja energiapuuksi luokitellun runkopuun. Energiapuukertymä ei sisällä tuontia, eikä teollisuuden sivutuotteita kuten kuorta ja purua.

2.2 Geotermisen lämmön potentiaali

Sekä maalämmön että geotermisen energian teoreettinen potentiaali ylittää Suomen lämmitysenergiantarpeen moninkertaisesti¹. GTK:n mukaan Suomen maankamaran ylimmän 300 metrin yhteenlaskettu teoreettinen energiapotentiaali on noin 300 000 TWh, joka vastaa noin vajaa tuhatkertaisesti Suomen koko energiankulutusta². Geoterminen energia on lämpöenergiaa, jota voidaan hyödyntää suoraan kaukolämmön tuotannossa.

Tällä hetkellä geotermisen energian hankkeet ovat suurelta osin vielä kehitysvaiheessa ja vasta murto-osa käytettävissä olevasta geotermisestä energiasta hyödynnetään Suomessa³.

¹ GTK geoenergian asiakaspalveluryhmä

² GTK. Geoenergia ja geotermisen energian potentiaalikartoitukset: Suomessa on valtava puhtaan energian varasto. Saatavilla <https://www.gtk.fi/geoenergian-ja-geotermisen-energian-potentiaalikartoitukset-suomessa-on-valtava-puhtaan-energian-varasto/>

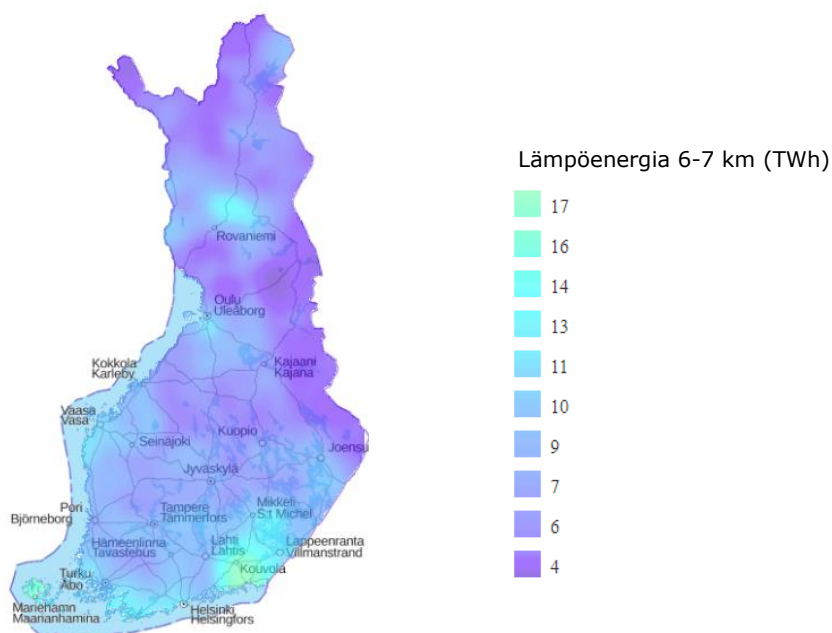
³ Helen. Geolämmössä paljon mahdollisuuksia. Saatavilla [https://www.helen.fi/helen-](https://www.helen.fi/helen-oy/vastuullisuus/ajankohtaista/blogi/2020/geolampo)

Geotermisen energian hankkeet perustuvat sekä keskisyviin että syviin lämpökaivoihin. St1:n Otaniemessä sijaitsevan Deep Heat hankkeen syvän lämpökaivon pilottiprojektin käynnistys lähestyy, ja laitoksella voidaan tuottaa 40 MW tai 200 GWh energiaa vuodessa. Kaivo yltää 6,4 kilometrin syvyyteen. Fortum tulee ostamaan geolämpölaitoksen tuottaman lämmön kaukolämpöverkkoonsa. Suomessa muita hankkeita on kehitteillä Espoon Koskelossa, Mänttä-Vilppulan Kolhossa ja Tampereen Nekalassa ja Hiedanrannassa, joista QHeatin Koskelon laitos on jo käytössä 500kW hetkellisellä teholla⁴. St1:n kaltaisten suurien hankkeiden osalta ollaan kuitenkin vasta aiesopimustasolla.

Geotermisen energian tuotantopotentiaaliksi vuoteen 2030 mennessä on arvioitu noin 2 TWh. Arvio perustuu oletukseen, että vuoteen 2030 mennessä käytössä olisi muutama Deep Heatin kaltainen laitos, joita suuremman tuotantomäärän vuoksi voidaan käyttää paremmin isoissa kaupungeissa, sekä useampi keskisyvä geoterminen kaivo. Arvio on tehty karkealla tasolla ottaen huomioon energian tuotantarpeen muutos sekä porauskapasiteetin kehitys vuoteen 2030 mennessä. Arvio mukailee Energiategollisuuden vähähiilisyden tiekarttaa⁵.

Käyttökokemukset tulevat ratkaisemaan syvän geotermisen energian jatkon Suomessa. Geolämpöön liittyy vielä paljon epävarmuuksia muun muassa teknologisen toimivuuteen ja kustannuksiin liittyen. Deep Heatin projekti on kuitenkin ollut merkittävässä roolissa porausalan kannalta. Sen yhteydessä on kehitetty poraustekniikkaa ja tämän seurauksena keskisyvät (1-3 km) geotermiset kaivot ovat tulleet toimialalle. Kustannusrakenteeltaan keskisyvä geoterminen on huomattavasti kevyempi syviin verrattuna, mutta investointina se ei toistaiseksi täysin kilpailukykyinen. Valtion tukitoimilla on vaikutusta geotermisen energian hyödyntämiseen vuoteen 2030 mennessä.¹

Kuva 4: 6-7 kilometrin syvyydessä olevan geotermisen lämmön potentiaali⁶



2.3 Maalämmön potentiaali

Kiinteistökohtaisessa lämmityksessä hyödynnetään maalämpöä lämpöpumpputeknologian avulla sekä ulkoilmasta saatavaa lämpöä ilma-vesi- ja ilmalämpöpumppujen avulla.

⁴ Yle. Suomen ensimmäinen geolämpölaitos käynnistyi. Saatavilla <https://yle.fi/uutiset/3-11158359>

⁵ Energiategollisuus Low carbon roadmap 2020. Saatavilla https://energia.fi/files/4943/Finnish_Energy_Low_carbon_roadmap_FINAL_2020-06-01.pdf

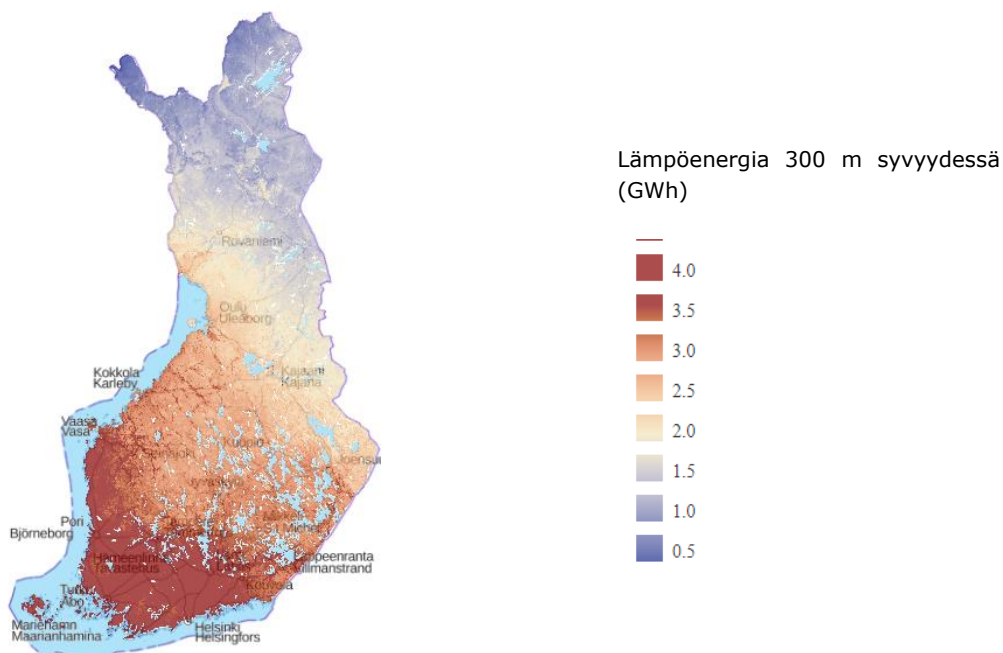
⁶ Lähde: GTK. Karttasovelluspalvelu löytyy osoitteesta <http://gtkdata.gtk.fi/Maankamara/index.html>

Maalämpöä varten porataan tavallisesti 100-300 metriä syvä lämpökaivo. Tilastokeskuksen mukaan asuin- ja palvelurakennuksissa maalämpöpumppujen tuottaman lämmön määrä on ollut kasvussa viime vuosikymmenellä, ollen tasolla 380 GWh vuonna 2000 ja tasolla 3,6 TWh vuonna 2018. Vuonna 2018 lämpöpumppuenergia, johon on tilastoitu sekä maalämpö että ilma-vesilämpöpumput, vastasi noin 8% kiinteistöjen lämmitystarpeesta¹. Ruotsissa vuonna 2018 pelkästään maalämpöpumpuilla tuotettiin noin 10% kiinteistöjen lämmitystarpeesta. Maalämmön kasvun kannalta on olennaista, kuinka suuri osa jäljellä olevista öljylämmitteisistä kiinteistöistä siirtyy maalämpöön 2030 mennessä. Öljylämmityksestä luopumista kuvataan tarkemmin luvussa 5.

Mikäli maalämpöenergian kasvuvauhdin voidaan olettaa jatkuvan, AFRYn karkean arvion mukaan maalämpöä voitaisiin hyödyntää kiinteistökohtaisina ratkaisuin 11 TWh vuonna 2030. Arvio maalämpöpumppujen tuottamasta energiasta vuonna 2030 perustuu oletukseen, että maalämmön tuotanto kasvaa 9,8 % vuodessa 2020-luvulla. Tämä on sama vuotuinen kasvutahti kuin millä maalämpölämpöpumppujen tuottama energia on keskimäärin kasvanut vuosina 2010-2018. Maalämpöpumppujen suosio on ollut Suomessa kasvussa, kun kiinteistöt ovat siirtymässä pois muista lämmitysmuodoista kuten öljylämmityksestä ja maalämpöpumppujen asentamista on tuettu. Öljylämmityksestä siirtymistä kuvataan tarkemmin luvussa 5. Uusiin kiinteistöihin asennetaan maalämpöpumppujärjestelmiä enemmän kuin aikaisemmin.

Maalämmön tuottaman energian kasvua vastaavasti saattaa rajata pitkä lämmitysmuotojen vaihtoväli, sillä lämmitysmuotojen vaihto tulee tyypillisesti ajankohtaiseksi isomman remontin yhteydessä. Maalämmön hyödyntämisen nopeaa lisäämistä voi rajoittaa porauskapasiteetti. Maalämmön hyödyntämistä voi rajoittaa myös pohjavesialueet, joita kuvataan tarkemmin luvussa 4.

Kuva 5: 300 metrin syvyydessä oleva maalämmön potentiaali⁶



3 Hukkalämmön ja -kylmän käyttöön liittyvä potentiaali lämmitys- ja jäähdytysalalla

Tämä kappale esittelee kiinteistökohtaisen hukkalämmön potentiaalin, jota on kiinteistöissä sekä pohjavedessä että poistoilmassa. Kiinteistökohtainen hukkalämmön potentiaali on arvioitu poistoilmalämpöpumpputjärjestelmien potentiaalin avulla asuinrakennuksissa. Hukkakylmän potentiaali on kuvattu laadullisena tarkasteluna.

3.1 Hukkakylmän potentiaali

Hukkakylmän potentiaali on arvioitu Suomessa hyvin vähäiseksi. Teollisessa jäähdytyksessä kylmää poistuu erilaisten pintojen läpi, jolloin hukkakylmää on teknisesti hyvin haastavaa hyödyntää. Hukkakylmän määrää voitaisiin mahdollisesti pienentää paremmalla eristämällä. Jäähdytystä vaativissa teollisuusprosesseissa hukkaenergian hyödyntäminen keskittyy hukkalämpöihin. Jäähdytyksen kylmäpiirin lämpötila ja tekniikka on sellaista, ettei kylmäenergiaa erikseen voida juuri hyödyntää. Lämmitys-jäähdytys-prosesseissa, kuten esimerkiksi maidon pastöroinnin ja uudelleenjäähdytyksen yhteydessä, alalla puhutaan tyypillisemmin hukkalämmön hyödyntämisestä tai energiatehokkuuden parantamisesta lämmön talteenotolla kuin hukkakylmän hyödyntämisestä.

Suomen oloissa vapaajäähdytyksellä on merkittävästi suurempi potentiaali. Vapaajäähdytys tarkoittaa, että ympäristön kylmää lämpötilaa hyödynnetään teollisuusjäähdytyksessä niin, ettei prosessissa tarvitse käyttää kompressoria.

Rakennusten jäähdytyksessä hukkakylmän potentiaali on myös käytännössä olematon, koska Suomessa jäähdytetään vielä hyvin vähän. Esimerkiksi kaukojäähdytyksessä hyödyntäminen liittyy kaukolämmön tuotantoon jäähdytysverkon lämpöenergian avulla, mikä voidaan lukea hukkalämmön hyödyntämiseksi.

3.2 Hukkalämmön potentiaali kaukolämmössä

Kaukolämmityksen osalta hukkalämmön potentiaalia on kuvattu AFRYn selvityksessä Energiategokkuusdirektiivin mukainen selvitys hukkalämmön potentiaalista ja kustannushyötyanalyysi tehokkaasta lämmityksestä⁷.

3.3 Hukkalämmön potentiaali kiinteistökohtaisessa lämmityksessä

Rakennuksen hukkalämmöt koostuvat pitkälti jäteveden ja poistoilman lämmöistä, joita tarkastelemalla voidaan arvioida hukkalämmön määrää kiinteistöissä. Lämmön talteenottoa hyödyntävät poistoilmalämpöpumpputjärjestelmät (PILP-järjestelmät) ovat yleistyneet erityisesti 1960-1990 välillä rakennetuissa asuinkerrostaloissa⁸. Samat kiinteistöt ovat usein kaukolämmön piirissä ja järjestelmä vähentää kaukolämmön kulutusta merkittävästi.

Rakennuksista saatavan hukkalämmön tarkastelu keskittyy tässä työssä poistoilmalämpöpumpputjen potentiaaliin, ja niiden kokonaispotentiaalia arvioidaan rakennuskannan ja esimerkiksi kiinteistöissä talteen saatavan energian avulla. Kiinteistökohtaisen hukkalämmön kokonaispotentiaalin arviointi pohjautuu VTT:n työhön Poistoilmalämpöpumpput kaukolämpöjärjestelmässä⁸. Kiinteistökohtaisen hukkalämmön

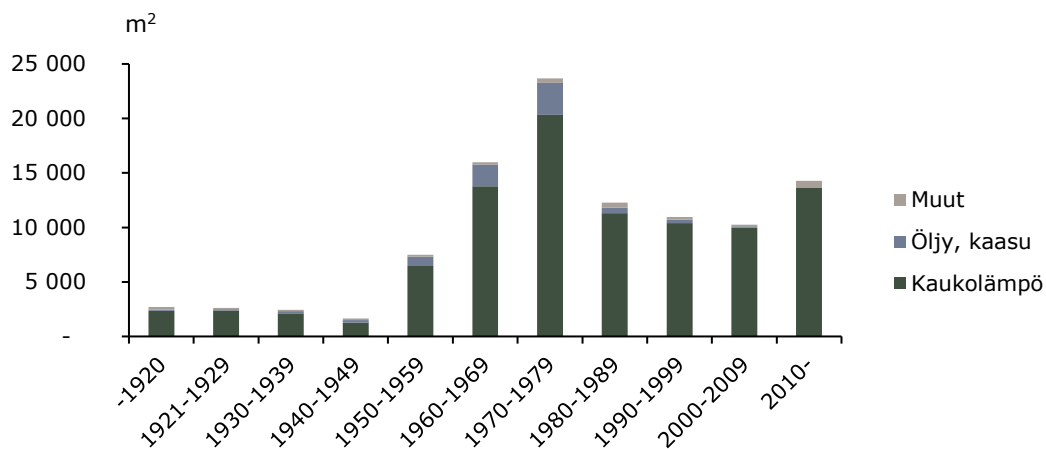
⁷ AFRY, energiatehokkuusdirektiivin mukainen selvitys hukkalämmön potentiaalista ja kustannushyötyanalyysi tehokkaasta lämmityksestä, 2020, https://tem.fi/documents/1410877/2897650/EEDselvitys+l%C3%A4mmityksest%C3%A4_loppuraportti+2020.pdf/88a0e63b-e2b6-eef9-1b4c-8c5411a0e531/EEDselvitys+l%C3%A4mmityksest%C3%A4_loppuraportti+2020.pdf?t=1601627038073

⁸ VTT 2015. Poistoilmalämpöpumpput kaukolämpöjärjestelmässä. Saatavilla <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2015/VTT-CR-00564-15.pdf>

potentiaalin arvioinnissa on käytetty Tilastokeskuksen rakennusten ja niiden lämmitysmuotojen dataa.

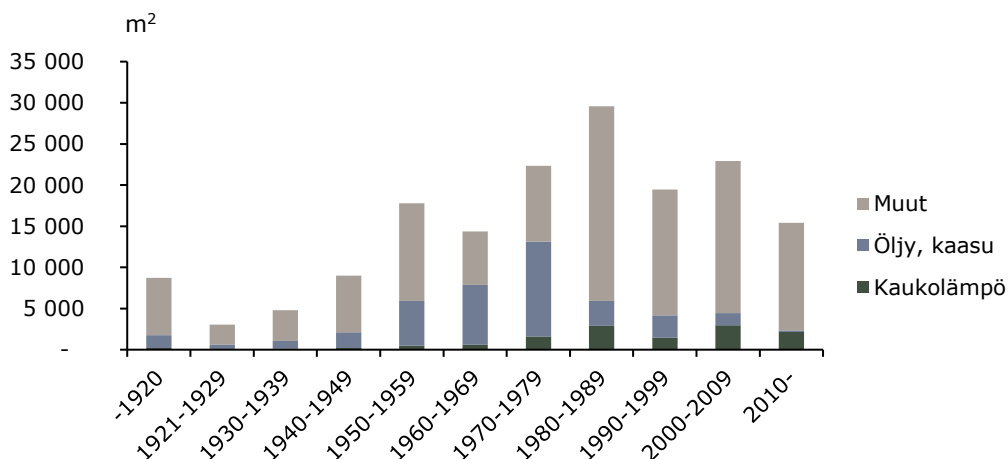
Poistoilmalämpöpumpputähtöjärjestelmien avulla hyödynnettävän hukkalämmön potentiaalia Suomessa arvioitiin selvittämällä kaukolämpöön ja muihin lämmitysmuotoihin kytkettyjen asuintalojen kokonaiskerrosala sekä hyödyntämällä VTT:n tutkimuksen rakennusten ominaiskulutuksia. Vuoden 1990 jälkeen rakennetuissa kaukolämpöön kytketyissä taloissa on käytetty matalaa ominaiskulutusta heijastamaan parempaa energiatehokkuutta, mikä madaltaa poistoilmasta saatavan lämmön potentiaalia. Kuva 6 kuvaa asuinkerrostalojen kokonaiskerrosalaa lämmitysmuodoittain ja rakennusvuosittain. Kuva 7 kuvaa erillisten pientalojen kokonaiskerrosalaa lämmitysmuodoittain ja rakennusvuosittain.

Kuva 6: Asuinkerrostalojen kerrosala lämmitysmuodoittain ja rakennusvuosittain



Lähde: Tilastokeskus

Kuva 7: Erillisten pientalojen kerrosala lämmitysmuodoittain ja rakennusvuosittain



Lähde: Tilastokeskus

Taulukko 3 kuvaa laskennallista poistoilman lämmön hyödyntämisestä muodostuvan hukkalämmön potentiaalia. Poistoilmasta saatavan lämmön hyödyntäminen vähentää kaukolämmöstä tai muusta lämmitysjärjestelmästä tarvittavan lämmön määrää. Kaukolämmityksessä olevien rakennusten vähenemä poistoilmalämpöpumpputähtöjen asentamisen jälkeen oletetaan säästävän lämmitysenenergiasta 50%. Muiden lämmitysmuotojen osalta on oletettu, että poistoilmajärjestelmä säästää 30%.

Poistoilmalämpöpumppujen avulla voidaan pienentää huomattava määrä lämmön tarvetta, ja poistoilmasta saatavan lämmön potentiaali voi olla jopa 13 TWh, mikäli 80%:iin rakennuksista asennettaisiin PILP-järjestelmä.

Taulukko 3: Asuinrakennusten poistoilman hukkalämmöistä saatava potentiaali

Oletettu osuus PILP-järjestelmän asentaneesta rakennusalaista	Poistoilmasta saatavan hukkalämmön määrä kaukolämmityksessä asuinrakennuksissa (GWh)	Poistoilmasta saatavan hukkalämmön määrä tuotanto muiden lämmitysmuotojen avulla lämmitetyistä rakennuksista (GWh)
10%	868	784
20%	1 735	1 587
30%	2 603	2 381
40%	3 471	3 174
50%	4 339	3 968
60%	5 206	4 761
70%	6 074	5 555
80%	6 942	6 348

Lähde: Tilastokeskus, VTT, AFRY

Kiinteistökohtaisessa lämmityksessä on kuitenkin otettava huomioon, että tässä selvityksessä on huomiotu vain poistoilmalämpöjen potentiaali hyvin karkealla tasolla, eikä esimerkiksi jätevesien lämmön hyödyntämisen potentiaalia ole laskettu. Selvityksessä ei ole myöskään arvioitu tarkalla teknologialla tasolla, mikä on poistoilman hyödyntämistaste eri ikäisissä rakennuksissa.

4 Paikka-analyysi uusiutuvan energian tuotannon kannalta vähäisen ekologisen riskin omaavista alueista

Merkittävin sijaintiin liittyvä ekologinen riski uusiutuvien lämmitysteknologioiden hyödyntämisen osalta liittyy maalämpöön ja geolämpöön. Pohjavesiesiintymät voivat rajata niiden hyödyntämispotentiaalia joillakin alueilla, sillä lämpökaivojen poraamiseen liittyy riskejä muun muassa pohjaveden pilaantumisesta esimerkiksi pintaveden valumisen seurauksena tai pohjaveden virtaamismuutosten kautta. Kuva 8 esittää Suomen pohjavesialueita. Suomen maapinta-alasta vajaa 4 % on pohjavesialuetta⁹. Alueet sijaitsevat tyypillisesti hiekkaharjujen läheisyydessä. Varsinkin Joensuusta Hankoon kulkevat Salpausselät kulkevat monen kaupungin kautta. Vuosina 2014-2019 maalämpökaivojen Aluehallintovirastoille saakka toimitetuista lupahakemuksista¹⁰ hylättiin tai jätettiin sikseen noin 80 % kaikista 57 hakemuksesta¹¹. Jatkossa lämpökaivoja ei todennäköisesti tulla suunnittelemaan pohjavesialueille, sillä vuoden 2019 korkeimman hallinto-oikeuden vuosikirjapäätöksessä tehdyn hylkäämispäätöksen mukaan kaivot vaarantavat pohjaveden laatua merkittävästi¹². Pohjavesialueista syntyy rajoitteita yleensä kuitenkin hyvin

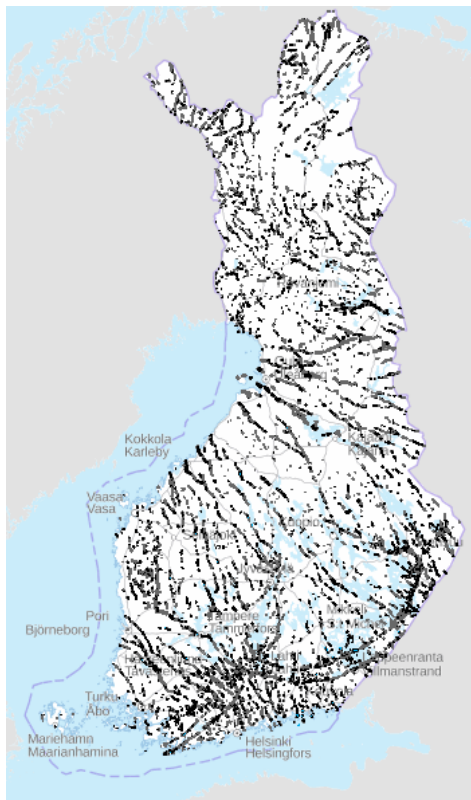
⁹ Suomen ympäristökeskus

¹⁰ Maalämpökaivot vaativat toimenpideluvan kaupungin rakennustarkastukselta. Jos kyseessä on pohjavesialue, lupahakemus voi edetä ELY-keskuksille ja edelleen AVIn päätettäväksi.

¹¹ Energiakaivot ja pohjavesi, Juha Helin, Etelä-Suomen aluehallintovirasto, esitys 30.1.2020. <https://docplayer.fi/181043468-Energiakaivot-ja-pohjavesi-luvittajan-nakokulmasta-juha-helin-esavi.html>

¹² KHO:2019:37 (Turku)

Kuva 8: Suomen pohjavesialueet¹³



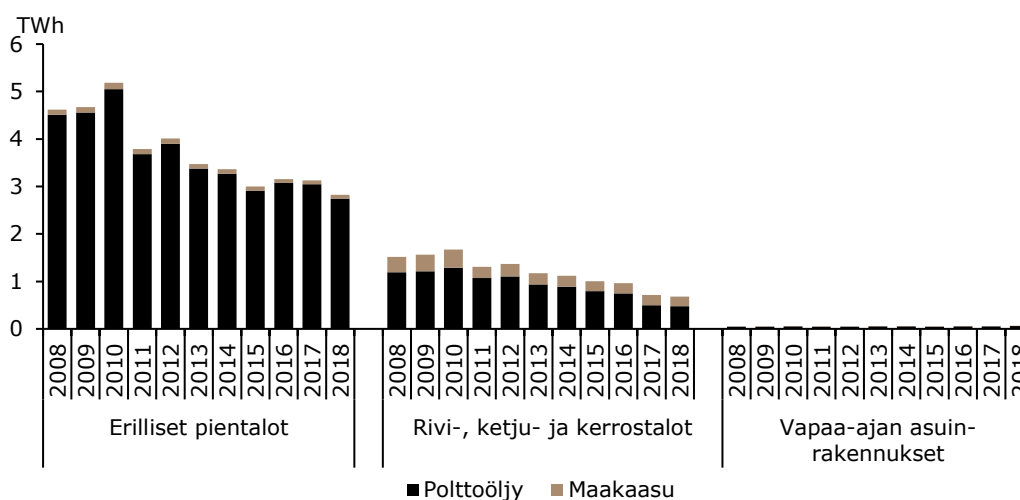
¹³ Lähde: Ympäristökeskus. Karttasovelluspalvelu löytyy osoitteesta <https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/> ja pohjaveteen liittyvät karttatasovalinnat geologia-karttatasovalinnan alta.

öljy- tai kaasulämmityksestä. Tässä lisätyössä ei ole huomioitu sähköntuotannon uusiutuvien polttoaineiden osuutta.

Kotitalouksien öljylämmitys ja siitä luopuminen

Öljy, kivihiili ja maakaasu muodostavat fossiilipohjaiset kiinteistöjen lämmityspolttoaineet. Kivihiilen osuus näistä fossiilisista polttoaineista on hyvin marginaalinen, koska sen osuus on vain 0,3%. Kokonaisuudessaan myös öljy- ja maakaasulämmityksen osuudet asuinrakennusten lämmityksen kokonaisenergiatarpeesta ovat pienet verrattuna muihin energianlähteisiin. Vuonna 2018 erillisissä pientaloissa öljylämmitys oli vain 8 % erillisten pientalojen kokonaisenergiatarpeesta. Rivi-, ketju- ja kerrostaloissa osuus oli 2 % ja vapaa-ajan asuinnoissa 2 %. Vuonna 2018 kaasulämmityksen osuus erillisistä pientaloista oli vain 0,2 % erillisten pientalojen kokonaisenergiatarpeesta. Rivi-, ketju- ja kerrostaloissa osuus oli 0,9 % ja vapaa-ajan asuinnoissa 0,03 %. Vuonna 2018 asuinrakennusten yhteenlaskettu öljy- ja kaasun tarve lämmitykseen oli 3,6 TWh, josta 3,3 TWh oli öljyn tarve. Kuva 9 kuvaa asuinrakennusten öljy- ja kaasulämmitystä asuinrakennustyyppittäin.

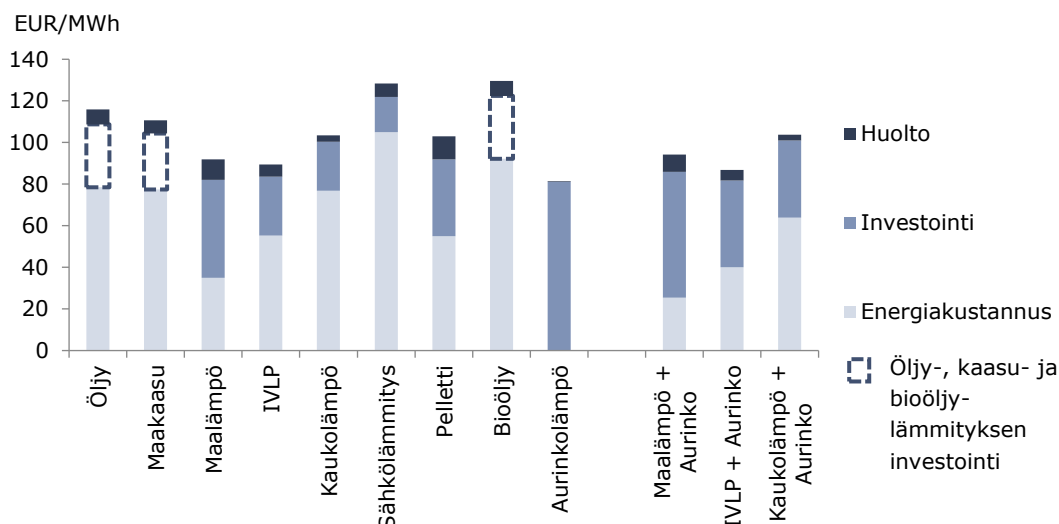
Kuva 9: Asuinrakennusten lämmitys polttoöljyllä ja maakaasulla asuinrakennustyyppittäin 2008-2018



Lähde: Tilastokeskus

Erillisten pientalojen lämmitysteknologioita ovat öljylämmitys, kaasulämmitys, kaukolämpö, maalämpö, ilma-vesilämpöpumput, bioöljylämmitys, pellettilämmitys, sähkölämmitys, aurinkolämpö ja aurinkolämmön ja muiden lämmitysteknologioiden hybridit. Eri lämmitysmuotojen kustannusten vertailemiseksi käytetään LCOE-laskentaa (levelized cost of energy), jossa luodaan eri lämmitysmuodoille keskenään vertailukelpoiset tuotantohinnat (EUR/MWh) sisältäen muuttuvat kulut (esimerkiksi polttoaineen tai sähkön hinnat ja niihin liittyvät verot) ja investointikustannukset. Laskennassa otetaan huomioon pääomakustannukset, jotka aiheutuvat, kun koko lämmitysjärjestelmä vaihdetaan. Kuva 10 kuvaa erillisten pientalojen vaihtoehtoisten lämmitysratkaisujen kustannuksia.

Kuva 10: Erillisten pientalojen vaihtoehtoisten lämmitysratkaisujen kustannukset



Huomioita: LCOE-arvot eivät sisällä arvonnalisäveroa. Esimerkkitalona on käytetty pientaloa, jonka vuotuinen energiantarve on 18MWh. LCOE-laskennan elinkaareksi on mallinnettu 20 vuotta ja WACC-arvona on 3%.

IVLP- ja aurinkolämpöteknologia tarvitsevat varajärjestelmän, mitä ei ole huomioitu LCOE-laskelmassa kyseisen teknologian kohdalla. Aurinkolämmön ja muiden lämmitysteknologioiden hybridit huomioivat tämän tarvittavan varakapasiteetin.

Öljyn hinnaksi on oletettu 97,3 EUR/MWh, sähkön hinnaksi 44,0 EUR/MWh ja sähkön siirtohinnaksi 47,7 EUR/MWh. Katkoviivalla merkityillä investointikustannuksilla tarkoitetaan öljy-, kaasu- ja bioöljylämmityksen investointeja, joita ei tarvitse tehdä kiinteistöihin, joissa on jo öljylämmitysjärjestelmä.

Lähde: AFRY, Energiateollisuus, Nordpool, Tilastokeskus, teknologiatoimittajat

LCOE-laskennan perusteella öljylämmityksestä muihin lämmitysmuotoihin siirtyminen on usein kustannustehokas vaihtoehto pientaloissa, jos öljylämmitykselle huomioidaan myös investointikustannukset. Öljylämmitteiset pientalot ovat usein taajama-alueiden ulkopuolella, joten kaukolämpöön liittyminen ei ole välttämättä mahdollista. Pellettilämmitys, ilma-vesilämpöpumpit ja maalämpöpumpit ovat uusiutuvista energialähteistä kustannuksiltaan öljylämmitystä matalammat. Bioöljylämmitys on kustannuksiltaan tavallista öljylämmitystä suurempi, koska polttoainekustannus on korkeampi. Jos öljykattilan uusimisen tarvetta ei ole, bioöljyyn siirtyminen voisi olla muita uusiutuvan energian lämmitysmuotoja houkuttelevampaa. Bioöljyn saatavuus lämmityskäyttöön on hyvin rajallinen tällä hetkellä. Jos öljylämmityksen investointikustannuksia ei huomioida, ovat muut lämmitysmuodot kustannuksiltaan öljylämmityksen polttoaine- ja huoltokustannuksia korkeammat.

Aurinkolämmön lisäys lämmitysmuotoihin saattaa alentaa kokonaiskustannuksia, mutta sitä suurempi hyöty aurinkolämmityksen lisäämisestä syntyy, mitä enemmän lämmitystarvetta sillä voidaan kattaa ja mitä laajempi keräinalue on. Aurinkolämmöllä on matala LCOE-arvo, koska energiakustannuksia ei ole. Täytyy kuitenkin huomioida, että aurinkolämpö vaatii varakapasiteettia, koska aurinkolämpöä ei ole lämmityskaudella juuri lainkaan saatavilla. Tämän varakapasiteetin täytyy olla toinen lämmitysjärjestelmä, esimerkiksi kaukolämpö, mikä nostaa kokonaiskustannuksia. Myös ilma-vesilämpöpumpit vaativat varakapasiteetin.

Kotitaloudet huomioivat lämmitysmuodon vaihtamisessa yleensä myös kiinteistön arvon kehityksen. Esimerkiksi haja-asutusalueella öljylämmityksestä maalämpöpumppuun siirryttäessä kokonaisinvestointi saattaa olla huomattava itse kiinteistön arvoon nähden, mikä vähentää halua vaihtaa lämmitysmuotoa. Erillisten pientalojen öljylämmityksestä on kannattavaa vaihtaa uusiutuvista energiamuodoista maalämpöön, IVLP-teknologiaan tai

pellettilämmitykseen, jos öljylämmitys on saavuttanut käyttöikänsä ja vaatii uuden investoinnin. Aurinkolämmityksen lisääminen pienentää vertailukelpoista tuotantohintaa, mutta hyöty on entistä suurempi kiinteistöissä, joissa on suurempi energiantarve kuin pientaloissa.

Vuonna 2018 öljyn kulutus asuinrakennusten lämmityksessä oli 3,3 TWh, joka voidaan kokonaisuudessaan tuottaa uusiutuvalla energialla.