

gaia



*Innovative Solutions  
for Sustainability*

# Koukkurannan lämpöenergiaratkaisujen vertailu

Loppuraportti  
1.12.2011

Juha Vanhanen, Aki Pesola, Iivo Vehviläinen





## Koukkurannan lämpöenergiaratkaisujen vertailu

### Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	3
2	Rakennuskannan energiantarve .....	5
3	Tarkasteltavat lämpöjärjestelmät.....	9
3.1	Kaukolämpö.....	10
3.2	Kevytkaukolämpö .....	14
3.3	Korttelikohtainen maalämpö .....	18
3.4	Talokohtainen sähkölämmitys.....	25
4	Lämpöjärjestelmien vertailu.....	27
4.1	Kustannukset .....	27
4.2	Hiilijalanjälki .....	29
4.3	Herkkystarkasteluja.....	31
5	Liiketoimintamahdollisuuksien arviointi .....	41
5.1	Energiayhtiön liiketoimintavaihtoehtoja .....	41
5.2	Asiakasnäkökulma .....	43
5.3	Pientaloalueen erityistarkastelu.....	44
6	Yhteenveto ja johtopäätökset .....	47
	Lähteet .....	49



# 1 Johdanto

Tampereen kaupunki haluaa pienentää hiilijalanjälkeään yli 20 prosenttia asukasta kohti vuoteen 2020 mennessä ja yli 40 prosenttia vuoteen 2030 mennessä, kun lähtötasona käytetään vuotta 1990. Tampereen kaupunki on yhdessä Sitran kanssa käynnistänyt näitä tavoitteita silmällä pitäen ECO<sub>2</sub> -Ekotehokas Tampere 2020 -hankkeen. ECO<sub>2</sub> näkyy kaavoituksessa ja rakentamisessa, liikenteen suunnittelussa sekä kiinteistöjen energiaratkaisuissa. Yhtenä kohteista on Vuoreksen kaupungin-osaan rakentuva Koukkurannan alue, johon tämä selvitys kohdentuu. Selvitystä on rahoittanut ECO<sub>2</sub> -hanke, Vuores-projekti sekä Tampereen Kaukolämpö Oy.

Kaukolämpö on perinteisesti ollut hallitsevassa asemassa uusien asuinalueiden lämmitysratkaisuja suunniteltaessa. Viime vuosina uudet lämmitysratkaisut ovat lisänneet suosiota. Kevennetty kaukolämpötekniikka, erilaiset maalämpöratkaisut sekä tehokkaalla lämmön talteenotolla varustetut sähkölämmitysjärjestelmät ovat useissa tapauksissa myös varteenotettavia vaihtoehtoja. Niiden kannattavuuteen vaikuttavat paikalliset olosuhteet, tarvittavat investoinnit sekä kaukolämmön ja sähkön hinta.

Erityisesti vaihtoehtoisten lämmöntuotantomuotojen tarkastelussa ja mitoituksessa tulee huomioida rakennusten energiatehokkuus eli kuinka paljon alueen rakennukset kuluttavat lämpöenergiaa. Energiatehokkuuden parantuminen muuttaa eri lämmitysmuotojen kilpailuasetelmaa, kun uusien alueiden lämmöntarve suhteessa pinta-alaan pienenee.

Tässä hankkeessa on tavoitteena määritellä kaukolämmön ja vaihtoehtoisten lämmitysjärjestelmien taloudellisuus ja hiilijalanjälki<sup>1</sup> Koukkurannan asemakaava-alueella. Tarkasteltavia ratkaisuja ovat perinteinen kaukolämpö, kevytkaukolämpö, korttelikohtainen maalämpö sekä tehokkaalla lämmön talteenotolla varustettu sähkölämmitys. Laskenta suoritetaan siten, että tulokset ovat mahdollisuuksien mukaan yleistettävissä muihin aluekehityshankkeisiin Tampereen alueelle. Hankkeen tavoitteena on erityisesti selvittää

- rakennusten energiatehokkuuden paranemisen vaikutus kaukolämmön kilpailukykyyn
- kaukolämmön toteuttamisen reunaehdot Koukkurannan alueella
- uusien kaukolämpötekniikoiden tekninen toteutettavuus ja taloudellisuus
- vaihtoehtoisten lämmitysjärjestelmien tekninen toteutettavuus ja taloudellisuus
- uusien energijärjestelmien tuomat liiketoimintamahdollisuudet.

---

<sup>1</sup> Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan tässä suoria hiilidioksidi-ekvivalenteja päästöjä, jotka aiheutuvat alueella kulutetun energian tuotannossa.



Tarkastelussa Koukkurannan alue jaetaan kolmeen osaan rakentamisen tehokkuuden mukaan. Tarkasteltavat osa-alueet ovat kaakkoisosan tehokkaan rakentamisen alue (1), kytkeytyt talot lännessä (2) ja pohjoisen pientaloalue (3). Aluejako on esitetty kuvassa 1.1.



Kuva 1.1. Koukkurannan alue jaettuna tarkasteltaviin osa-alueisiin.

Selvityksessä tarkastellaan vaihtoehtoisten lämmitysmuotojen taloudellisuutta, toteutettavuutta ja hiilijalanjälkeä. Tarkastelu suoritetaan kaukolämmön, kevytkaukolämmön ja korttelikohtaisen maalämmön osalta koko alueelle (osat 1, 2, ja 3), osa-alueille 1 ja 2, sekä pelkästään alueelle 1. Tehokkaalla lämmön talteenottojärjestelmällä varustettuja sähkölämmitysratkaisuja tarkastellaan koko alueen, osa-alueiden 2 ja 3, sekä pelkästään alueen 3 osalta. Mahdollinen jäähdytysenergian tuotanto ja kulutus on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.

Raportin luvussa 2 on esitetty rakennuskannan energiantarve eri energiatehokkuustasoilla. Tarkasteltavat energiatehokkuustasot ovat vuoden 2012 rakentamismääräysten asettama taso, passiivienergiataso sekä E-luvun perusteella määritetty lähes nollaenergiataso käyttäen lähtötietoina ns. Lantti-talon<sup>2</sup> energiankulutustietoja. Luvussa 3 on tarkasteltu edellä kuvattuja vaihtoehtoisia lämmitysratkaisuja. Kunkin ratkaisun osalta on kuvattu järjestelmän toimintaperiaate ja mitoitus, kustannukset sekä hiilijalanjälki eri energiatehokkuustasoilla. Luvussa 4 on esitetty lämmitysratkaisujen vertailu niin kustannusten kuin hiilijalanjäljen osalta. Tarkasteluun on sisällytetty myös herkkyystar-

<sup>2</sup> Perustuu Aalto-yliopiston suunnittelemaan Lantti-pientaloon, joka rakentuu Tampereen asuntomessuille 2012



kastelu tärkeimpien muuttujien osalta. Luvussa 5 on arvioitu eri liiketoimintamalleja ja niiden mahdollisuuksia. Hankkeen tärkeimmät havainnot ja johtopäätökset on esitetty luvussa 6.

## 2 Rakennuskannan energiantarve

Tämän raportin tarkastelu kohdistuu rakennuskannan kuluttamaan lämmitysenergiaan, joka sisältää sekä tilojen että käyttöveden lämmityksen. Tarkastelu perustuu rakennusten kerrosalaan sekä arvioituun ominaiskulutukseen. Rakennukset jaetaan tarkastelussa pientaloihin, rivi- ja ketjutaloihin sekä asuinkerrostaloihin. Rakennuskannan lämpöenergian kulutus määritellään kolmelle eri tasolle, jotka ovat vuoden 2012 rakentamismääräykset (RakM-2012), passiivenergiataso ja E-luvun perusteella lähes nollatasoa edustava Lantti-taso, joka perustuu Aalto-yliopiston suunnittelemaan Lantti-pientaloon. Rakentamismääräysten mukaisten talojen lämpöenergian kulutus on määritelty oletamalla lämmitystavaksi kaukolämpö. Taulukossa 2.1 on esitetty edellä mainittujen energiatehokkuustasojen mukaiset lämpöenergian ominaiskulutukset sekä laskennalliset E-luvut, kun kaikissa vaihtoehdoissa lämmitysmuotona on kaukolämpö. E-luvussa on huomioitu sekä sähkön että lämmön tarve.

*Taulukko 2.1. RakM-2012-, passiivenergi- ja Lantti-talojen lämpöenergian ominaiskulutukset sekä E-luku, kun lämmitysmuotona on kaukolämpö.*

		Tilojen lämmitys [kWh/m <sup>2</sup> a]	Käyttöveden lämmitys [kWh/m <sup>2</sup> a]	Lämpöenergia yhteensä [kWh/m <sup>2</sup> a]	E-luku
RakM-2012 <sup>3</sup>	asuinkerrostalo	60	35	95	130
	rivi- ja ketjutalo	65	35	100	150
	pientalo	91	35	126	156
Passiivenergiataso <sup>4</sup>	asuinkerrostalo	17	17	34	71
	rivi- ja ketjutalo	22	13	35	70
	pientalo	23	13	36	58
Lantti-taso <sup>5</sup>	asuinkerrostalo	30	17	47	50

<sup>3</sup> Rakennusten energiatehokkuus - Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta. Lämmitysenergian tarve on laskettu E-luvun kautta kaukolämmön energiamuodon kertoimella (0,7). Sähköenergian osuus kokonaisenergiatarpeesta on oletettu olevan pientaloissa 24 %, rivi- ja ketjutaloissa 32 % ja asuinkerrostaloissa 28 %.

<sup>4</sup> Kulutustasojen lähtötietona käytetty VTT:n Vuores-Koukkujärven energiaselvitys -raporttia (2011).

<sup>5</sup> Lähtötietoina käytetty Aalto-yliopiston tekemiä laskelmia. Selvitystä varten saadut Lantti-talon kulutustiedot koskevat vain pientaloja; rivi- ja ketjutalojen sekä kerrostalojen ominaiskulutukset on oletettu samoiksi. E-lukuvaatimuksen saavuttaminen perustuu siihen, että aurinkopaneeleilla tuotetaan 64 % rakennuksen kuluttamasta sähköstä. Sähkön energiamuodon kerroin on 1,7 ja kaukolämmön 0,7 eli aurinkosähkön arvo primäärienergiana mitattuna on 2,43-kertainen kaukolämpöön verrattuna.



	rivi- ja ketjutalo	30	17	47	50
	pientalo	30	17	47	50

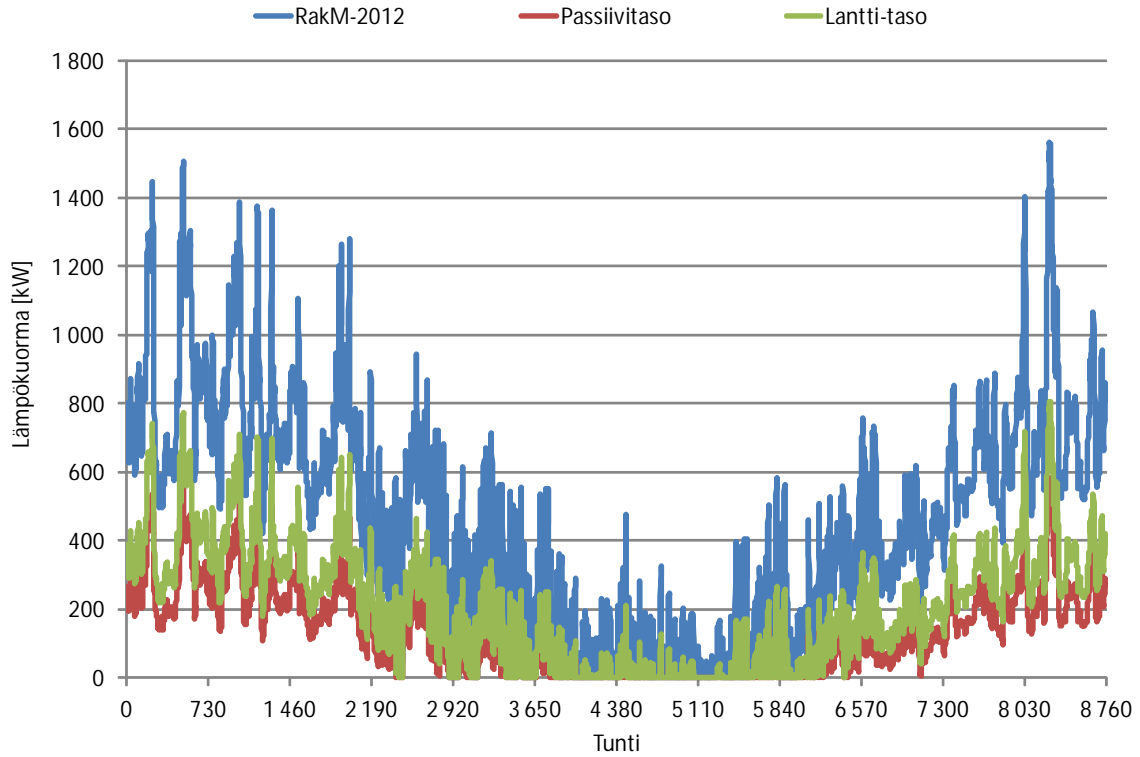
Taulukosta 2.1 nähdään, että käyttöveden lämmitystarve on passiivenergia- ja Lantti-tasoilla huomattavasti alhaisempi kuin rakentamismääräysten vaatimalla tasolla. Energiatehokkaammissa rakennuksissa käyttöveden lämmitystarvetta pienennetään mm. paremmilla putkieristeillä, varaajien sijoittelulla<sup>6</sup> sekä hyödyntämällä esimerkiksi aurinkolämpöä.

Selvityksessä määritettiin myös rakennuskannan tuntikohtainen lämmöntarve eri energiätehokkuus-tasoilla. Tuntikohtaisen lämmöntarpeen laskennassa on hyödynnetty Ilmatieteen laitoksen keskipitkän aikavälin säätilastoa, josta selviää tuntikohtaiset ulkolämpötilat tietyillä alueilla Suomessa. Tampereelta ei ollut käytettävissä tarkkoja tuntikohtaisia säätietoja, joten tässä selvityksessä on käytetty Jyväskylän säätietoja, jotka on korjattu vastaamaan Tampereen ilmastoa. Käytetty laskentamalli huomioi rakenteiden lämmönläpäisykertoimen, rakennusten sisäisten lämpökuormien sekä asetetun sisälämpötilan vaikutukset lämpöenergiatarpeeseen.

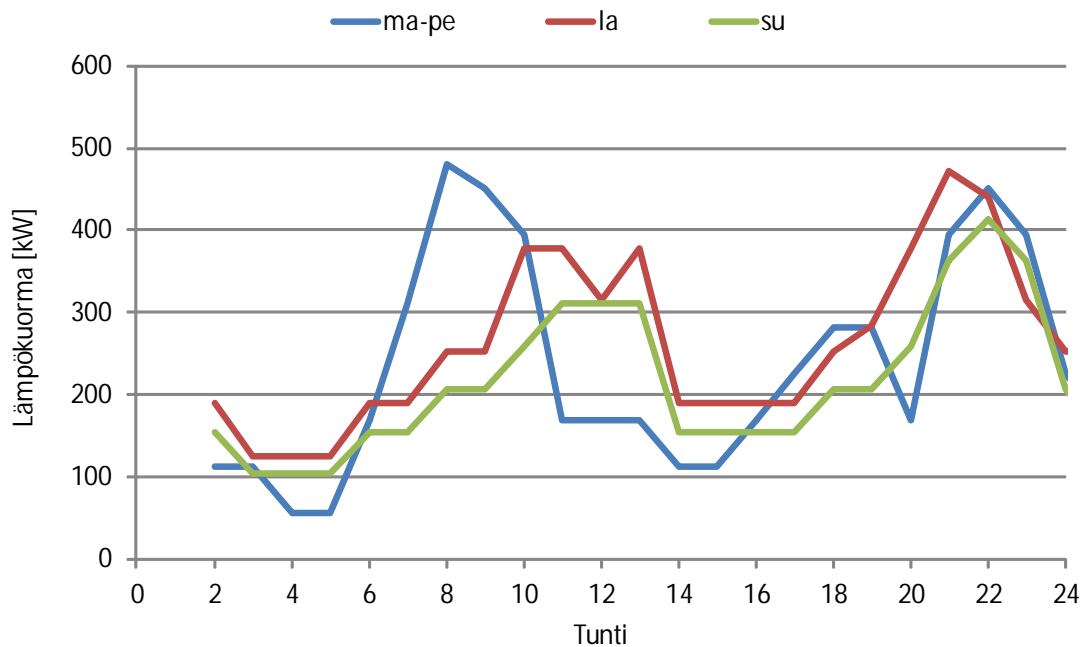
Kuvassa 2.1 on esitetty lasketut lämpökuormat tilojen lämmityksen osalta eri energiätehokkuus-tasoille koko Koukkurannan rakennuskannalle koko vuoden ajalta. Toisin kuin tilojen lämmittämisen tapauksessa, käyttöveden aiheuttama lämpökuorma ei riipu vuodenaajasta, vaan pikemminkin vuoro-kaudenajasta. Tämä on esitetty kuvassa 2.2, jossa arvioitu käyttöveden tarve tuntitasolla arkipäiville sekä lauantaille ja sunnuntaille RakM-2012 -energiätehokkuustasolla. Koko alueen lämpimän käyttöveden kuormatarkastelussa ei ole havaittavissa nopeita muutoksia, jotka ovat tyypillisiä tarkasteltaessa yksittäistä asuntoa. Alueellisessa tarkastelussa asuntojen suuri lukumäärä siis tasoittaa kuormaa ajallisesti. Muiden energiätehokkuustasojen kuormavaihteluja ei ole tässä esitetty, sillä ne eivät poikkea muodoltaan - vaan pelkästään korkeudeltaan - kuvassa 2.2. esitetystä.

---

<sup>6</sup> Lämminvesivaraaja kannattaa sijoittaa mahdollisimman lähelle vesipisteitä (kylpyhuoneet jne.), jotta lämmönsiirrossa syntyvät häviöt saadaan minimoitua. Tämä on helpompaa toteuttaa pien-, rivi- ja ketjutaloissa kuin kerrostaloissa, joissa siirtomatka pitenee kerrosalan kasvaessa. Lisäksi kerrostaloissa asutaan tiheämmin, joten lämpimän käyttöveden tarve neliötä kohden on suurempi.



Kuva 2.1. Koukkurannan rakennuskannan lämpökuormat tilojen lämmityksen osalta eri rakennusten energiatehokkuustasoilla.



Kuva 2.2. Koukkurannan rakennuskannan lämpökuormat käyttöveden lämmityksen osalta RakM-2012-energiatehokkuustasolla.



Koukkurantaan nousevan rakennuskannan yhteenlaskettu kerrosala on reilu 59 000 neliötä. Tämä jakautuu siten, että kerrosala-alasta pientaloja on noin 16 %, rivi- ja ketjutaloja noin 31 % ja asuinkerrostaloja noin 53 %. Taulukossa 2.2 on esitetty kerrosalan jakautuminen eri alueiden kesken, rakennettujen alueiden korttelitehokkuus<sup>7</sup> sekä keskimääräinen korttelien energiatehokkuus<sup>8</sup> energiatehokkuuksien eri tasoilla.

Taulukko 2.2. Koukkurannan rakennuskannan kerrosalan jakautuminen alueittain sekä alueiden korttelitehokkuus ja lämpöenergian kulutustiheys.

Alue	Kerrosala (kem <sup>2</sup> )	Kortteli-tehokkuus	Korttelien energiatehokkuus (kWh/m <sup>2</sup> ,v)		
			RakM	Passiivi	Lantti
Alue 1 - kerrostaloja	31 210	0,88	83	30	41
Alue 2 - rivitaloja	8 320	0,51	51	18	24
Alue 3 - rivi- ja pientaloja	19 670	0,44	50	16	21
Yhteensä	59 200	0,62	63	21	29

Alueen valmistuttua sen kokonaislämmöntarve riippuu rakennuskannan energiatehokkuudesta. Mikäli rakennuskanta tehdään vuoden 2012 rakentamismääräysten mukaisesti, on vuotuinen lämmöntarve kokonaisuudessaan noin 6,01 GWh. Passiivien energiatasoinen rakennuskanta kuluttaisi noin kolmanneksen tästä eli 2,05 GWh vuodessa. Lähes nollaenergiatasoinen Lantti-määritelmien mukainen rakennuskanta kuluttaisi vuosittain 2,78 GWh lämpöenergiaa. Keskimääräinen kerrosalaan suhteutettu lämpöenergian kulutus alueella olisi RakM-2012 -tasolla noin 102 kWh/m<sup>2</sup>, passiivien energiatasolla noin 35 kWh/m<sup>2</sup> ja Lantti-tasolla noin 47 kWh/m<sup>2</sup>. Tiedot Koukkurannan rakennuskannan lämmitysenergian kokonaistarpeesta on koottu taulukkoon 2.3.

Taulukko 2.3. Koukkurannan rakennuskannan lämpöenergiatarve alueittain eri energiatehokkuus-tasoilla.

Jaottelu osa-alueittain	Lämpöenergian tarve (MWh/v)		
	RakM-2012	Passiivitaso	Lantti-taso
Alue 1 - kerrostaloja	2 965	1 061	1 466
Alue 2 - rivitaloja	832	291	391
Alue 3 - rivi- ja pientaloja	2 215	699	924
Yhteensä	6 012	2 051	2 782

Lämmitysenergian huipputeho arvioitiin rakennuskannan simuloinnin perusteella käyttäen mitoituslämpötilana säädatan kylmintä päivää (-27,8 °C). RakM-2012 tasolla lämmitysenergian huipputeho on noin 1,6 MW, kun passiivitalotasolla se on noin 0,6 MW (ks. taulukko 2.4). Ostettavan lämpimän käyttöveden keskiteho on RakM-2012 tasolla noin 240 kW. Passiivi- ja Lantti-tasolla se on vain hieman yli 100 kW (ks. taulukko 2.5). Tämä selittyy sillä, että Lantti-talossa merkittävä osa lämmöstä tuotetaan itse aurinkokeräimillä. Samoin passiivitalossa voidaan käyttää aurinkokeräimiä ja/tai

<sup>7</sup> Korttelitehokkuus lasketaan jakamalla alueen rakennuskannan kerrosala-ala alueen korttelien pinta-alalla. Korttelin sisällä olevat viheralueet lasketaan kuuluviksi korttelin pinta-alaan. Korttelin pinta-alaan ei kuulu korttelia ympäröivät katualueet.

<sup>8</sup> Energiatehokkuus määritellään jakamalla alueen lämpöenergian tarve alueen korttelien yhteenlasketulla pinta-alalla.

lämmön talteenottoa lämpimästä käyttövedestä. Lämpimän käyttöveden huipputehontarpeen osalta eri vaihtoehdot poikkeavat vain hiukan toisistaan, sillä talvella aurinkolämpöä ei ole saatavilla.

*Taulukko 2.4. Koukkurannan rakennuskannan lämmitysenergian huipputeho alueittain eri energiatehokkuustasoilla.*

Lämmitys (huipputeho, kW)	RakM-2012	Passiivitaso	Lantti-taso
Alue 1 - kerrostaloja	750	277	423
Alue 2 - rivitaloja	215	91	114
Alue 3 - rivi- ja pientaloja	597	216	269
Yhteensä	1562	584	806

*Taulukko 2.5. Koukkurannan rakennuskannan lämpimän käyttöveden tarpeen keskiteho alueittain eri energiatehokkuustasoilla.*

Lämmin käyttövesi (keskiteho, kW)	RakM-2012	Passiivitaso	Lantti-taso
Alue 1 - kerrostaloja	125	60	60
Alue 2 - rivitaloja	33	12	16
Alue 3 - rivi- ja pientaloja	79	29	38
Yhteensä	236	102	115

### 3 Tarkasteltavat lämpöjärjestelmät

Tässä selvityksessä tarkastellaan neljää eri lämmitysjärjestelmävaihtoehtoa, jotka ovat perinteinen kaukolämpö, kevennetty kaukolämpö, korttelikohtainen maalämpö ja tehokkaalla lämmön talteenotolla varustettu sähkölämmitys. Kunkin lämmitysjärjestelmän osalta seuraavassa on kuvattu järjestelmien mitoitusperiaatteet, kustannukset sekä hiilijalanjälki. Järjestelmät on suunniteltu kolmelle energiatehokkuustasolle, jotka on kuvattu edellisessä luvussa.

Kustannuslaskelmissa on huomioitu järjestelmien pääomakustannukset sekä vuotuiset käyttökustannukset. Laskelmiin ei ole sisällytetty kaukolämmön ja sähkön liittymismaksuja. Kaikissa muissa lämmitysjärjestelmissä paitsi sähkölämmityksessä lämmön jako tapahtuu rakennuksissa vesikiertoisella järjestelmällä. Sähkölämmitteisessä kohteessa lämmönjako tapahtuu sähköisillä lämpöelementeillä ja tuloilmaa lämmittämällä. Tässä luvussa esitetyissä kustannuslaskelmissa ei ole huomioitu lämmönjakojärjestelmien kustannusten eroja. Tähän teemaan palataan kuitenkin luvussa 5, kun tarkastellaan asiaa asiakkaan näkökulmasta.

Hiilijalanjälkitarkastelu kohdistuu lämpöenergiaan huomioiden sekä tilanlämmityksen että lämpimän käyttöveden kulutuksen. Tarkastelussa on arvioitu sähkön ja kaukolämmön ominaispäästöjen kehitys tulevaisuudessa (ks. taulukko 3.1). Kaukolämmön ominaispäästöjen kehittyminen perustuu Tampereen Sähkölaitoksen tekemiin suunnitelmiin. Sähkön osalta vuoden 2010 ominaispäästöt perustuvat Tilastokeskuksen vuoden 2009 Suomen sähköntuotannon päästökertoimeen hyödynjakomenetelmää käyttäen. Vuoden 2020 ja 2030 ominaispäästöt puolestaan perustuvat lineaariseen laskentaoletukseen, että sähkön ominaispäästöt saavuttavat sekä Suomessa, Pohjoismaissa että laajemminkin

EU-alueella nollatason vuonna 2050.<sup>9</sup> Koska sähkön ominaispäästöihin liittyy epävarmuuksia, on tämän osalta tehty erillisiä herkkyystarkasteluja luvussa 4.

Järjestelmien hiilijalanjälkilaskennassa on huomioitu sähkön siirrossa ja jakelussa tapahtuvat häviöt, jotka ovat Suomessa keskimäärin 3 %<sup>10</sup>. Lämmönsiirron häviöt on laskettu selvityksessä tapauskohtaisesti.

Taulukko 3.1. Koukkurannan rakennuskannan hiilijalanjäljen laskennassa käytetyt ominaispäästöt.

Ominaispäästöt (kgCO <sub>2</sub> /MWh)	2010	2020	2030
Kaukolämpö	240	192	144
Sähkö	237	178	119

## 3.1 Kaukolämpö

### 3.1.1 Järjestelmän kuvaus ja mitoitus

Koukkurannan kaukolämpöjärjestelmän suunnittelu tehtiin vaiheittain siten, että ensin suunniteltiin kaukolämpöverkko tiiviille kerrostaloalueelle (alue 1). Siitä verkkoa laajennettiin tiiviille rivi- ja ketjutalojen alueelle (alue 2) sekä lopulta pientaloalueelle (alue 3). Tämä rakennusjärjestys on kustannustehokkuuden kannalta perusteltua, sillä tiiviillä alueella saavutetaan paras taloudellinen kannattavuus.

Mikäli kaukolämpö rakennetaan vain alueelle 1, on kaukolämpöverkon kokonaispituus noin 855 metriä. Jos verkkoa laajennetaan alueelle 2, kasvaa verkon pituus 1 220 metriin, ja alueelle 3 laajennettuna 2 810 metriin. Kun verkon kokonaispituus kasvaa, kasvavat myös verkon lämpöhäviöt. Samoin häviöiden suhteellinen osuus kasvaa, kun mennään harvemmin rakennetuille alueille. Taulukossa 3.2. on esitetty lämpöhäviöiden määrä sekä häviöiden osuus siirrettävästä energiasta eri vaihtoehdoissa. Häviölämpövirrat on määritetty putkikoon mukaan ja ne vastaavat L1/2010 suosituksen mukaisia lukemia Mpuk-elementille. Vuoden keskiarvoinen menoveden lämpötila Tampereen kaukolämpöverkossa on 85 °C ja paluuveden 45 °C. Verrattain alhaisesta lämpötilatasosta johtuen ovat verkon häviöt suhteellisen pienet.

Taulukosta 3.2. nähdään, että lämpöhäviöiden kokonaismäärä ei juuri riipu rakennuskannan energiatehokkuudesta, mutta häviöiden prosentuaalinen osuus siirretystä energiamäärästä kasvaa, kun loppuenergiankäyttö pienenee eli energiatehokkuus paranee.

---

<sup>9</sup> Suomen alueella ominaispäästöt laskevat huomattavasti nopeammin, mikäli Suomeen rakennetaan kaksi uutta ydinvoimalayksikköä sekä hallituksen asettamat tuulivoiman ja bioenergian lisäystavoitteet vuoteen 2020 mennessä saavutetaan.

<sup>10</sup> Energiateollisuus ry. 2010. Sähkön käyttö ja verkostohäviöt. [www.energia.fi](http://www.energia.fi).

Taulukko 3.2. Kaukolämmön häviöt eri alueilla ja eri energiatehokkuustasoilla.

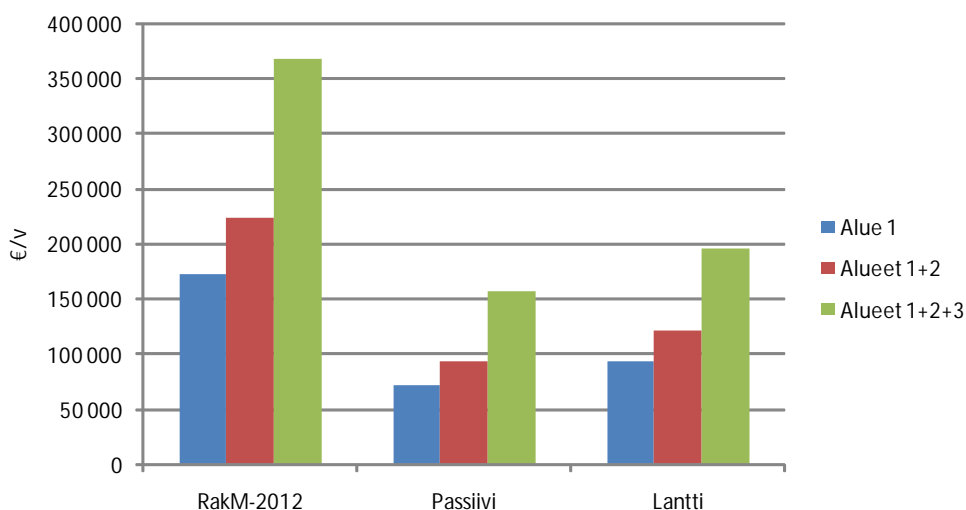
Kaukolämmön häviöt	RakM-2012		Passiivi		Lantti	
	MWh/v	%	MWh/v	%	MWh/v	%
Alue 1	96	3,2 %	94	8,9 %	94	6,4 %
Alueet 1+2	134	3,5 %	132	9,7 %	132	7,1 %
Alueet 1+2+3	292	4,9 %	289	14,1 %	289	10,4 %

### 3.1.2 Kustannukset

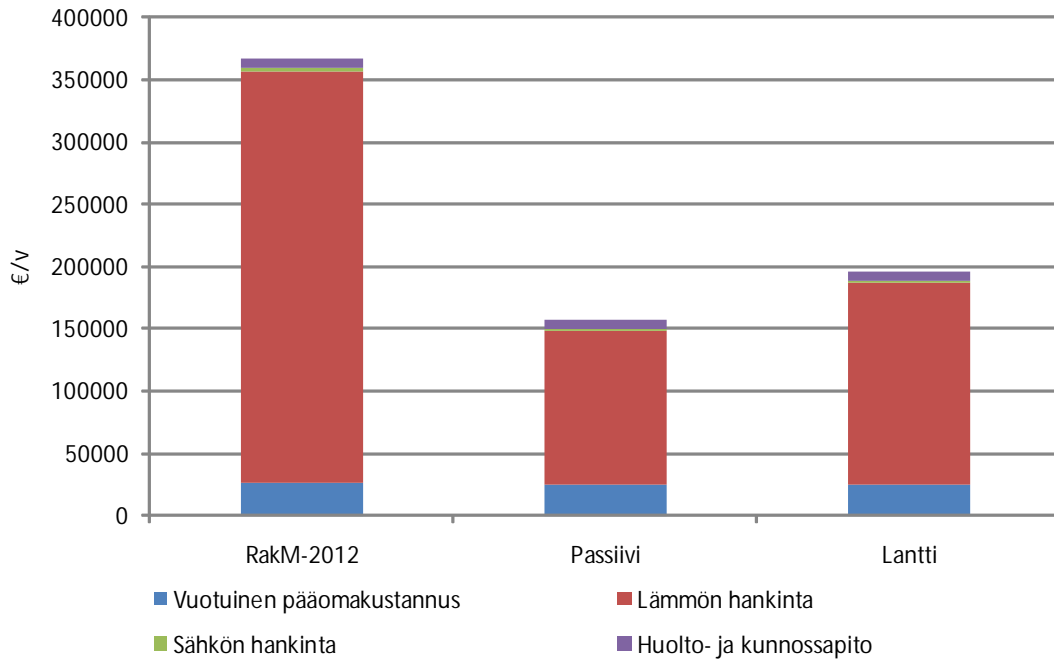
Kustannustarkastelussa on otettu huomioon sekä järjestelmän pääomakustannukset että vuotuiset käyttökustannukset. Pääomakustannukset sisältävät kaukolämpöverkon investoinnit (putkisto, maanrakennus, hitsaukset ja eristys). Pääomakustannukset on laskettu annuiteettimenetelmällä käyttäen 40 vuoden pitoaikaa ja 5 % korkokantaa. Alueen 1 kattavan kaukolämpöverkoston investointi on noin 140 000 €. Kun verkkoa laajennetaan alueelle 2, nousee investointi noin 200 000 €:oon ja alueelle 3 laajennettuna 440 000 €:oon. Rakennusten energiatehokkuuden parantuminen alentaa investointikustannuksia vain pari prosenttia.

Vuotuiset käyttökustannukset sisältävät lämmön hankinnan, pumppauksen vaatiman sähkön sekä huolto- ja kunnossapitokustannukset. Lämmön hankintahinta vaihtelee eri tapauksissa välillä 52,4 – 53,2 €/MWh. Pienet hintaerot johtuvat siitä, että lämmön hinta sisältää energiakomponentin lisäksi myös alueen kulutukselle jyvitetyn tehokomponentin.

Rakennusten energiatehokkuudella on suuri merkitys hankittavan lämmön määrään. Kuvassa 3.1 on esitetty eri alueiden vuotuiset kokonaiskustannukset kaukolämmöllä toteutettuna eri energiatehokkuustasoilla. Kuvassa 3.2 on puolestaan esitetty kustannusten tarkempi jakaantuminen, kun kaukolämpöverkko kattaa koko alueen. Jälkimmäisestä kuvasta voidaan nähdä, että muuttuvat kustannukset kattavat valtaosan (85–95 %) järjestelmän kokonaiskustannuksista. Energiatehokkaamman rakentamisen tapauksissa pääomakustannusten suhteellinen osuus on hiukan suurempi kuin RakM-2012 -tasolla.



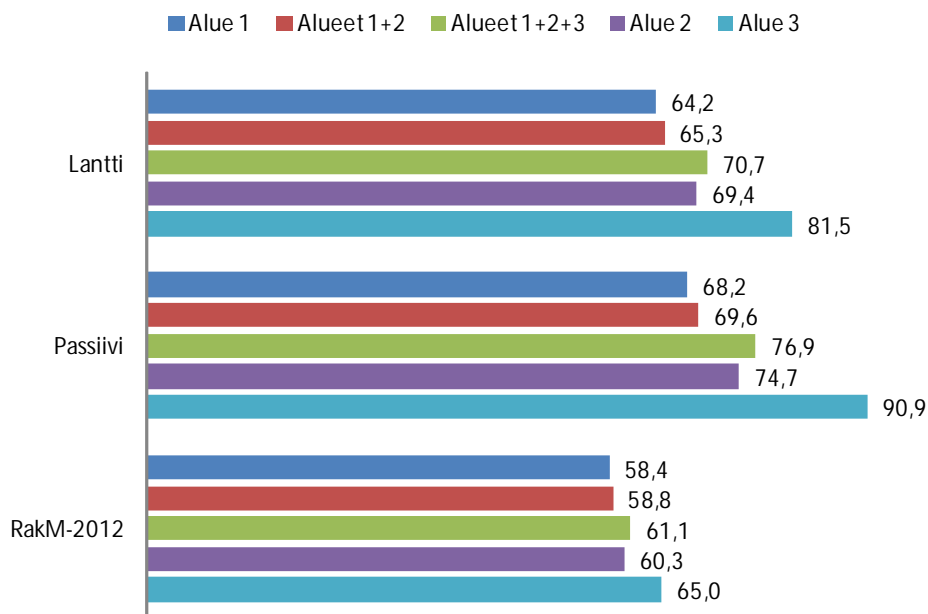
Kuva 3.1. Kaukolämmön vuotuiset kustannukset eri aluevaihtoehdoissa erilaisilla energiatehokkuuksilla.



Kuva 3.2. Kaukolämmön kokonaiskustannusten jakautuminen eri energiatehokkuustasoilla, kun kaukolämpöjärjestelmä kattaa koko alueen.

Kuvassa 3.3 on vertailtu eri ratkaisujen lämmön keskikustannuksia<sup>11</sup>. Vertailuun on otettu mukaan myös vaihtoehdot, joissa kaukolämpöverkko kattaisi pelkästään alueen 2 tai alueen 3. Näiden vaihtoehtojen keskikustannus on määritetty aluelaajennuksen marginaalikustannuksen perusteella. Alueen 2 keskikustannus on marginaalikustannus, joka syntyy kun alue 2 liitetään alueeseen 1. Alueen 3 keskikustannus syntyy liitettäessä alue 3 verkkoon, johon kuuluvat jo ennestään alueet 1 ja 2. Mikäli toteutettaisiin pelkästään yksittäinen alue 2 tai 3, olisi näiden keskikustannus todennäköisesti jonkin verran esitettyä korkeampi. Kuvasta nähdään, että kaukolämmön keskikustannus nousee selvästi, kun rakennusten energiatehokkuus paranee. Tämä johtuu siitä, että verkon pääomakustannukset energiayksikköä kohti kasvavat, kun lämpöenergian kulutus pienenee. Lisäksi kuvasta 3.3 voidaan havaita, että energiatehokkuuden ollessa RakM-2012 tasolla keskihinta nousee vain vähän verkon laajetessa. Passiivitalotasolla keskihinta kasvaa jo merkittävästi, kun verkko laajenee harvemmin rakennetuille alueille.

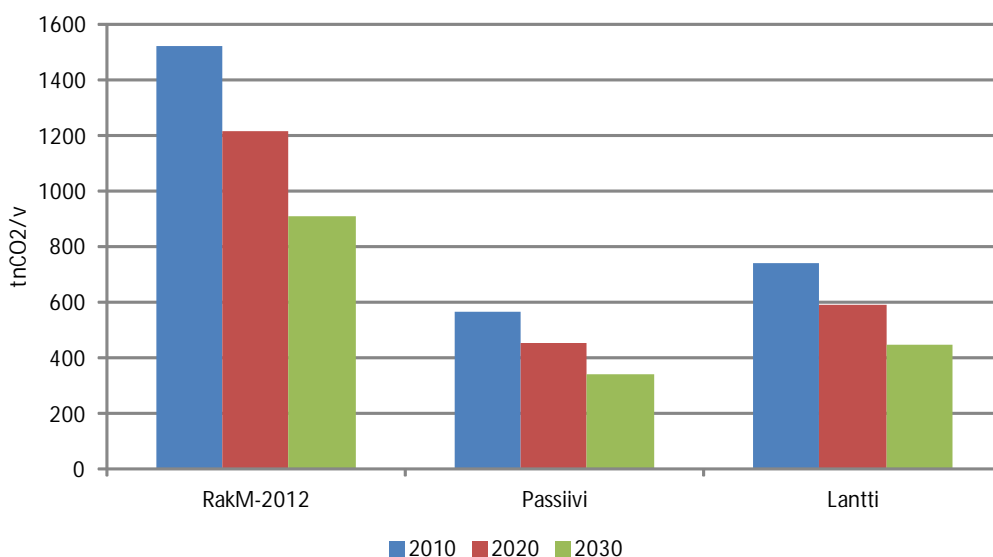
<sup>11</sup> Lämmön keskikustannus saadaan jakamalla vuotuiset kokonaiskustannukset (€/v) alueen lämmöntarpeella (MWh/v).



Kuva 3.3. Kaukolämmön keskekustannukset (€/MWh) kaukolämpöverkon laajuuden mukaan eri energiatehokkuustasoilla.

### 3.1.3 Hiilijalanjälki

Kaukolämpöjärjestelmän vuotuinen hiilijalanjälki koko alueella on esitetty kuvassa 3.4. Kuvassa on tarkasteltu hiilijalanjälkeä vuosina 2010, 2020 ja 2030 eri energiatehokkuustasoilla. Kuvasta havaitaan, että hiilijalanjälki on suoraan verrannollinen alueella kulutettuun energiamäärään. Vuoteen 2020 mennessä hiilijalanjälki pienenee noin 20 % ja vuoteen 2030 mennessä 40 %. Kehitys noudattelee Tampereen kaukolämmön ominaispäästöjen kehitystä.



Kuva 3.4. Kaukolämmön hiilijalanjäljen kehittyminen koko alueella eri energiatehokkuustasoilla.



## 3.2 Kevytkaukolämpö

### 3.2.1 Järjestelmän kuvaus ja mitoitus

Kevennetty kaukolämpöjärjestelmä toteutetaan matalalämpötilaisena verkkona siten, että alueen reunalle rakennetaan lämmönvaihdkeskus, joka siirtää korkeampilämpöisestä pääverkosta lämpöä alueelle. Lämmönvaihdkeskus sisältää rakennuksen, lämmönvaihtimen sekä pumpun, joka huolehtii veden kierrosta alueella. Lämpöverkko toteutetaan muoviputkitekniikalla, jossa putkimateriaali kestää hetkellisesti 95 °C:n lämpötilan<sup>12</sup>. Lämpöverkon pituus on sama kuin perinteisen kaukolämmön tapauksessa<sup>13</sup>. Putkien halkaisijat ja häviöt, samoin kuin verkon pumppaustehon tarve poikkeavat perinteisestä kaukolämmöstä, koska verkoston lämpötilataso on alhaisempi. Taulukossa 3.3 on esitetty kevennetyn kaukolämpöratkaisun häviöt eri alueilla ja eri energiatehokkuustasoilla. Laskelmissa on käytetty oletuksena, että menoveden lämpötila on 70 °C ja paluuveden 40 °C. Huolimatta alemmasta lämpötilatasosta häviöt ovat suuremmat kuin perinteisessä kaukolämmössä. Tämä johtuu siitä, että muoviputkien eristys on heikompi kuin uuden suosituksen (L1/2010) mukaan rakennetuilla perinteisillä kaukolämpöputkilla

Taulukko 3.3. Kevennetyn kaukolämmön häviöt eri alueilla ja eri energiatehokkuustasoilla.

Kevytkaukolämmön häviöt	RakM-2012		Passiivi		Lantti	
	MWh/v	%	MWh/v	%	MWh/v	%
Alue 1	167	5,6 %	159	15,0 %	159	10,9 %
Alueet 1+2	224	5,9 %	210	15,6 %	210	11,3 %
Alueet 1+2+3	446	7,4 %	432	21,1 %	432	15,5 %

### 3.2.2 Kustannukset

Kevennetyn kaukolämpöjärjestelmän pääomakustannukset sisältävät lämpöverkon investointien lisäksi lämmönvaihdkeskuksen investoinnit. Pääomakustannukset on laskettu annuiteettimenetelmällä käyttäen 40 vuoden pitoaikaa ja 5 % korkokantaa, kuten perinteisen kaukolämmön tapauksessa. Alueen 1 kattavan lämpöverkkojärjestelmän kokonaisinvestointi on noin 126 000–142 000 €. Kun verkkoa laajennetaan alueelle 2, nousee investointi noin 169 000–204 000 €:oon ja alueelle 3 laajennettuna 342 000–380 000 €:oon.<sup>14</sup>

Laskelmissa on käytetty maanrakennuskustannusten keskihintana 50 €/m. Lämmönvaihdkeskuksen investointi alueelle 1 on 24 000–36 000 €, alueille 1 ja 2 yhteensä 26 000–42 000 € ja koko alueelle 31 000–57 000 €, rakennuskannan energiatehokkuudesta riippuen. Lämmönvaihdkeskuksen investointikustannuksena<sup>15</sup> on käytetty 20 €/kW (sis. lämmönvaihtimen ja kiertovesipumpun). Tä-

<sup>12</sup> Jatkuva lämpötila korkeintaan 80 °C. Referenssinä CALPEX-putkijärjestelmä, ks. esim. [www.pipesystems.com](http://www.pipesystems.com).

<sup>13</sup> Putkien yhteenlaskettu pituus on kuitenkin suurempi matalalämpötilaisessa verkossa, sillä suuremmissa osassa verkkoa meno- ja paluuesiputket eivät sisälly samaan elementtiin, vaan asennetaan rinnakkain kaivantoon.

<sup>14</sup> Investointikustannukset eivät sisällä putkiston liitososia tai muita putkitarvikkeita, kuten haaroitusosia. Kustannukset perustuvat järjestelmätoimittajalta saatuu tarjoukseen.

<sup>15</sup> Investointikustannus on arvioitu käyttäen eri lähteitä; ks. esim. Hirvonen M. Uudisrakennusalueen lämmitysratkaisujen valinta - tulevaisuuden haasteet ja niihin vastaaminen. 2010.

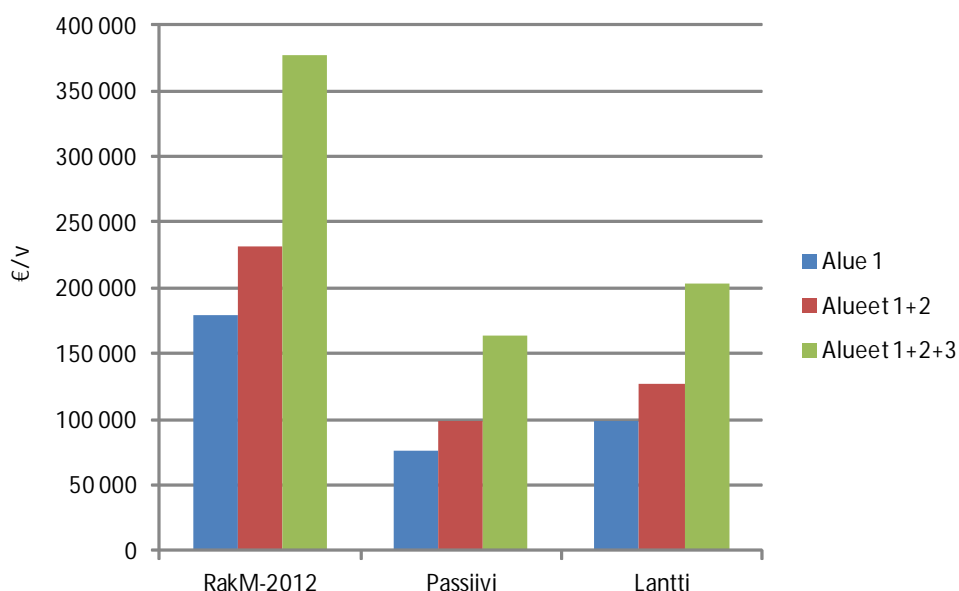


män lisäksi lämmönvaihdinrakennuksen kustannuksena on laskennassa käytetty arvoa 16 000 €; kustannus muodostuu rakennusmateriaaleista, työstä sekä sähköliittymäinvestoinnista.

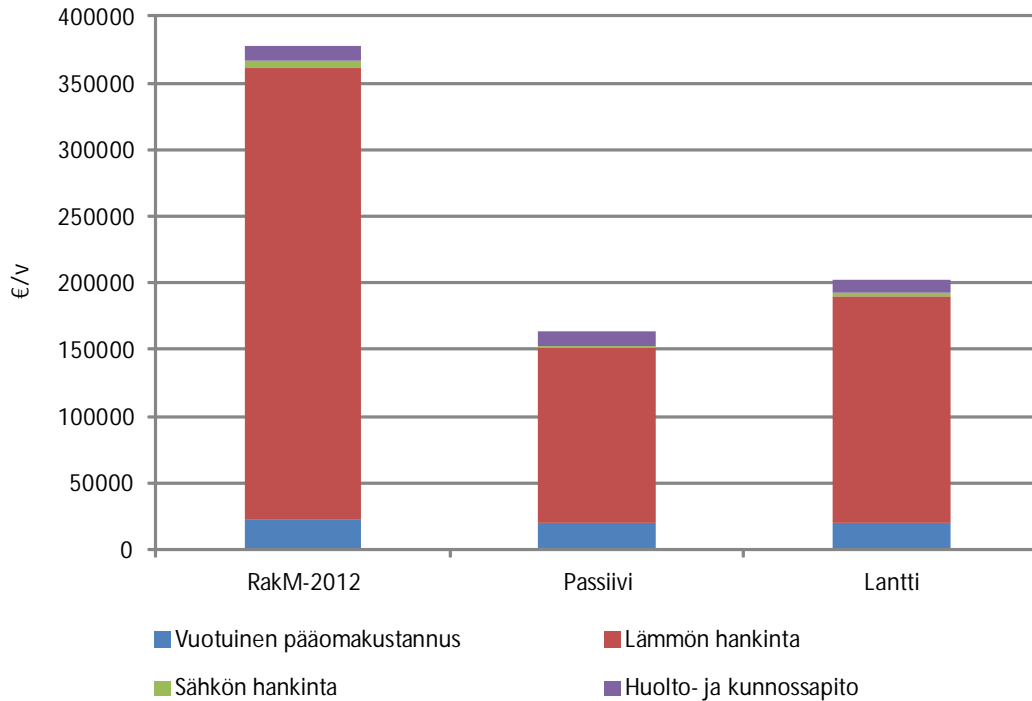
Vuotuiset käyttökustannukset sisältävät lämmön hankinnan, pumppauksen vaatiman sähkön sekä huolto- ja kunnossapitokustannukset. Lämmön hankintahinta on sama kuin perinteisessä kaukolämmössä. Lämmönvaihdinrakennuksen mahdollista tonttivuokraa ei ole huomioitu laskennassa. Huolto- ja kunnossapitokustannukset on oletettu 30 % suuremmiksi kuin perinteisessä kaukolämpöverkossa, johtuen lämmönvaihtimen ja kiertovesipumpun ylläpidosta. Pumppauksen vaatiman sähkön vuotuiset kustannukset on oletettu kaksi kertaa suuremmiksi kuin perinteisessä vaihtoehdossa.

Kevennetyssä kaukolämpöverkossa putkiston materiaali- ja maanrakennustyöt ovat noin 20–30 % alhaisemmat perinteiseen kaukolämpöverkkoon verrattuna. Kun otetaan huomioon investoinnit lämmönvaihdinrakennukseen, kapenee ero vaihtoehtojen välillä kustannusnäkökulmasta kuitenkin selvästi; kevytkaukolämpö muodostuu joissakin tilanteissa jopa hiukan kalliimmaksi vaihtoehdoksi kuin perinteinen kaukolämpö. Huomattava käytännön ero matalalämpötilaisen ja perinteisen kaukolämpöverkon välillä on verkon lämpöhäviöt, jotka ovat matalalämpötilaisessa verkossa korkeammat. Tämä on selitettävissä sillä, että myös perinteisen kaukolämpöverkon lämpötila on Tampereella melko alhainen ja lisäksi uudet kaukolämpöjohto- ja liitoksia koskevat suositukset (L1/2010) lisäävät teräksistä valmistettujen kaukolämpöjohtojen eristävyttä.

Kuvassa 3.5 on esitetty eri alueiden vuotuiset kokonaiskustannukset kaukolämmöllä toteutettuna eri energiatehokkuustasoilla. Kuvassa 3.6 on puolestaan esitetty kustannusten tarkempi jakaantuminen, kun kaukolämpöverkko kattaa koko alueen. Verrattuna perinteiseen kaukolämpöön, kevytkaukolämmön muuttuvat kustannukset hallitsevat vielä selkeämmin kokonaiskustannuksia. Pääomakustannusten osuus vuotuisista kokonaiskustannuksista on vain noin 4–12 %. Energiatehokkaamman rakentamisen tapauksissa pääomakustannusten suhteellinen osuus on suurempi kuin RakM-2012 -tasolla.



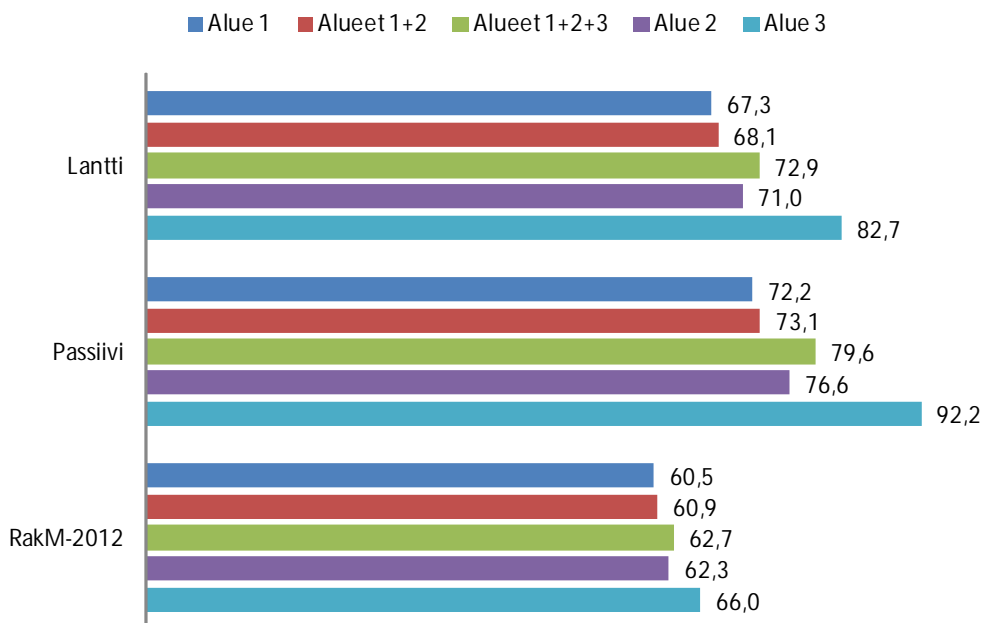
Kuva 3.5. Kevennetyn kaukolämmön vuotuiset kustannukset eri aluevaihtoehdoissa erilaisilla energiatehokkuuksilla.



*Kuva 3.6. Kevennetyn kaukolämmön kokonaiskustannusten jakautuminen eri energiatehokkuus-tasoilla, kun kaukolämpöjärjestelmä kattaa koko alueen.*

Kuvassa 3.7 on vertailtu eri ratkaisujen lämmön keskikustannuksia<sup>16</sup>. Vertailussa on mukana myös vaihtoehdot, joissa kaukolämpöverkko kattaisi pelkästään alueen 2 tai alueen 3. Näiden vaihtoehtojen keskikustannus on määritetty aluelaajennuksen marginaalikustannuksen perusteella vastaavalla tavalla kuin perinteisen kaukolämmön tapauksessa. Energiatehokkaamman rakennuskannan tapauksessa keskikustannus nousee selvästi, kuten kuvasta nähdään. Tämä johtuu siitä, että verkon pääomakustannukset energiayksikköä kohti kasvavat, kun lämpöenergian kulutus pienenee. Kuten perinteisen kaukolämmön tapauksessa, myös kevennetyssä kaukolämpöjärjestelmässä keskihinta nousee verkon laajetessa vain vähän, kun energiatehokkuus on RakM-2012 tasolla. Passiivitalotasolla keskihinta kasvaa jo merkittävästi, kun verkko laajenee alemman korttelitehokkuuden alueille.

<sup>16</sup> Lämmön keskikustannus saadaan jakamalla vuotuiset kokonaiskustannukset (€/v) alueen lämmöntarpeella (MWh/v).

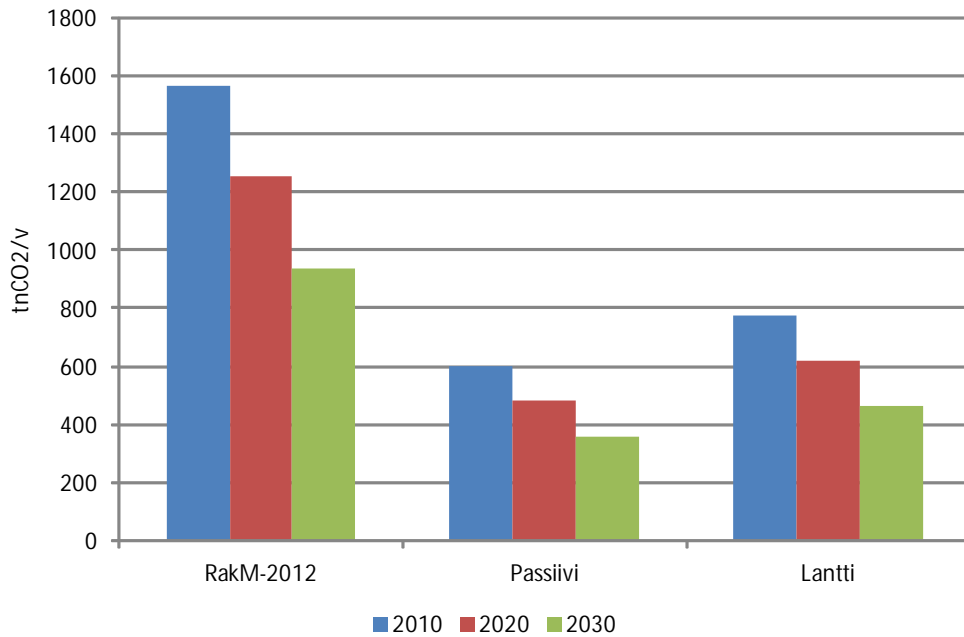


Kuva 3.7. Kevennetyn kaukolämmön keskikustannukset (€/MWh) kaukolämpöverkon laajuuden mukaan eri energiatehokkuustasoilla.

### 3.2.3 Hiilijalanjälki

Kevennetyn kaukolämpöjärjestelmän vuotuinen hiilijalanjälki koko alueella on esitetty kuvassa 3.8. Kuvassa on tarkasteltu hiilijalanjälkeä vuosina 2010, 2020 ja 2030 eri energiatehokkuustasoilla. Hiilijalanjälki on suoraan verrannollinen alueella kulutettuun energiamäärään eikä poikkea kehitykseltään perinteisen kaukolämmön aiheuttamasta hiilijalanjäljestä. Vuoteen 2020 mennessä hiilijalanjälki pienenee noin 20 % ja vuoteen 2030 mennessä 40 %. Koska lämpö siirretään kevytkaukolämpöverkkoon suoraan pääverkosta, noudattelee kehitys Tampereen kaukolämpötuotannon ominaispäästöjen kehitystä.





Kuva 3.8. Kevennetyn kaukolämmön hiilijalanjäljen kehittyminen koko alueella eri energiatehokkuus-tasoilla.

### 3.3 Korttelikohtainen maalämpö

#### 3.3.1 Järjestelmän kuvaus ja mitoitus

Maalämpöjärjestelmä toteutetaan siten, että alueelle asennetaan kuusi kortteliryhmäkohtaista maanlämpöjärjestelmää. Näistä kolme tulee kerrostaloalueelle alueen kaakkoisosaan (alue 1), yksi rivitaloalueelle alueen länsiosaan (alue 2) ja kaksi pohjoisosaan (alue 3). Kaikki maalämpöjärjestelmät tehdään täystehomitoituksella. Kunkin maalämpökeskuksen mitoitus on tehty arvioidun lämmöntarpeen huipputehon<sup>17</sup> mukaan, joka riippuu rakennusten energiatehokkuudesta (ks. taulukko 3.4). Maalämpöpumppuyksiköiden koot vaihtelevat 115 ja 410 kW:n välillä riippuen alueesta ja rakennusten energiatehokkuudesta. Lämpöpumppuyksiköt koostuvat lähtökohtaisesti useasta rinnakkaisesta pumppumoduulista. Yksittäisten pumppujen vikaantuessa lämpö tuotetaan pumpun korvaavilla sähkövastuksilla tai sähkökattilalla, joka sisältyy pumppuyksikköön. Mahdollinen vikaantuminen lisäisi näin ollen sähkönkulutusta hetkellisesti. Laskelmissa on kuitenkin oletettu, ettei sähkövastuksia tai kattilaa tarvitsisi käyttää tai niiden merkitys olisi kokonaisuudessa vähäinen.

Koukkurannan maaperästä porakaivoilla saatavissa oleva lämpöteho on arvioitu olevan 30 W/m. Tavallisesti hyödynnettävissä oleva lämpöteho vaihtelee 10 ja 40 W/m:n välillä, riippuen ennen

<sup>17</sup> Huomioidaan sekä tilojen että käyttöveden lämmityksen huipputeho. Käyttöveden lämmityksen huipputeho on oletettu olevan kaksi kertaa suurempi kuin keskiteho (ks. taulukot 2.4 ja 2.5).

kaikkea maaperän rakenteesta<sup>18</sup>, kohteen maantieteellisestä sijainnista, porakaivon syvyydestä sekä mahdollisista pohjavesivirtauksista. Korkeampiin lämpötehoihin voidaan päästä vesistölämpösoveluksissa sekä syöttämällä maaperään lämpöä esimerkiksi aurinkokeräimiltä, jolloin maaperä "latautuu" silloin, kun kohteen lämmöntarve on pienimmillään<sup>19</sup>.

Taulukko 3.4. Maalämpöpumppujärjestelmien lämpötehot.

Alue		Kerrosala (kem2)	Huipputeho (kW)		
			RakM	Passiivi	Lantti
Alue 1 - kerrostalot A	MLP 1	10 403	333	133	181
Alue 1 - kerrostalot B	MLP 2	10 403	333	133	181
Alue 1 - kerrostalot C	MLP 3	10 403	333	133	181
Alue 2 - rivitalot	MLP 4	8 320	282	115	146
Alue 3 - rivitalot	MLP 5	10 050	344	141	179
Alue 3 - pientalot	MLP 6	9 620	410	134	167
Yhteensä		59 200	2035	788	1036

Kerrostaloalueelle (alue 1) tehdään koko alueen kattava maalämpöverkosto, johon liitetään kolme maalämpöpumppuyksikköä. Alueelle 2 tehdään oma verkko, johon tulee yksi lämpöpumppuyksikkö. Alueelle 3 tehdään kaksi erillistä verkkoa, joista toinen palvelee rivitaloaluetta ja toinen pientaloaluetta. Molemmista verkoissa on yksi lämpöpumppuyksikkö. Kuvassa 3.9 on esitetty lämpöpumppuyksiköiden sijainnit. Lämmönjakoverkoston linjausten ja mitoituksen osalta noudatetaan samoja periaatteita kuin kevyen kaukolämmön osalta. Alueiden välisiä putkiyhteyksiä ei kuitenkaan toteuteta; tästä johtuen koko Koukkurannan alueelle toteutetun maalämpöverkon putkimateriaali- ja maanrakennuskustannukset sekä verkon lämpöhäviöt ovat alhaisemmat kuin kaukolämpöverkon tapauksessa.

<sup>18</sup> Koukkurannan maaperä koostuu pääosin moreenista, saraturpeesta ja kalliosta. Mahdollisimman hyvän lämmöntuoton varmistamiseksi porakaivot tulisi sijoittaa kallioalueille. Myös vesistölämmön hyödyntäminen alueella on mahdollista.

<sup>19</sup> Kesäkuukausina lämpökaivot latautuvat myös, mikäli pumppuja käytetään kohteen jäähdytykseen. Tällöin pumppauskierron suunta vaihtuu, eli kohde luovuttaa lämpöä sen kulutuksen sijasta. Jäähdytystä ei kuitenkaan tarkastella tässä selvityksessä.





Kuva 3.9. Maalämpöverkostot ja lämpöpumppuasemien sijainnit.

Porakaivojen keskimääräinen syvyys on oletettu olevan 250 metriä. Kaivot porataan pumppuyksiköiden välittömään läheisyyteen siten, että kaivojen välinen etäisyys on 15 metriä. Lämpö kerätään keskitetysti maaperästä ja siirretään aluekohtaiseen verkkoon, jonka rakenne on vastaava kuin kevytkaukolämmön tapauksessa. Taulukossa 3.5 on esitetty tiedot porakaivoista eri alueilla rakennuskannan eri energiatehokkuustasoilla. Taulukossa esitetyt pinta-alat ovat suuntaa antavia ja riippuvat täysin porakaivojen sijoittelusta, joka taas on riippuvainen maaston ominaisuuksista. Koukkurannan kaava-alueen kokonaispinta-ala on 23,3 hehtaaria, joten lämpökaivojen vaatima pinta-ala koko alueen kattavassa järjestelmässä olisi tästä arviolta 5–20 %, riippuen rakennuskannan energiatehokkuustasosta.

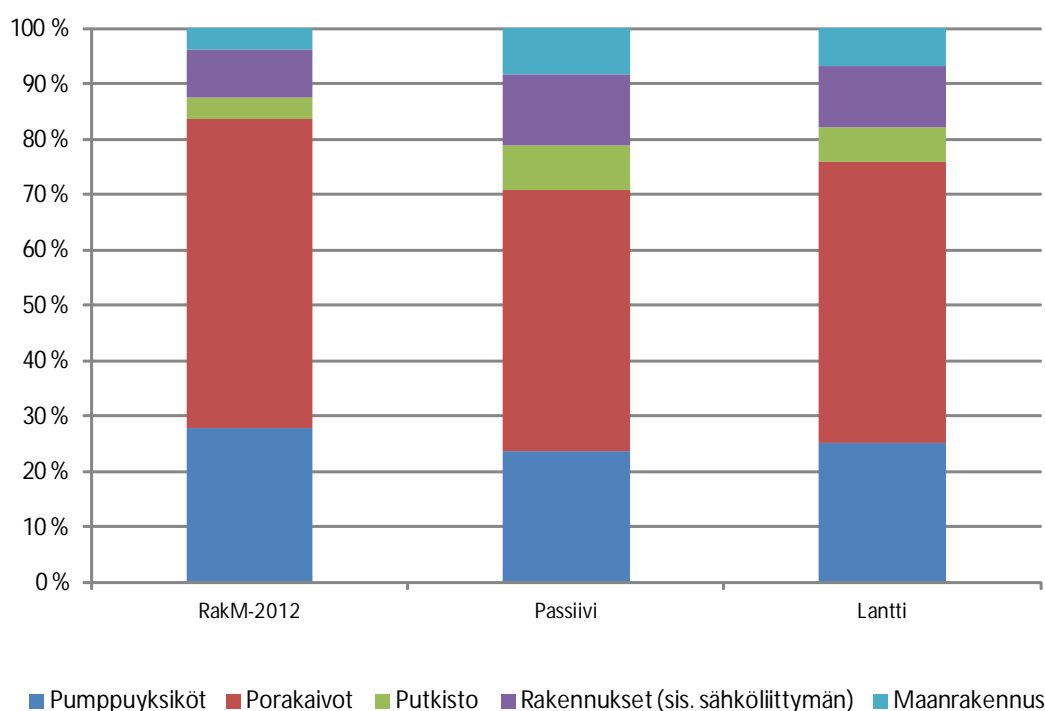
Taulukko 3.5. Maalämpöjärjestelmän porakaivojen tiedot.

Alue		Porakaivojen syvyys yhteensä (m)			Porakaivojen lkm			Vaadittava pinta-ala (ha)		
		RakM	Passiivi	Lantti	RakM	Passiivi	Lantti	RakM	Passiivi	Lantti
Alue 1 - kerrostalot A	MLP 1	11 107	4 425	6 044	44	18	24	0,70	0,23	0,34
Alue 1 - kerrostalot B	MLP 2	11 107	4 425	6 044	44	18	24	0,70	0,23	0,34
Alue 1 - kerrostalot C	MLP 3	11 107	4 425	6 044	44	18	24	0,70	0,23	0,34
Alue 2 - rivitalot	MLP 4	9 384	3 836	4 877	38	15	20	0,59	0,18	0,27
Alue 3 - rivitalot	MLP 5	11 467	4 703	5 969	46	19	24	0,74	0,25	0,34
Alue 3 - pientalot	MLP 6	13 669	4 464	5 554	55	18	22	0,92	0,23	0,29
Yhteensä		67 842	26 278	34 532	271	105	138	4,35	1,35	1,92



### 3.3.2 Kustannukset

Kustannustarkastelussa on otettu huomioon sekä järjestelmän pääomakustannukset että vuotuiset käyttökustannukset. Pääomakustannukset sisältävät investoinnit lämpöpumppuyksiköihin ja yksiköitä suojaaviin rakennuksiin sekä lämmönsiirtoputkistoon. Pääomakustannukset on laskettu annuiteettimenetelmällä käyttäen pumppuyksiköille 20 vuoden pitoaikaa. Muiden investointikomponenttien (porakaivot, putkisto jne.) pitoaika on 40 vuotta. Laskennassa käytetty korkokanta on 5 %. Vuotuisten pääomakustannusten jakautuminen on esitetty kuvassa 3.10. Kuvasta nähdään, että pelkästään pääomakustannuksia tarkasteltaessa, on lämpökaivojen porauksella suhteellisesti suurin vaikutus investoinnin kannattavuuteen; pumppuyksiköt kattavat pääomakustannuksista 23–28 %.



Kuva 3.10. Maalämmön vuotuisten pääomakustannusten jakautuminen eri energiatehokkuustasoilla, kun maalämpöjärjestelmä kattaa koko alueen.

Alueen 1 kattavan maalämpöjärjestelmän kokonaisinvestointi on noin 0,62–1,35 M€. Kun verkkoa laajennetaan alueelle 2, on investointi noin 0,81–1,74 M€ ja alueelle 3 laajennettuna 1,30–2,81 M€.

Lämpöpumppuyksiköiden yhteenlaskettu investointi alueen 1 kattavan maalämpöverkon tapauksessa on noin 120 000–300 000 €. Kun verkkoa laajennetaan alueelle 2, nousee investointi noin 155 000–385 000 €:oon ja alueelle 3 laajennettuna 235 000–610 000 €:oon. Lämpöpumppuyksikön investointikustannuksena<sup>20</sup> on käytetty 300 €/kW (sis. kiertovesipumpun ja työn osuuden). Tämän lisäksi pumppuyksikkörakennuksen kustannuksena on laskennassa käytetty arvoa 20 000 €. Laskennassa on huomioitu myös rakennusten sähköistyksen (sähköliittymä ja liittymisjohdon rakentaminen) kustan-

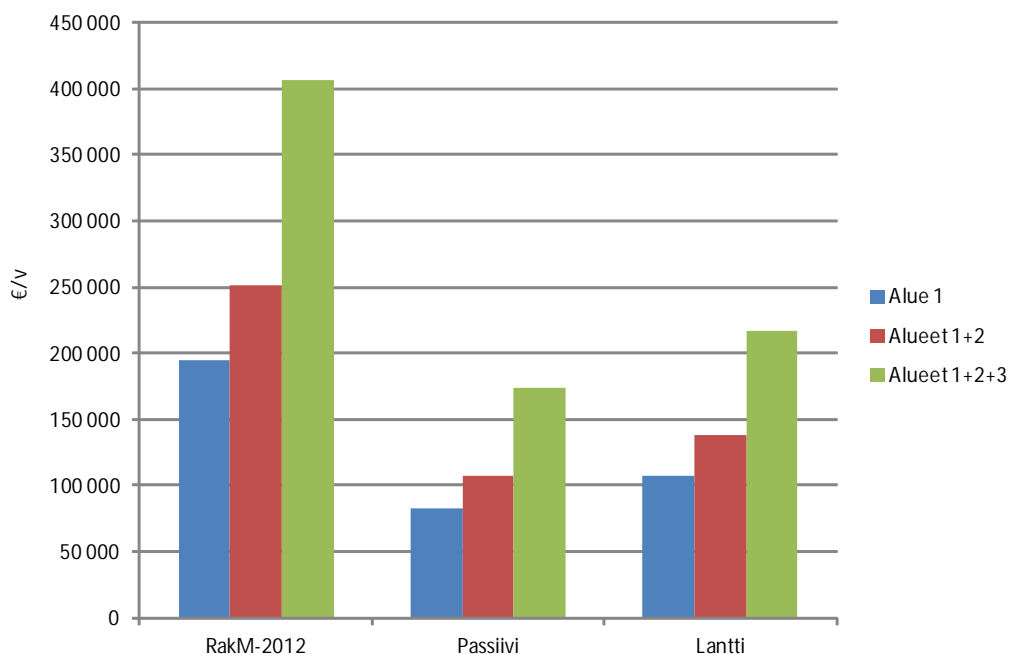
<sup>20</sup> Investointikustannus on arvioitu käyttäen eri lähteitä; ks. esim. Hirvonen M. Uudisrakennusalueen lämmitysratkaisujen valinta - tulevaisuuden haasteet ja niihin vastaaminen. 2010 ja Nieminen J., Heimonen I. Vuores - Koukkujärvi Energiavaihtoehtojen tarkastelu ([www.tampere.fi/ytoteto/aka/nahtavillaolevat/8263/selvitykset/8263\\_energiavaihtoehtoja.pdf](http://www.tampere.fi/ytoteto/aka/nahtavillaolevat/8263/selvitykset/8263_energiavaihtoehtoja.pdf)).



nus, joka riippuu pumppuyksikön tehosta ja vaihtelee tässä 9 000 ja 26 000 euron välissä per rakennus. Lämmönsiirtoputkiston materiaalikustannus<sup>21</sup> alueelle 1 on 42 000–45 000 €, alueet 1 ja 2 kattavana kustannus on 55 000–61 000 € ja kaikki alueet kattavana 110 000–120 000 €. Myös maanrakennustyö ja lämpökaivojen poraus on huomioitu laskennassa siten, että maanrakennuskustannusten keskihinta on 50 €/m ja porauksen 25 €/m.

Vuotuiset käyttökustannukset sisältävät lämpöpumppujen ja kiertovesipumppujen käyttämän sähkön hankinnan sekä huolto- ja kunnossapitokustannukset. Lämpöpumppujen tarvitseman sähkön hintana on käytetty 100 €/MWh<sup>22</sup> ja vuotuisena keskimääräisenä lämpökertoimena (COP) arvoa 3,0. Tällöin lämmön laskennallinen hankintahinta on 33,3 €/MWh. Pumppuyksikkörakennuksen mahdollista tonttivuokraa ei ole huomioitu laskennassa. Huolto- ja kunnossapitokustannusten on oletettu 50 % suuremmiksi kuin perinteisessä kaukolämpöverkossa, johtuen lämpö- ja kiertovesipumppujen ylläpidosta. Kiertovesipumppauksen vaatiman sähkön vuotuiset kustannukset on oletettu samansuuruisiksi kuin kevennetyssä kaukolämpöverkossa.

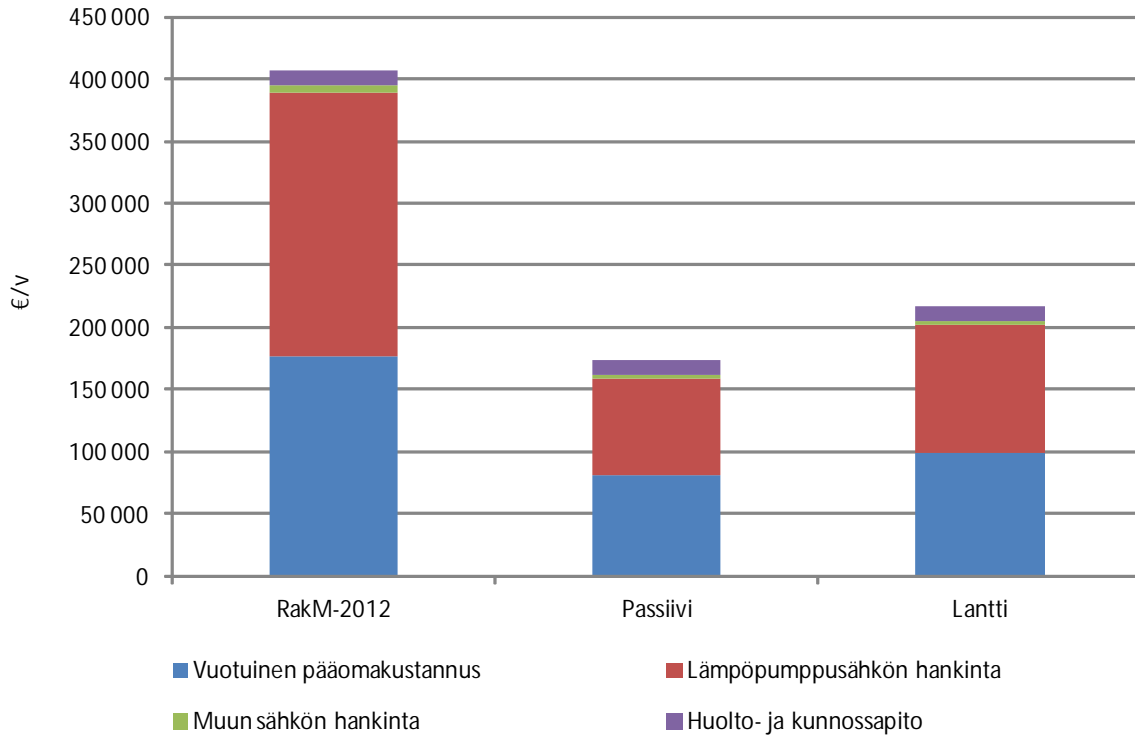
Kuvassa 3.11 on esitetty eri alueiden vuotuiset kokonaiskustannukset maalämmöllä toteutettuna eri energiatehokkuustasoilla. Kuvassa 3.12 on puolestaan esitetty kustannusten tarkempi jakaantuminen, kun koko alueen lämmöntarve katetaan maalämmöllä. Jälkimmäisestä kuvasta nähdään, että toisin kuin kaukolämpövaihtoehdoissa, ovat maalämpöjärjestelmän vuotuiset pääomakustannukset merkittävät. Pääomakustannusten osuus vuotuisista kokonaiskustannuksista on noin 45 %.



Kuva 3.11. Maalämmön vuotuiset kustannukset eri aluevaihtoehdoissa erilaisilla energiatehokkuuksilla.

<sup>21</sup> Kustannukset perustuvat järjestelmätoimittajalta saatuun tarjoukseen.

<sup>22</sup> Hinta sisältää energiamaksun, siirtopalvelumaksun, sähköveron sekä huoltovarmuusmaksun (alv 0 %).

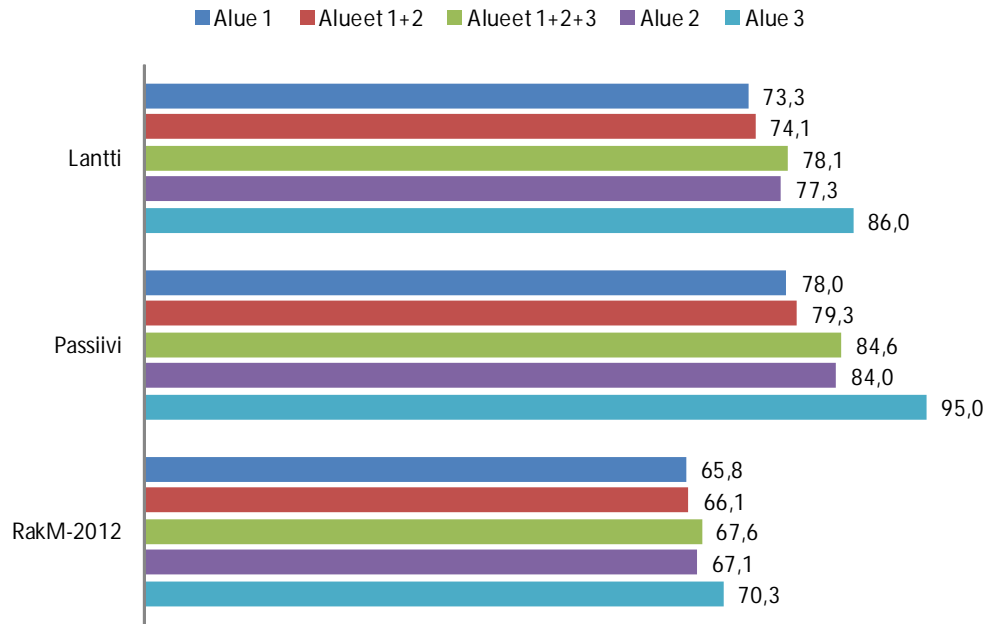


Kuva 3.12. Maalämmön kokonaiskustannusten jakautuminen eri energiatehokkuustasoilla, kun maalämpöjärjestelmä kattaa koko alueen.

Kuvassa 3.13 on vertailtu eri ratkaisujen lämmön keskikustannuksia<sup>23</sup>. Vertailussa on mukana myös vaihtoehdot, joissa maalämpöverkko kattaisi pelkästään alueen 2 tai alueen 3. Näiden vaihtoehtojen keskikustannus on määritetty aluelaajennuksen marginaalikustannuksen perusteella vastaavalla tavalla kuin edellä perinteisen ja kevennetyn kaukolämmön tapauksessa. Kuvan perusteella voidaan myös tehdä samansuuntaiset havainnot kuin kaukolämmössä. Ensinnäkin maalämmön keskikustannus nousee, kun rakennusten energiatehokkuus paranee. Kuvasta nähdään myös, että maalämpöjärjestelmässä keskihinta nousee RakM-2012 -tasolla verkon laajetessa vain vähän, kun taas passiivitalotasolla keskihinta kasvaa jo merkittävästi, kun verkko laajenee alemman korttelitehokkuuden alueille.

<sup>23</sup> Lämmön keskikustannus saadaan jakamalla vuotuiset kokonaiskustannukset (€/v) alueen lämmöntarpeella (MWh/v).

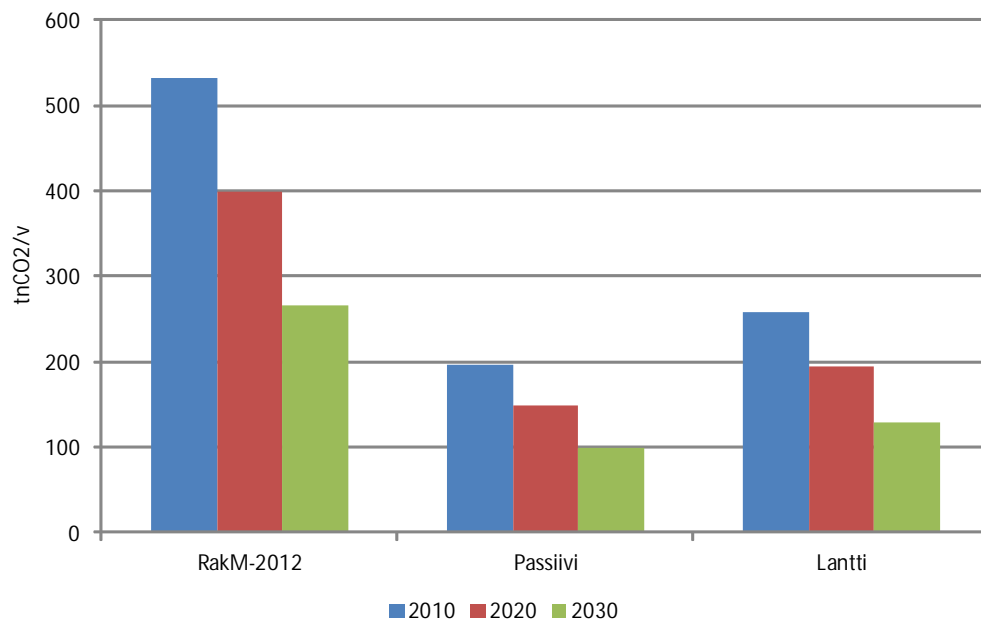




Kuva 3.13. Maalämmön keskikustannukset (€/MWh) maalämpöverkon laajuuden mukaan eri energiatehokkuustasoilla.

### 3.3.3 Hiilijalanjälki

Maalämpöjärjestelmän vuotuinen hiilijalanjälki koko alueella on esitetty kuvassa 3.14. Kuvassa on tarkasteltu hiilijalanjälkeä vuosina 2010, 2020 ja 2030 eri energiatehokkuustasoilla. Hiilijalanjälki on suoraan verrannollinen alueella kulutettuun sähköenergian määrään, jota kuluu sekä lämpö- että kiertovesipumpuissa. Vuoteen 2020 mennessä hiilijalanjälki pienenee noin 25 % ja vuoteen 2030 mennessä 50 %. Kehitys noudattelee kansallista sähköntuotannon ominaispäästöjen kehitystä.



Kuva 3.14. Maalämmön hiilijalanjäljen kehittyminen koko alueella eri energiatehokkuustasoilla.



## 3.4 Talokohtainen sähkölämmitys

### 3.4.1 Järjestelmän kuvaus ja mitoitus

Talokohtaista sähkölämmitystä tarkastellaan vain Lantti- ja passiivenergiatason osalta, joissa on oletettu olevan tehokas lämmön talteenottojärjestelmä (LTO). Rakentamismääräysten mukainen sähkölämmitteinen talo ei täytä minkään tarkasteltavan rakennustyyppin osalta E-lukuvaatimusta, jos se on alun perin suunniteltu kaukolämmöllä toteutettavaksi<sup>24</sup>. Tämä johtuu siitä, että kaukolämmön energiakerroin on 0,7 ja sähkön 1,7.

Sähkölämmitteisten talojen lämpimän käyttöveden kulutus ja lämmitystarve on oletettu samaksi kuin muissakin tarkastelluissa tapauksissa. Käyttövesi lämmitetään suoraan sähköllä, jolloin LTO alentaa sähkön nettotarvetta vain tilanlämmityksen osalta.

Sähkölämmityksen toteutusta tarkastellaan ensin pientaloalueelle (alue 3), sitten tiiviille rivi- ja ketjutalojen alueelle (alue 2) ja lopulta tiiviille kerrostaloalueelle (alue 1). Järjestys on valittu sillä perusteella, että sähkölämmitys on tarkastelluista alueista kilpailukykyisin pienen energiatihedyn omaavilla alueilla. Käytännössä tarkastelujärjestyksellä ei kuitenkaan ole merkitystä, sillä sähkölämmityksen kustannusrakenne ei mahdollista aluekohtaisten kustannuserojen syntymistä.

### 3.4.2 Kustannukset

Lämmön talteenottolaitteet ovat osa Lantti- ja passiivitalojen vakiovarusteita ja näin ollen laitteistoinvestointeja ei tarkastella erikseen. Tarkastelussa ei myöskään huomioida lämmönjakojärjestelmän kustannuksia (kuten ei muissakaan järjestelmissä) eikä huollosta ja kunnossapidosta aiheutuvia kustannuksia, jotka ovat osa rakennuksen normaaleja ylläpitokustannuksia.

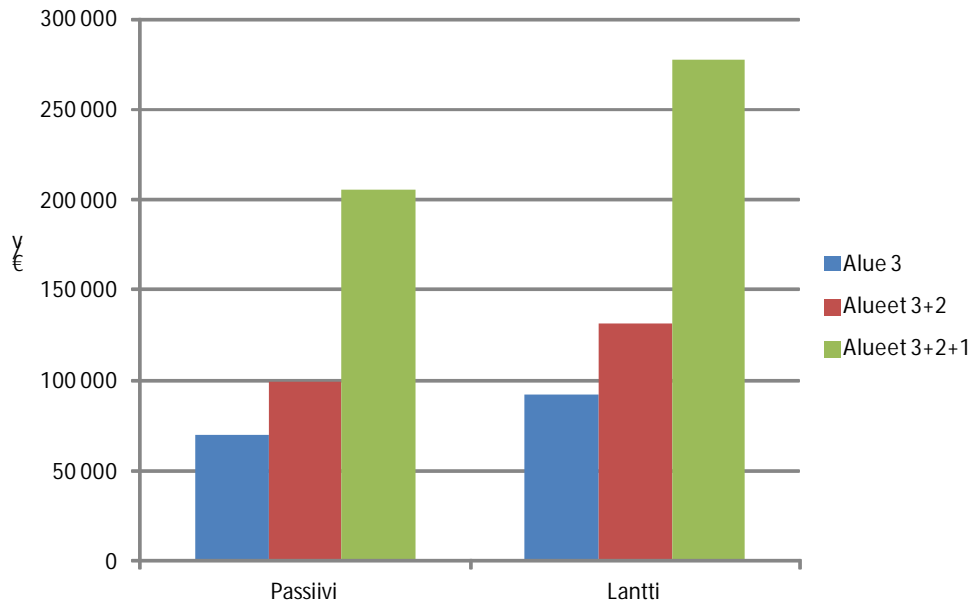
Vuotuiset käyttökustannukset sisältävät pelkästään sähkön hankinnan. Lämmityssähkön hintana laskennassa on käytetty arvoa 100 €/MWh<sup>25</sup> kaikille aluevaihtoehdoille sekä Lantti- että passiivenergiatalojen tapauksissa. Kuvassa 3.15 on esitetty eri alueiden vuotuiset kustannukset sähkölämmityksellä toteutettuna eri energiatehokkuustasoilla.

---

<sup>24</sup> Lämmön talteenoton hyötysuhteena käytetty arvoa 80 %.

<sup>25</sup> Hinta sisältää energiamaksun, siirtopalvelumaksun, sähköveron sekä huoltovarmuusmaksun (alv 0 %).

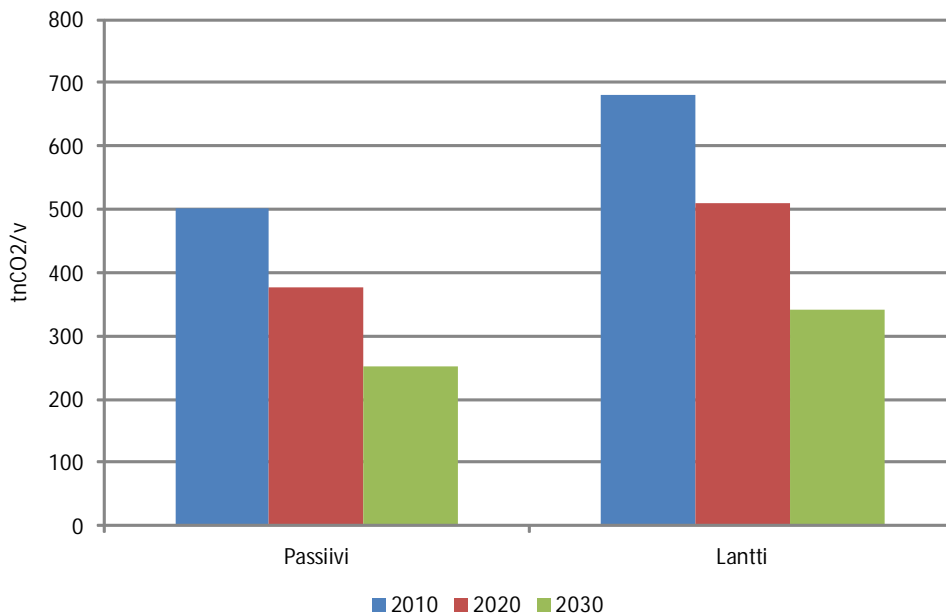




Kuva 3.15. Sähkölämmityksen vuotuiset kustannukset eri aluevaihtoehdoissa Lantti- ja passiivienergiatasoilla.

### 3.4.3 Hiilijalanjälki

Talokohtaisen sähkölämmitysjärjestelmän vuotuinen hiilijalanjälki koko alueella on esitetty kuvassa 3.16. Kuvassa on tarkasteltu hiilijalanjälkeä vuosina 2010, 2020 ja 2030 Lantti- ja passiivienergiatasoilla. Hiilijalanjäljen suuruus riippuu alueella kulutetusta energiamäärästä. Vuoteen 2020 mennessä hiilijalanjälki pienenee noin 25 % ja vuoteen 2030 mennessä 50 %. Kuten maalämmön tapauksessa, noudattelee kehitys kansallista sähköntuotannon ominaispäästökehitystä.



Kuva 3.16. Sähkölämmityksen hiilijalanjäljen kehittyminen koko alueella Lantti- ja passiivienergiatasoilla.



## 4 Lämpöjärjestelmien vertailu

### 4.1 Kustannukset

Puhtaasti kustannusnäkökulmasta tarkasteltuna perinteinen kaukolämpö on kilpailukykyisin lämmöntuotantoratkaisu Koukkurannan alueella riippumatta energiatehokkuuden tasosta. Kevytkaukolämpö on kustannuksiltaan hieman kalliimpi kuin perinteinen kaukolämpö. Kevyt kaukolämpöverkko on investointikustannuksiltaan halvempi kuin perinteinen kaukolämpöverkko, mutta suurempi pumppaustehon tarve ja isommat lämmönsiirron häviöt sekä järjestelmän huolto- ja kunnossapitokustannukset heikentävät sen kilpailukykyä perinteiseen kaukolämpöön verrattuna. Kaukolämpö kannattaa toteuttaa ainakin kerrostaloalueelle (alue 1). Myös verkon laajennus rivi- ja pientaloalueille (alueet 2 ja 3) on kaukolämpöjärjestelmien tapauksissa kustannustehokkaampi vaihtoehto kuin keskitetty maalämpö tai sähkölämmitys, kuten kuvat 4.1 – 4.3 osoittavat.

Pääomavaltainen maalämpöjärjestelmä on tutkittavista lämmöntuotantoratkaisuista kustannuksiltaan toiseksi kallein. Korttelikohtainen maalämpöjärjestelmä voi muodostua Koukkurannassa kilpailukykyiseksi vaihtoehdoksi ainoastaan siinä tapauksessa, että sen pääomakustannuksia pystytään pienentämään.

Sähkölämmitys on tarkasteltavista järjestelmistä keskikustannuksiltaan kallein toteutusvaihtoehto. Kun jätetään huomioimatta lämmönjakojärjestelmien (ilmalämmitys vs. vesikierto) kustannukset, on sähkölämmityksen keskikustannus korkein kaikille alueille kaikilla energiatehokkuustasoilla.

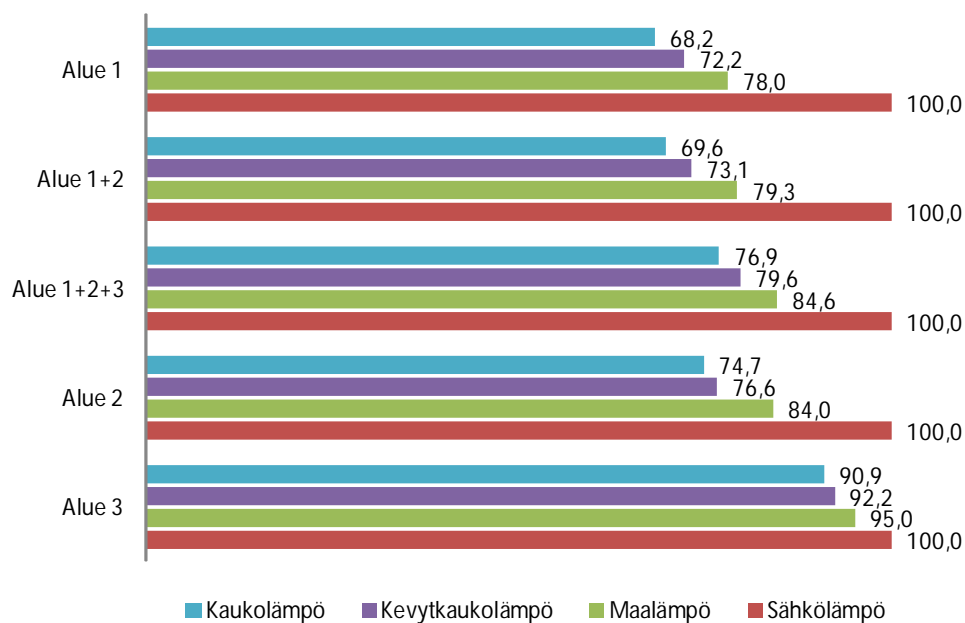
### RakM-2012



Kuva 4.1. Lämmöntuotantoratkaisujen keskikustannus alueen laajuuden mukaan RakM-2012 -energiatehokkuustasolla. Huom. Sähkölämmitysjärjestelmää ei voida toteuttaa RakM-2012 -tasolla, joten sen kustannukset eivät sisälly tähän kuvaan.

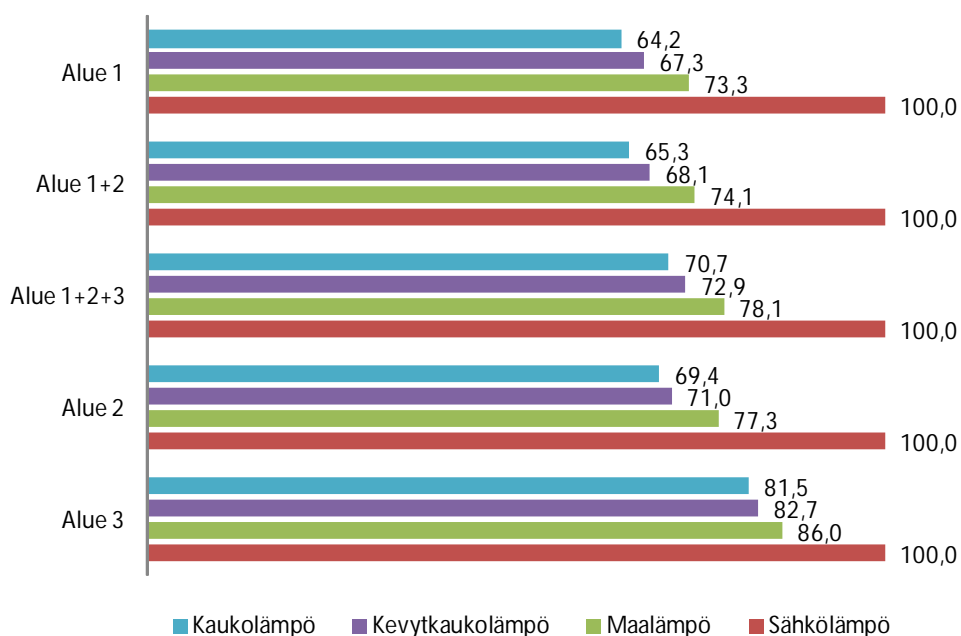


## Passiivi



Kuva 4.2. Lämmöntuotantoratkaisujen keskekustannus alueen laajuuden mukaan passiivienergiatasolla.

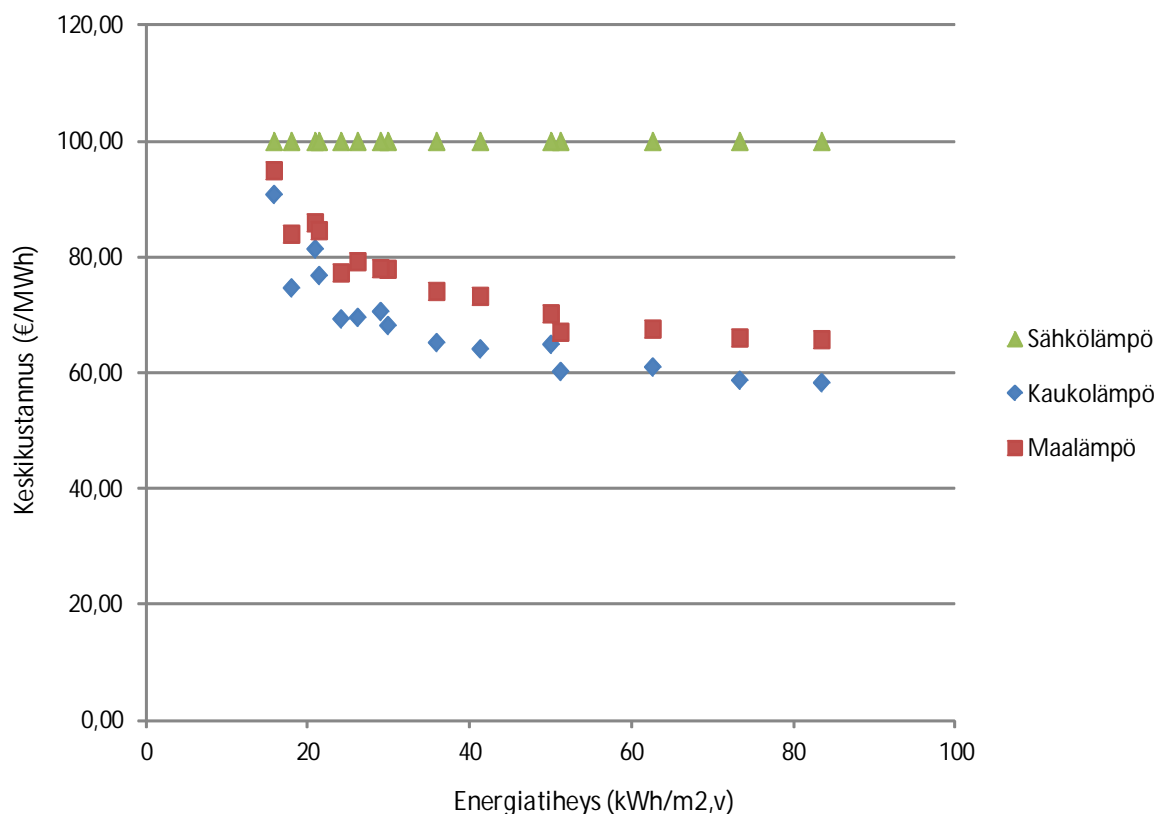
## Lantti



Kuva 4.3. Lämmöntuotantoratkaisujen keskekustannus alueen laajuuden mukaan Lantti-energiatehokkuustasolla.



Alueen energiatihyellä on suuri vaikutus lämmöntuotantoratkaisun kustannuksiin. Energiatiheyden ja lämmitysratkaisujen keskikustannusten välistä riippuvuutta on hahmoteltu kuvassa 4.4. Kauko- ja maalämmön tapauksessa keskikustannus pienenee, kun verkko kattaa tiiviin alueen, jonka lämmöntarve on suuri. Kuvassa on tarkasteltu pelkästään perinteistä kaukolämpöä, sillä kevytkaukolämpö muodostaa tämän kanssa lähes identtisen kuvaajan. Korttelikohtaisen maalämmön keskikustannukset muodostavat vastaavanmuotoisen pistejoukon kuin kaukolämpö. Kaikkien tarkasteltavien lämmitysmuotojen keskikustannuskäyrät näyttäisivät leikkaavan, kun alueen energiatiheys putoaa noin arvoon 15 kWh/m<sup>2</sup>.<sup>26</sup> Tästä alemmilla energiatihyöksillä sähkölämmitys alkaa olla kilpailukykyinen kauko- ja maalämmön kanssa.



Kuva 4.4. Eri lämmöntuotantoratkaisujen keskikustannus alueen energiatihyeden funktiona.

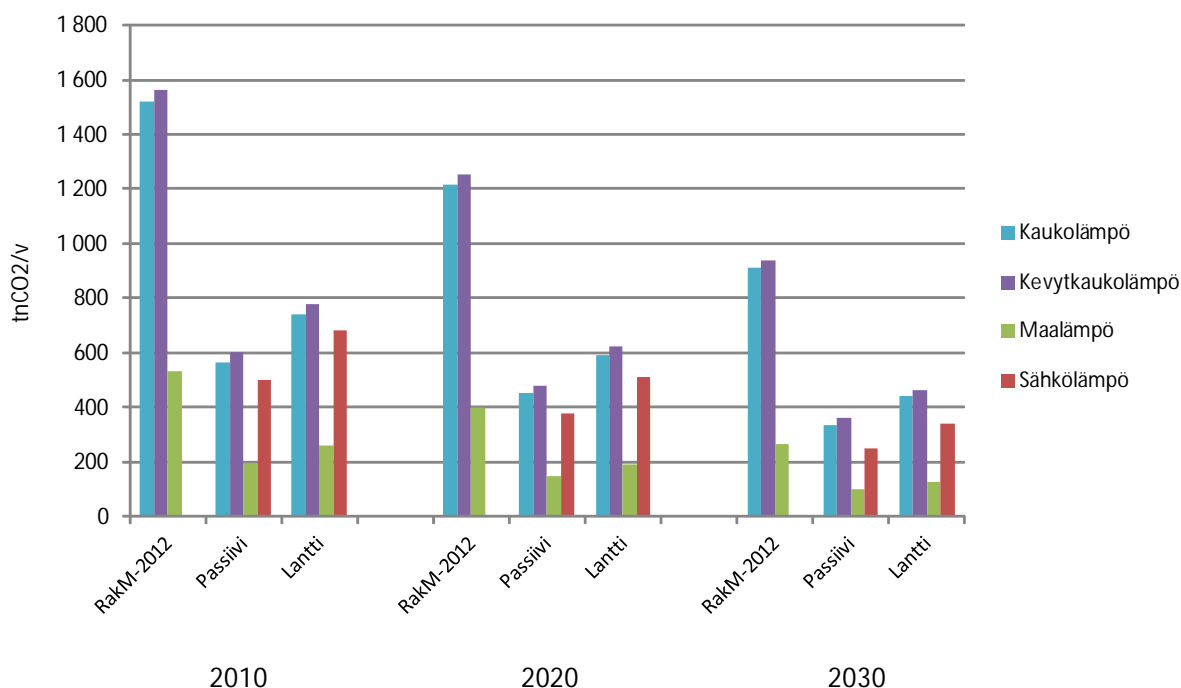
## 4.2 Hiilijalanjälki

Selvityksessä käytetyillä päästökertoimilla laskettuna maalämpö on hiilijalanjälkinäkökulmasta suotuisin lämmöntuotantoratkaisu (ks. kuva 4.5). Tarkasteltavien kaukolämpövaihtoehtojen hiilijalanjälki olisi nykyisillä päästökertoimilla noin kolme kertaa suurempi kuin maalämmöllä. Vuonna 2030 ero olisi vielä suurempi, johtuen siitä, että sähkön päästökertoimen on oletettu laskevan nopeammin kuin kaukolämmön päästökertoimen (ks. taulukko 3.1). Sähkölämmitysjärjestelmän vuotuiset päästöt olisivat nykypäästökertoimilla 6–14 % pienemmät kuin kaukolämmössä. Vuonna 2030 sähkö-

<sup>26</sup> Tämä tarkoittaa esimerkiksi passiivenergiataloja alueella, jonka korttelitehokkuus on alle 0,4.

lämmitys vähentäisi vuosittain alueen hiilijalanjälkeä noin 20–30 % verrattuna kaukolämpöön. Lisäämällä uusiutuvan energian osuutta kaukolämmön tuotannossa voidaan kuitenkin tarvittaessa saavuttaa alhaisempi hiilijalanjälki kaukolämpövaihtoehdossa.

Kuvasta 4.5 voidaan havaita myös energiatehokkuuden vaikutus hiilijalanjälkeen. Energiankulutuksen pienentäminen vaikuttaa suoraan hiilijalanjälkeen kussakin lämmitysvaihtoehdossa. Kuvasta voidaan myös havaita, että passiivien energiatasolla kaukolämmön hiilijalanjälki on lähes samansuuruisen kuin maalämmöllä RakM-2012 -tasolla.



Kuva 4.5. Hiilijalanjäljen kehittyminen vuosina 2010–2030 eri lämmitysjärjestelmissä ja energiatehokkuustasoilla, kun tietty järjestelmä kattaa koko Koukkurannan alueen.

Sähkö- ja maalämmön hiilijalanjälki ei ole kuitenkaan täysin vertailukelpoinen kaukolämmön hiilijalanjäljen kanssa. Mikäli alueella toteutetaan sähköpohjainen lämmitysjärjestelmä, vähentää tämä yhteistuotantosähkön tuotantopotentiaalia, jolloin erityisesti lämmityskaudella, kun sähkön tarve on suurin, tuotetaan lämmityssähkö pääosin hiiltä käyttävissä lauhdevoimalaitoksissa. Näissä huipputehoja tuottavissa yksiköissä sähkön päästökerroin ja tuotantokustannukset ovat usein korkeat verrattuna yhteistuotantosähköön.<sup>27</sup> Mikäli sähkön päästökertoimena käytettäisiin tässä esimerkiksi hiililauhdetuotannon kerrointa, olisi kaukolämpö tarkasteltavista lämmitysmuodoista päästöjen kannalta suotuisin vaihtoehto.

Yllä mainitut näkökulmat korostuvat myös erityisesti tulevaisuudessa sähköpohjaisten lämmitysmuotojen kustannuksien muodostumisessa, kun sähkön dynaaminen tuntipohjainen hinnoittelu yleistyy.

<sup>27</sup> Sähköpohjaisten lämmitysmuotojen päästöjä on tarkasteltu useissa tutkimuksissa; ks. esim. Heljo J., Nippala E., Nuuttila H. Rakennusten energiankulutus ja CO<sub>2</sub>-ekv päästöt Suomessa. 2005.

Tällöin sähkökäyttäjä maksaa kuluttamastaan sähköstä joka tunti tuotantokustannuksiin perustuva hintaa, joka on lämmityskaudella korkeampi kuin muina aikoina.

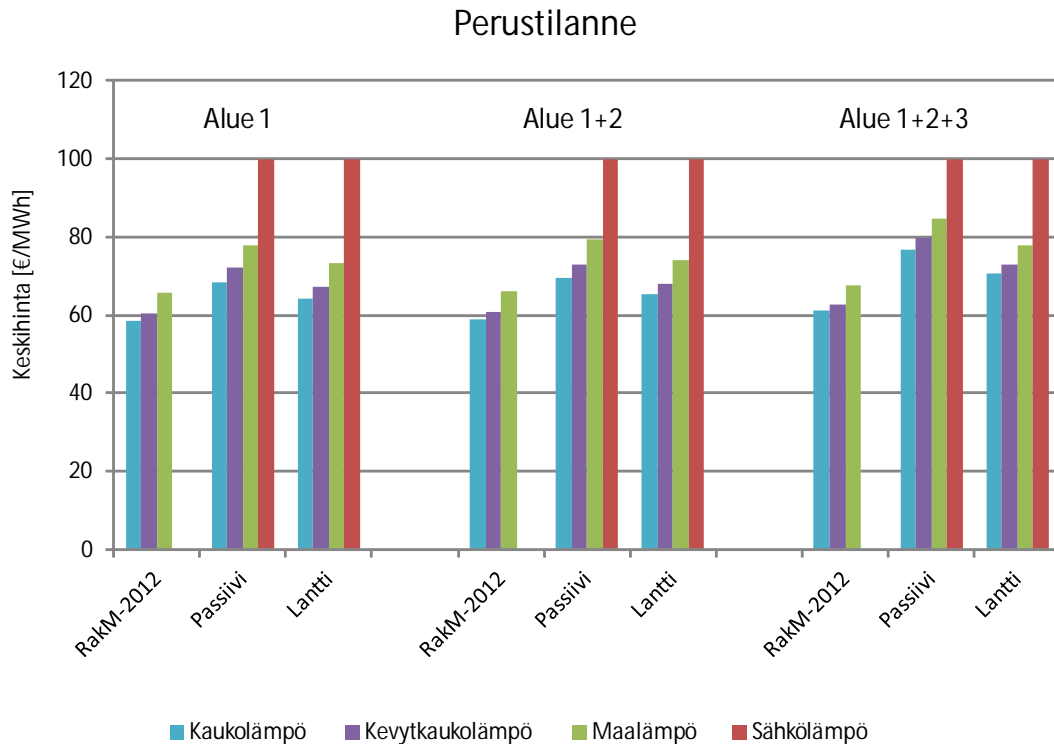
### 4.3 Herkkyystarkasteluja

Herkkyystarkastelut on tehty parametreille, joiden osalta on tunnistettu selkeää epävarmuutta. Tarkasteltavat parametrit ja niiden vaikutukset on esitetty taulukossa 4.1. Laskennan perustilanne on esitetty keskihintojen vertailun muodossa kuvassa 4.6.

*Taulukko 4.1. Herkkyystarkastelun parametrit.*

Herkkyystarkastelun kohde	Vaikutus kustannuksiin	Vaikutus hiilijalanjälkeen
Maaperän lämmöntuotto (perustilanteessa 30 W/m)	x	
Lämpökaivojen porauskustannus (perustilanteessa 25 €/m)	x	
Lämpöpumppujen investointikustannus (perustilanteessa 300 €/kW)	x	
Maalämpöjärjestelmän mitoitus (perustilanteessa täystehomitoitus)	x	x
Sähkön hinta (perustilanteessa 100 €/MWh)	x	
Sähkön päästökerroin (perustilanne esitetty taulukossa 3.1)		x
Lämmönsiirtoverkon pituus (perustilanteessa 685–2 810 m)	x	x



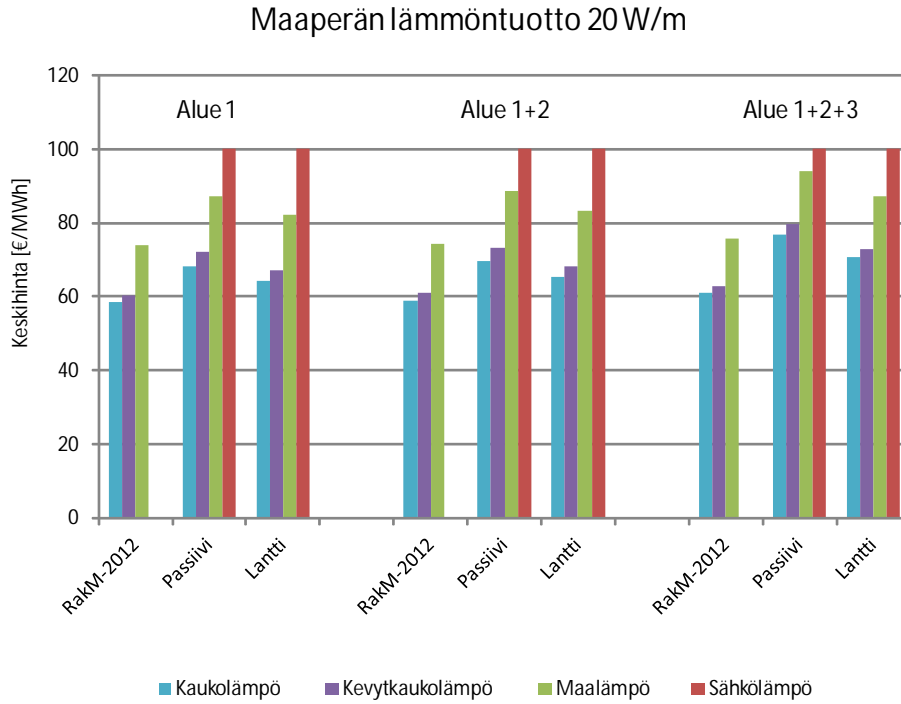


Kuva 4.6. Tarkasteltavien lämmöntuotantomuotojen keskihintojen vertailu perustilanteessa alueen laajuuden mukaan eri rakennuskannan energiatehokkuustasoilla.

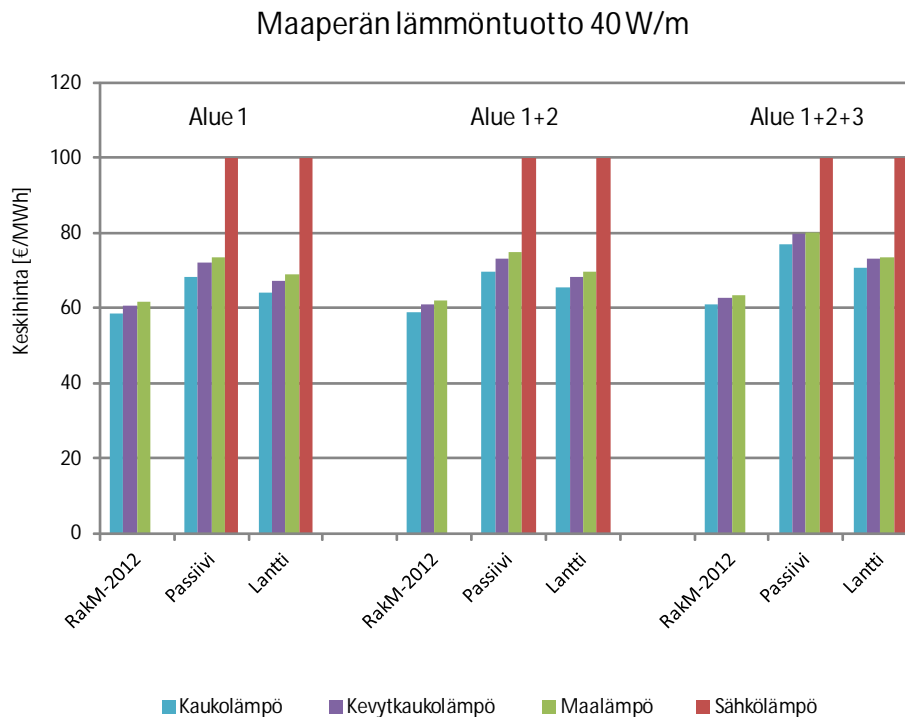
### Maaperän lämmöntuotto

Maaperän lämmöntuotto vaikuttaa suoraan tarvittavien porakaivojen kokonaismäärään/syvyyteen ja tätä kautta järjestelmän pääomakustannuksiin, jotka ovat maalämmössä merkittävin yksittäinen kustannuserä. Mikäli maaperän lämmöntuotto olisi 20 W/m, heikkenee maalämmön kilpailukyky tarkastelussa selvästi, mutta on silti sähkölämmitystä edullisempi, kun tarkastellaan alueita kokonaisuudessaan. Mikäli taas maaperän lämmöntuotto on korkeampi (tässä 40 W/m), paranee maalämmön kannattavuus, mutta jää silti hieman kaukolämpöratkaisuja heikommaksi. Maaperän lämmöntuoton ja keskihinnan välinen yhteys on havainnollistettu kuvissa 4.7 – 4.8.





Kuva 4.7. Tarkasteltavien lämmöntuotantomuotojen keskihintojen vertailu, kun maaperän lämmöntuotto on perustilannetta (30 W/m) alhaisempi.

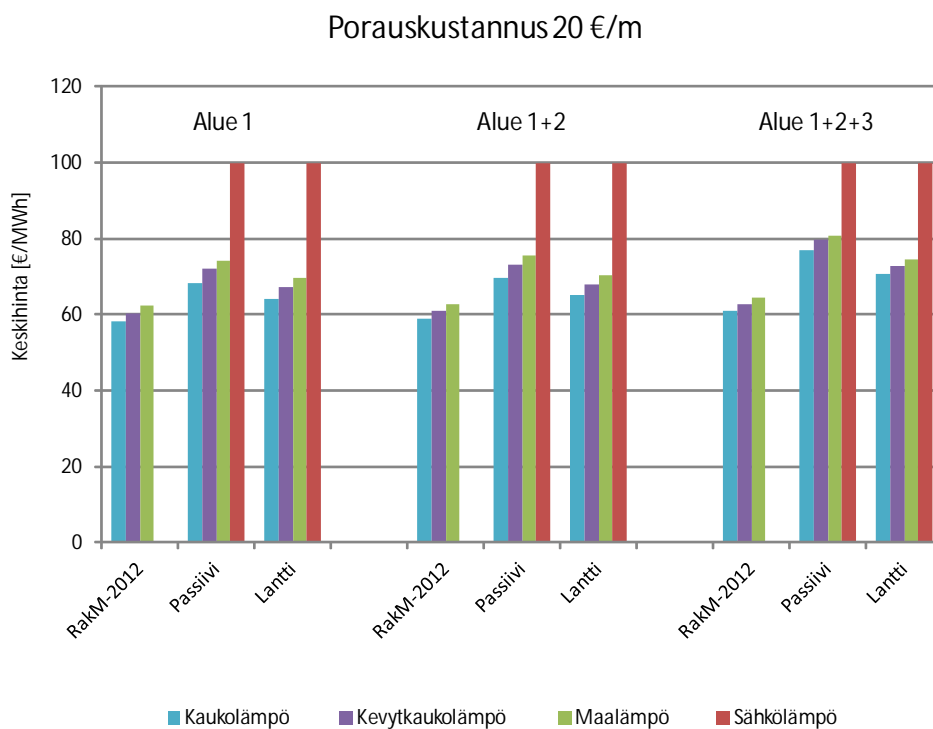


Kuva 4.8. Tarkasteltavien lämmöntuotantomuotojen keskihintojen vertailu, kun maaperän lämmöntuotto on perustilannetta (30 W/m) korkeampi.

## Maalämmön porauskustannukset

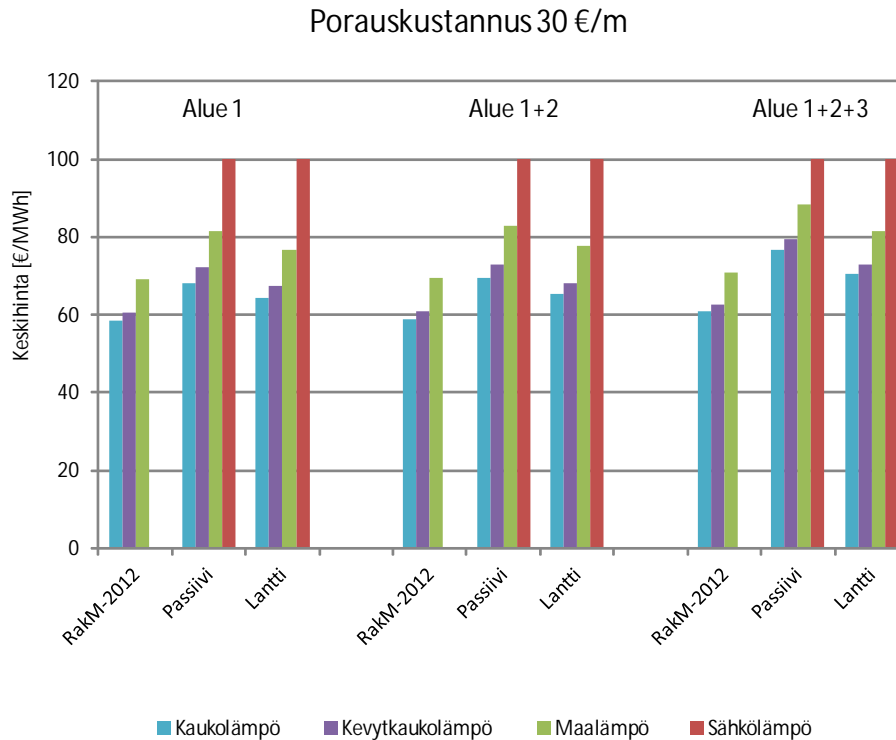
Toinen merkittävä muuttuja maalämpöinvestoinnissa on lämpökaivojen porauskustannus. Mikäli kustannus per porattu metri alenisi 20 % yksikköhintaan 20 €/m, muodostuu investointi kannattavammaksi, mutta jää silti hieman kaukolämpöratkaisuja heikommaksi. Toisaalta mikäli alueen kallio-perään olisi vaikea päästä käsiksi ja tästä syystä jouduttaisiin poraamaan paljon myös muuta maamassaa, voi porauksen keskikustannus nousta huomattavasti. Tässä herkkyystarkastelussa on tarkasteltu porauskustannusta 30 €/m, jolloin maalämpö on kuitenkin vielä selvästi sähkölämmitystä edullisempi. Poraus-kustannusten herkkyystarkastelu on esitetty kuvissa 4.9 – 4.10.

Yksi mielenkiintoinen jatkotarkastelu voisi kohdistua vesistön (Koukkujärvi) hyödyntämiseen lämmönlähteenä. Tällöin vesistöstä siirrettäisiin lämpö pumppuyksikön avulla alueverkkoon, jolloin voidaan välttää investoinnit porakaivoihin. Tällaisen ratkaisun voidaan olettaa parantavan maalämmön kilpailukykyä huomattavasti, sillä porakaivot kattavat maalämpöjärjestelmän pääomakustannuksista valtaosan (ks. kuva 3.10). Vesistöön sijoitetun lämmönkeruuputkiston kustannukset olisivat todennäköisesti selvästi porauskustannuksia alhaisemmat. Ratkaisun toteutettavuus kuitenkin edellyttää, että Koukkujärven voisi sijoittaa lämmönkeruuputkiston.



Kuva 4.9. Tarkasteltavien lämmöntuotantomuotojen keskihintojen vertailu, kun lämpökaivojen porauskustannus on perustilannetta (25 €/m) alhaisempi.



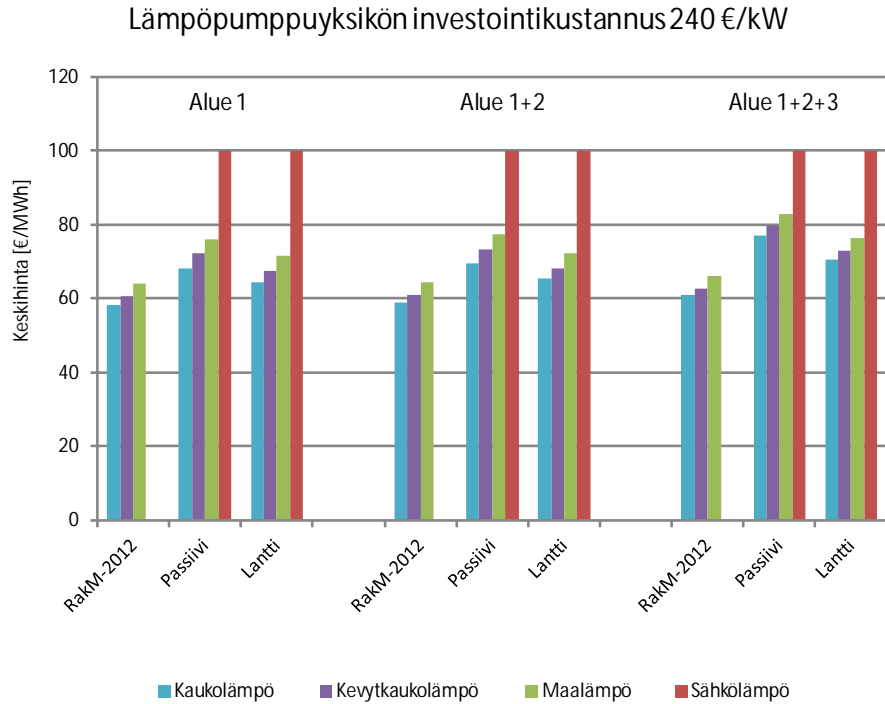


Kuva 4.10. Tarkasteltavien lämmöntuotantomuotojen keskihintojen vertailu, kun lämpökaivojen poraukustannus on perustilannetta (25 €/m) korkeampi.

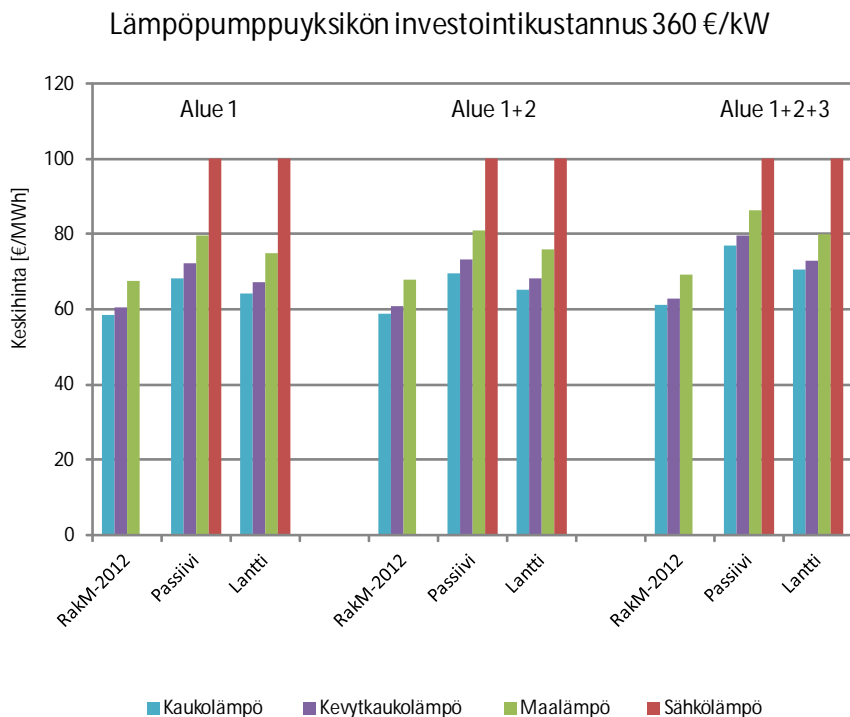
#### Maalämpöpumppujen investointikustannukset

Maalämpöpumppujen investointikustannuksella on myös vaikutusta maalämmön kannattavuuteen, vaikka ei yhtä suuressa määrin kuin lämpökaivojen porauksella. Suuruuden ekonomian mukaisesti pumppujen investoinnin yksikkökustannukset laskevat järjestelmän koon kasvaessa ja nousevat, mikäli toteutuksen laajuus pienenee. Herkkyystarkastelu on tehty pienentämällä ja suurentamalla pumppuyksiköiden investointikustannusta 20 %. Tulokset on esitetty kuvissa 4.11 – 4.12.





Kuva 4.11. Tarkasteltavien lämmöntuotantomuotojen keskihintojen vertailu, kun lämpöpumppuyksiköiden investointikustannus on perustilannetta alhaisempi.

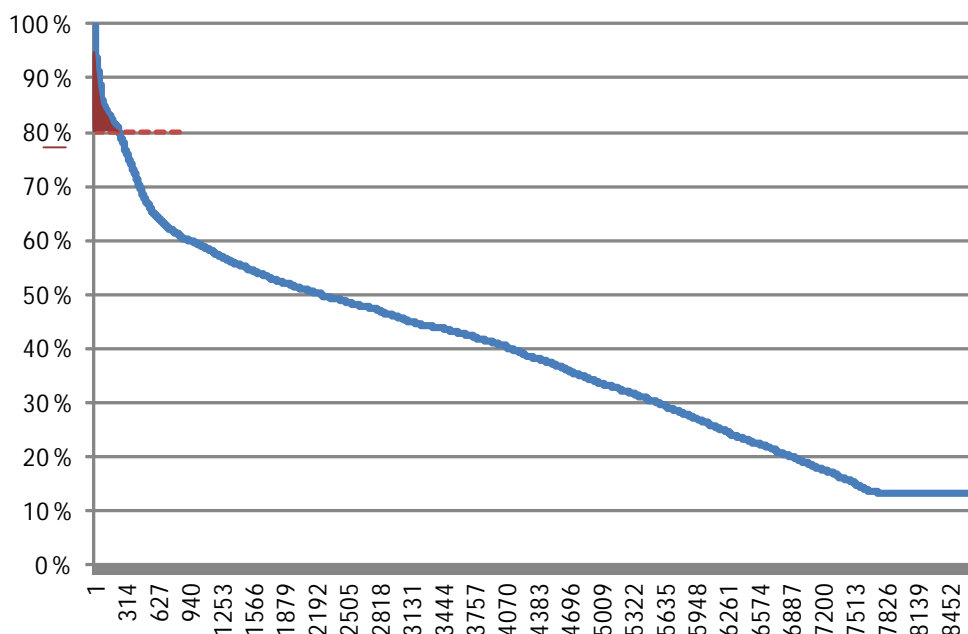


Kuva 4.12. Tarkasteltavien lämmöntuotantomuotojen keskihintojen vertailu, kun lämpöpumppuyksiköiden investointikustannus on perustilannetta korkeampi.

## Maalämmön mitoitus

Maalämpöjärjestelmä voidaan mitoittaa alhaisemmalle tehotasolle, jolloin huippukulutustunteina vaadittava lämpö tuotetaan sähkökattilalla tai -vastuksilla, joka on osa pumppuyksikköä. Tämä on yleinen käytäntö ainakin yksittäisissä rakennuskohteissa. Kun järjestelmä toteutetaan osatehomitoituksella, säästetään erityisesti laitteiston investoinnissa. Kuvasta 4.13 nähdään, että kun laitteisto mitoitetaan 80 prosenttiin rakennuskannan lämmityksen huipputehosta, niin sähkökattilalla tuotettu lämpöenergiämäärä jää vuositasolle hyvin pieneksi (kuvassa punainen kolmionmallinen alue). Pysyvyyskäyrän<sup>28</sup> rajaama muu ala (lämpöenergiämäärä) tuotetaan lämpöpumpuilla.

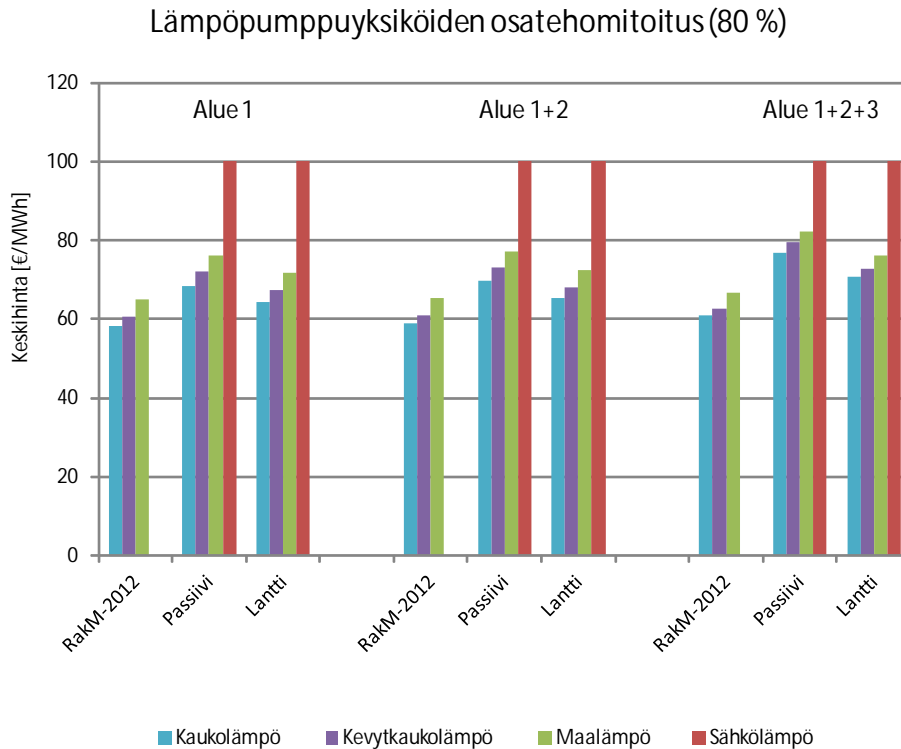
Osatehomitoitetun maalämpöjärjestelmän keskikustannukset muodostuvat hiukan alhaisemmiksi kuin täystehomitoitetussa järjestelmässä, mutta kuitenkin kaukolämpöjärjestelmiä korkeammiksi. Keskikustannuksia on vertailtu kuvassa 4.14. Osatehomitoitus kuitenkin kasvattaa järjestelmän hiilijalanjälkeä, johtuen lisääntyneestä sähkönkulutuksesta. Täystehomitoitettuun järjestelmään verrattuna päästöt ovat 11–12 % suuremmat.



Kuva 4.13. Koukkurannan lämpötehon pysyvyyskäyrän avulla havainnollistettu maalämpöjärjestelmän osatehomitoitus.

<sup>28</sup> Pysyvyyskäyrä sisältää alueen kokonaislämmöntarpeen tilojen ja käyttöveden lämmityksen osalta. Tilojen lämmitystarve on muodostettu tuntikohtaisen säätötilaston avulla. Käyttöveden lämmitystarve on oletettu olevan jatkuvasti keskitehon mukainen. Todellisuudessa myös lämpimän käyttöveden teho vaihtelee tuntikohtaisesti, mutta koska vaihtelusta ei ole olemassa tilastotietoa ja asuinalueen laajuudella risteily tasoittaa lämmöntarvetta, on tarkastelu yksinkertaistettu.





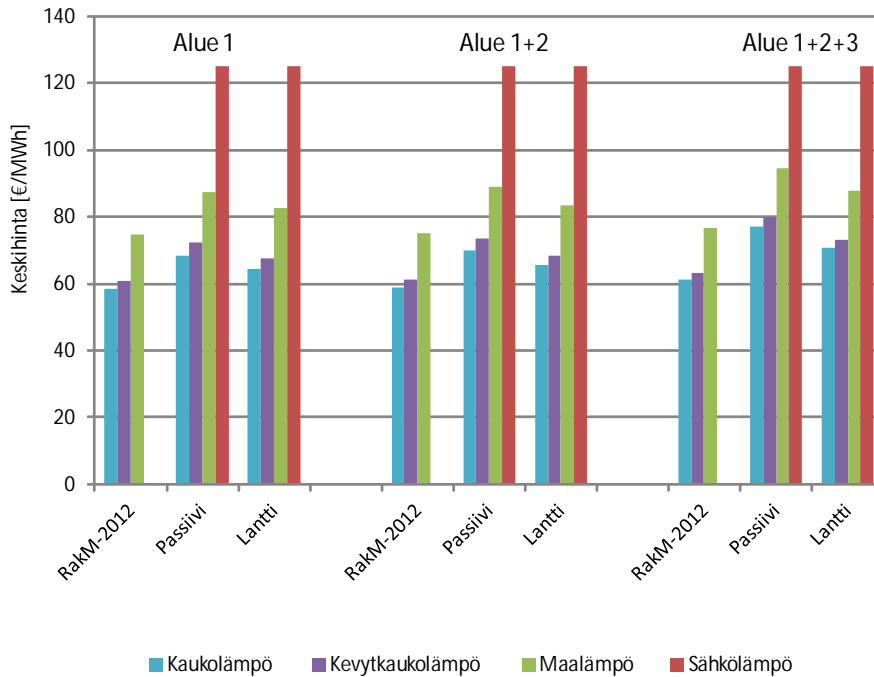
*Kuva 4.14. Tarkasteltavien lämmöntuotantomuotojen keskihintojen vertailu, kun maalämpöjärjestelmä toteutetaan osatehomitoituksella.*

### Sähkön hinta ja päästökerroin

Sähkön hinta vaikuttaa erityisesti sähkölämmityksen mutta myös maalämmön kilpailukykyyn. Kaukolämmössä sähköä kuluu pelkästään kiertovesipumppujen toimintaan, joten sähkön hinnanmuutoksen vaikutus perinteisen ja kevennetyn kaukolämmön keskikustannuksiin on marginaalinen. Herkkyystarkastelu on tässä tehty pelkästään sähkön hinnannousulle, sillä hinnanlasku ei ole nykytilanteessa perusteltua. Kuvassa 4.15 on esitetty tarkasteltavien lämmöntuotantomuotojen keskihintojen vertailu, kun sähkön hinta on 25 % perustilannetta korkeampi.

Sähkön päästökerroin vaikuttaa järjestelmien hiilijalanjälkeen. Tämä näkyy etenkin sähkölämmityksessä ja maalämmössä, joissa sähkön päästökertoimen muutos siirtyy sellaisenaan käytön aikaisiin päästöihin. Näin ollen mikäli sähkön päästökerroin on tarkastelujaksolla esimerkiksi 20 % alaisempi tai 20 % korkeampi, muuttuu sähköpohjaisten lämmitysjärjestelmien hiilijalanjälki täysin samassa suhteessa. Kaukolämpöjärjestelmissä muutos on vain prosentin kymmenyksiä. Vaikka sähkön päästökerroin nousisi 20 %, on maalämmön hiilijalanjälki käytetyillä päästökertoimilla alhaisin. Päästökerroimien muodostumista on pohdittu tarkemmin luvussa 4.2.

## Sähkön hinta 125 €/MWh



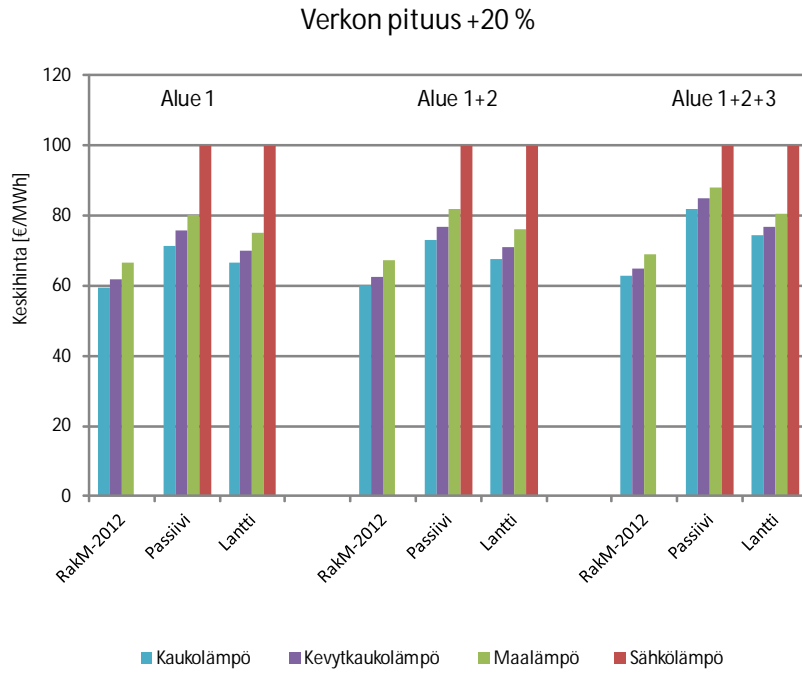
Kuva 4.15. Tarkasteltavien lämmöntuotantomuotojen keskihintojen vertailu, kun sähkön hinta on perustilannetta korkeampi.

### Lämmönsiirtoverkon pituus

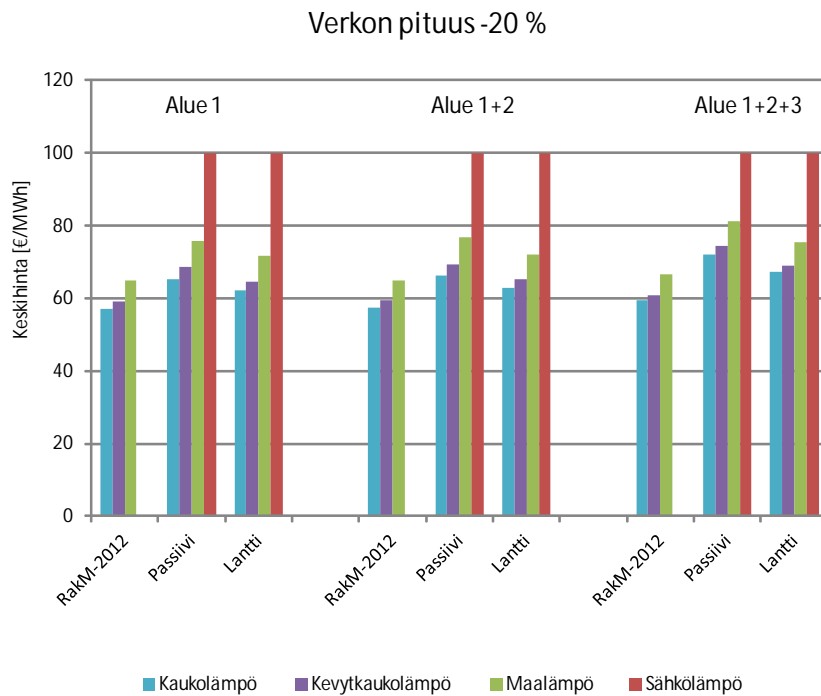
Lämmönsiirtoverkon kokonaispituutta muuttamalla havainnollistetaan alueen tiiveyden vaikutusta eri lämmitysratkaisujen kilpailukykyyn. Toisin sanoen, mitä tiiviimmin Koukkurannan alue on rakennettu ja mitä lyhyemmät etäisyydet alueiden välille muodostuu, sitä vähemmän tarvitaan putkia lämmön siirtämiseen. Kuivissa 4.16 ja 4.17 on esitetty lämmitysjärjestelmien keskikustannusten vertailu, kun alue suunniteltaisiin siten, että lämmönsiirtoverkkojen kokonaispituus on joko 20 % suurempi tai pienempi. Siirtoverkon laajuudella on suurempi vaikutus kaukolämpövaihtoehtojen kuin maalämmön kilpailukykyyn. Tämä johtuu siitä, että maalämpöjärjestelmän pääomakustannuksissa lämmönsiirtoverkoston osuus on suhteellisen pieni (ks. kuva 3.10), toisin kuin kaukolämmössä.

Verkon laajuus vaikuttaa myös siirtohäviöiden kautta järjestelmien hiilijalanjälkeen. Mitä lyhyempi siirtoverkko on kyseessä, sitä pienemmät ovat lämpöhäviöt, ja toisin päin. Vaikutus päästöihin on tehdyillä herkkyystarkasteluilla kuitenkin vain luokkaa 1–4 % suuntaan ja toiseen.





Kuva 4.16. Tarkasteltavien lämmöntuotantomuotojen keskihintojen vertailu, kun lämmönsiirtoverkon kokonaispituus on perustilannetta suurempi.



Kuva 4.17. Tarkasteltavien lämmöntuotantomuotojen keskihintojen vertailu, kun lämmönsiirtoverkon kokonaispituus on perustilannetta pienempi.



Herkkyystarkastelu osoittaa, että perinteinen kaukolämpö on kustannusmielessä järkevin lämmön-tuotantomuoto Koukkurannan alueella. Herkkyystarkastelun parametreja muuttamalla kevennetty kaukolämpö pysyy kaikissa tilanteissa suhteellisesti yhtä kilpailukykyisenä perinteiseen kaukolämpöön nähden, ollen keskiarvoisesti kaukolämpöä kalliimpi vaihtoehto. Maalämpö on myös keskiarvoisesti kaukolämpöä kalliimpi ratkaisu. Mikäli maalämpöjärjestelmä toteutetaan osatehomi-toituksella ja/tai lämpökaivojen porausten lukumäärää ja porauskustannuksia kyetään alentamaan, voi keskitetty maalämpöjärjestelmä olla kilpailukykyinen ratkaisu. Sähkölämmitys ei sen sijaan pärjää kustannustarkastelussa kauko- tai maalämpöratkaisujen kanssa, kun tarkastelussa ei huomioida lämmönjakojärjestelmän investointeja.

## 5 Liiketoimintamahdollisuuksien arviointi

### 5.1 Energiayhtiön liiketoimintavaihtoehtoja

Edellä on tarkasteltu neljää erilaista lämmitystaparatkaisua Koukkurannan alueelle. Energiayhtiön näkökulmasta perinteinen kaukolämpötoiminta on kaikkein yksinkertaisin ja selkein liiketoiminta-vaihtoehto. Tällöin voidaan soveltaa samaa liiketoimintamallia kuin kaikessa muussakin kaukolämpö-toiminnassa. Asiakkaana voi olla kukin alueen kiinteistö yksittäisenä asiakkaana tai vaihtoehtoisesti kaukolämpö voidaan myydä alueelle yhdessä pisteessä, jolloin joku toinen operaattori vastaa läm-mön jakelusta ja myynnistä Koukkurannan alueella. Kevennetyn (matalalämpötilaisen) kaukolämmön osalta pätevät samat liiketoimintaperiaatteet kuin perinteisessä kaukolämmössä. Kevyen kauko-lämmön tapauksessa alueen rajalla oleva lämmönvaihdinasema muodostaa tällöin selkeän rajapin-nan, mikäli alueella toimii operaattorina jokin toinen taho.

Maalämmön tapauksessa on olemassa kaksi selkeää liiketoimintavaihtoehtoa. Ensimmäisessä vaih-toehdossa energiayhtiö toimii alueella lämmön myyjänä samaan tapaan kuin kaukolämmössäkin – lämpö ainoastaan tuotetaan paikallisesti maalämmöllä. Tässä tapauksessa kaukolämpöyhtiö ostanee sähkön saman konsernin yritykseltä. Toisessa vaihtoehdossa ulkopuolinen operaattori pyörittää lämmönmyyntiliiketoimintaa, jolloin paikallisen energiayhtiön rooli on sähkön toimittaminen lämpö-pumppuihin. Sähkön toimittaminen kattaa ainakin siirtopalvelun, mutta sähköenergian osalta ulko-puolinen operaattori voi valita toimittajaksi jonkun muun sähköyhtiön.

Sähkölämmityksen tapauksessa energiayhtiö siirtää sähkön alueelle, mutta kukin asiakas voi valita vapaasti sähköenergian toimittajan. Siirrettävän sähkön määrä on noin kolme kertaa suurempi kuin maalämmön tapauksessa, jos maalämpöpumppujen lämpökerroin on kolme. Siten energiayhtiön liiketoiminnan – erityisesti liikevaihdon – kannalta huonoin vaihtoehto on keskitettyyn tai kortteli-kohtaiseen maalämpöön perustuva ratkaisu, jota pyörittäisi ulkopuolinen operaattori.

Taulukkoon 5.1 on koottu eri lämmitystaparatkaisuihin liittyvät vahvuudet ja mahdollisuudet sekä heikkoudet ja uhat energiayhtiön näkökulmasta. Tarkastelussa on huomioitu edellä kuvattujen liiketoimintamahdollisuuksien lisäksi tekniset riskit ja hiilijalanjälki. Hiilijalanjälkeä lukuun ottamatta perinteinen kaukolämpö on energiayhtiön näkökulmasta suotuisin vaihtoehto. Lisäämällä uusiutuvan energian osuutta kaukolämmön tuotannossa voidaan sen hiilijalanjälkeä kuitenkin pienentää. Teknis-taloudellisista riskeistä esille voidaan nostaa kevennettyyn kaukolämpöön liittyen uuden matalaläm-pötilaisen tekniikan toimivuus sekä maalämmön osalta erityisesti maaperän lämmöntuotto.



Taulukko 5.1. Lämmitystaparatkaisujen mahdollisuudet ja uhat energiayhtiön näkökulmasta Koukurannan alueella. Kaukolämmön ja kevyen kaukolämmön osalta on oletettu, että energiayhtiö vastaa liiketoiminnan pyörittämisestä.

Lämmitystaparatkaisu	Vahvuudet ja mahdollisuudet	Heikkoudet ja uhat
Perinteinen kaukolämpö	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Koeteltu liiketoimintamalli</li> <li>- Takaa hyvän liikevaihdon</li> <li>- Kustannustehokas</li> <li>- Tekniset riskit vähäiset</li> <li>- Suotuisa primäärienergiatarkastelussa (alhainen energiamuodon kerroin)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Heikompi kannattavuus pientaloalueella</li> <li>- Suhteellisen korkea hiilijalanjälki käytetyillä päästökertoimilla*</li> </ul>
Kevyt kaukolämpö	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Takaa hyvän liikevaihdon</li> <li>- Kohtuullisen kustannustehokas</li> <li>- Suotuisa primäärienergiatarkastelussa (alhainen energiamuodon kerroin)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Matalalämpötilaiseen järjestelmään liittyvät uuden tekniikan riskit</li> <li>- Korkein hiilijalanjälki käytetyillä päästökertoimilla*</li> </ul>
Maalämpö	<p>Itse:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Takaa hyvän liikevaihdon</li> <li>- Alhaisin hiilijalanjälki käytetyillä päästökertoimilla*</li> </ul> <p>Ulkopuolinen operaattori:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sähkön siirron ja sähköenergian myyntimahdollisuus</li> </ul>	<p>Itse:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Porauskustannuksiin ja lämmöntuottoon liittyvä epävarmuus</li> <li>- Lisää sähkön erillistuotannon määrää lämmityskaudella</li> <li>- Sähkönhankinnan markkinariski</li> </ul> <p>Ulkopuolinen operaattori:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vähäinen liikevaihto</li> </ul>
Sähkölämmitys	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Yksinkertainen liiketoimintamalli</li> <li>- Kohtuullinen liikevaihto sähkön siirrosta (ja myynnistä)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kaukolämpötoiminnalle ei liikevaihtoa</li> <li>- Haasteellinen primäärienergiatarkastelussa (korkea energiamuodon kerroin)</li> </ul>

\* Sähkön päästökertoimena on käytetty kansallista vuoden keskiarvoista kerrointa. Sähköntuotannon päästöt ovat kuitenkin lähtökohtaisesti lämmityskaudella keskiarvoa korkeammat, kun erillistuotannon osuus sähköntuotannossa kasvaa. Mikäli sähkön päästökertoimena käytettäisiin esimerkiksi hiililauhdetuotannon kerrointa, olisi kaukolämmön hiilijalanjälki maalämpöäkin alhaisempi. Asiaa on pohdittu tarkemmin luvussa 4.2.

## 5.2 Asiakasnäkökulma

Tässä raportissa kuvatut lämmöntuotantojärjestelmien keskekustannukset kuvaavat tuotantokustannuksia ja samalla sitä arvonlisäverotonta hintaa, jolla palveluntarjoajan on mahdollista toimittaa lämpöä Koukkurannan alueelle siten, että lämmönmyynti ei tuota voittoa (omakustannushinta). Näin ollen voidaan sanoa, että kustannustehokkain järjestelmävaihtoehto energiayhtiölle on myös halvin vaihtoehto asukkaalle, mikäli kaikissa ratkaisuvaihtoehdoissa omakustannushinnan päälle lisätään samansuuruinen kate.

Kustannuslaskennan tuloksia voidaan konkretisoida asukasnäkökulmasta tarkastelemalla vuotuisia kustannuksia, jotka asukkaalle syntyvät lämmönkulutuksesta. Kuvassa 5.1 on esitetty Koukkurannan kerrostalo-, rivitalo- ja pientaloasukkaan vuotuiset lämpöenergiakustannukset eri rakennuskannan energiatehokkuustasoilla, kun tietty lämmitysjärjestelmä kattaa koko Koukkurannan alueen. Laskennassa käytetyt pinta-alat ovat kerrostaloasunnoille 52 m<sup>2</sup>, rivi- ja ketjutaloille 167 m<sup>2</sup> ja pientaloille 241 m<sup>2</sup>. Energian myyjän katteeksi sekä kaukolämpö- että maalämpövaihtoehdoissa on oletettu 10 %<sup>29</sup>. Sähkölämmityksen osalta myyjän kate sisältyy jo käytettyyn sähkön toimitushintaan (100 €/MWh).

Laskennassa on huomioitu, että sähkölämmityksessä passiivi- ja Lantti-energiatehokkuustason rakennuksissa vältetään investointi vesikiertoiseen lämmönjakojärjestelmään<sup>30</sup>. Vesikiertoisen järjestelmän kustannuksena<sup>31</sup> on käytetty 20 €/m<sup>2</sup>. Pääomakustannukset on laskettu annuiteettimenetelmällä käyttäen 40 vuoden pitoaika ja 5 % korkokantaa. Kuvasta 5.1 nähdään, että kun tarkastelussa huomioidaan vältetty investointikustannus, paranee sähkölämpöjärjestelmän kilpailukyky tarkastelussa selkeästi; passiivitasolla sähkölämmitys olisi kustannusmielessä jopa kannattavin lämmitysratkaisu. Lantti-tasolla kaukolämpö säilyttää niukasti etumatkan sähkölämmitykseen verrattuna, mutta maalämpö häviää tarkastelussa jo hieman sähkölämmitykselle. Käytännössä siis erityisesti passiivitasolla rakennetuissa pientaloissa sähkölämmitys saattaa olla asukkaan kannalta kiinnostava vaihtoehto, kun tarkastelussa huomioidaan myös lämmönjakojärjestelmän investoinnit. Toisaalta on huomattava, että sähkölämmityksen kannattavuus riippuu suoraan sähkön hinnasta. Esimerkiksi passiivien energiatasolla rakennetussa pientalossa sähkölämmityksen ja kaukolämmityksen kustannukset ovat samat, kun sähkön hinta (alv 0 %) on 118,30 €/MWh.

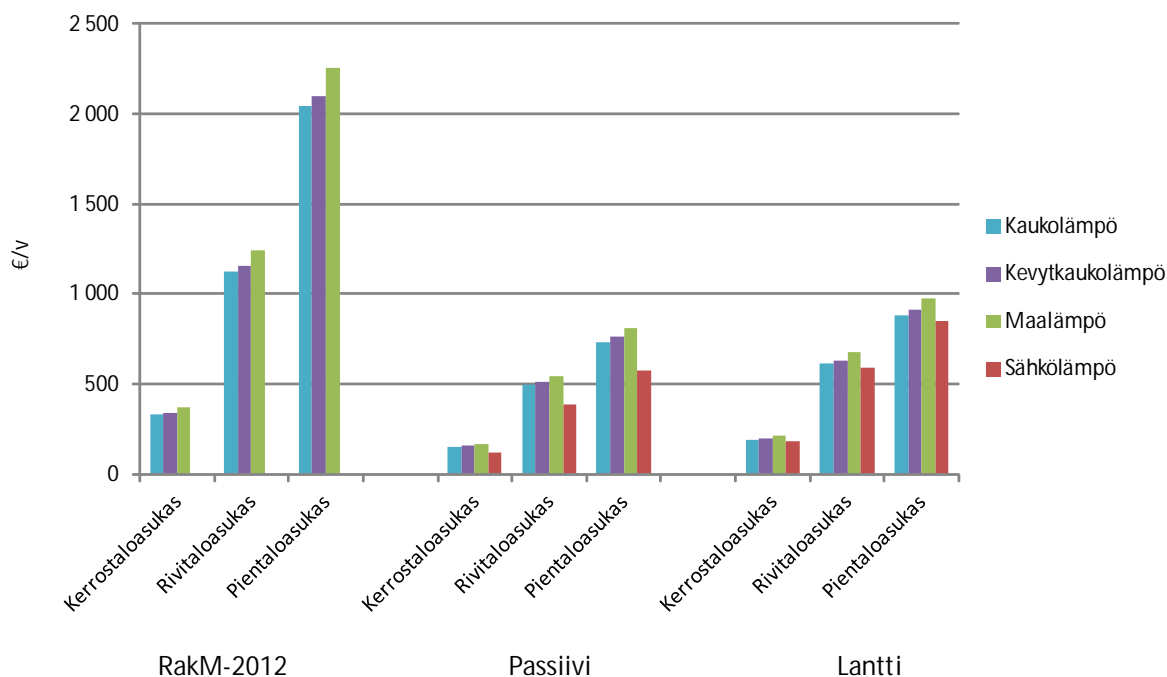
---

<sup>29</sup> Kate riippuu lämmönmyyjän tuottovaatimuksesta ja voi vaihdella suurestikin sen mukaan onko myyjä paikallinen energiayhtiö, lämpöyrittäjä tai jokin muu toimija. Alueen asukkaista koostuva osuus kuntamuotoinen lämmönmyyjä ei välttämättä tavoittele myyntivoittoa lainkaan.

<sup>30</sup> Laskennassa on siis käytännössä hyvitetty vesikiertoisen järjestelmän kustannukset sähkölämmityskohteissa, so. sähkölämmitysjärjestelmän kustannuslaskennassa vältetty lämmönjakojärjestelmäinvestointi muodostaa negatiivisen vuotuisen pääomakustannuserän.

<sup>31</sup> Kustannustieto on keskiarvo usealta eri järjestelmätoimittajalta saadusta arviosta uudisrakennuksiin toteutettavasta järjestelmästä.





Kuva 5.1. Koukkurannan asukkaan vuotuiset lämpöenergiakustannukset eri energiatehokkuustasoilla, kun tietty järjestelmä kattaa koko Koukkurannan alueen.

Edellä kuvatussa laskelmassa on oletettu, että Koukkurannan alueella on käytössä vain yksi lämmön hinnoittelutariffi, mutta alueella voidaan myös soveltaa useita tariffeja, joiden suuruus riippuisi kullakin alueella käytössä olevan järjestelmän keskikustannuksista. Kuvan 5.1 kustannuksissa ei ole huomioitu kaukolämmön liittymismaksua (ei palautettava) eikä sähkön liittymämaksua (palautettava).

### 5.3 Pientaloalueen erityistarkastelu

Kustannustarkastelun (ks. luku 4.1) perusteella kaukolämpö on selkeästi kustannustehokkain vaihtoehto kerros- ja rivitalovaltaisilla alueilla (alueet 1 ja 2). Pientalovaltaisella alueella 3 eri lämmitysmuotojen väliset erot ovat varsin pienet. Seuraavassa on tarkasteltu tilannetta, jossa korttelikohtaisen maalämmön sijaan alueella 3 maalämpöjärjestelmä toteutetaan talokohtaisena. Tällöin maalämpöpumppujen kustannukset tehoyksikköä kohti ovat suuremmat, mutta samalla vältetään lämmönjakeluverkoston investoinneilta sekä verkoston käyttö ja kunnossapitokustannuksilta ja myös lämpöhäviöt<sup>32</sup> pienenevät huomattavasti. Sähkön ja kaukolämmön liittymismaksuja ei tässä huomioida.

Kuvassa 5.2 on esitetty pientaloalueella sijaitsevan omakotitalon vuotuiset energiakustannukset eri energiatehokkuustasoilla, kun maalämpö toteutetaan talokohtaisena. Maalämpöjärjestelmä toteutetaan täystehomitoituksella, joka on vaatimus, mikäli alue on kaavoitettu kaukolämmölle. Lämpö-

<sup>32</sup> Talokohtaisen järjestelmän lämmönsiirron häviöiksi on oletettu tässä 3 %.

pumppujärjestelmän investointikustannuksena<sup>33</sup> on käytetty laskennassa arvoa 1 600–2 000 €/kW (alv 23 %). Kustannus riippuu pumppuyksikön koosta siten, että alaraja kuvaa suurempitehoista pumppua (RakM-2012 -taso, pumpputeho 9,1 kW) ja yläraja pienempitehoista pumppua (passiivienergia- ja Lantti-taso, pumpputeho 2,6–3,4 kW). Kustannus sisältää pumppuyksikön, porakaivon, kaikki tarvittavat oheismateriaalit ja -laitteet sekä työn osuuden. Järjestelmän käyttöikä on laskennassa 25 vuotta ja korko 5 %. Sähkölämmön osalta on oletettu, että sähkön myyjän kate sisältyy sähkön toimitushintaan (100 €/MWh) ja asukas välttää investoinnit vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään<sup>34</sup>. Kaukolämmön ja keskitetyn maalämmön hinta sisältää tässä tarkastelussa 10 % katteen. Talokohtaisen lämpöpumpun käyttämän sähkön hinta on sama kuin sähkölämmityksessä.

Annetut kustannukset kuvaavat tilannetta, jossa tietty lämmitysjärjestelmä kattaa vain alueen 3; tämä heikentää etenkin kaukolämmön ja keskitetyn maalämmön kannattavuutta verrattuna tarkasteluun, jossa kaukolämpö- tai maalämpöverkko kattaisi koko Koukkurannan alueen. Kuvassa 5.3 on esitetty lämpöenergian keskihinnat eri tapauksissa ilman oletetun katteen vaikutuksia. Sähkölämmitysjärjestelmää ei voida toteuttaa RakM-2012 -tasolla, joten sen kustannukset eivät sisälly tältä osin kuvaan.

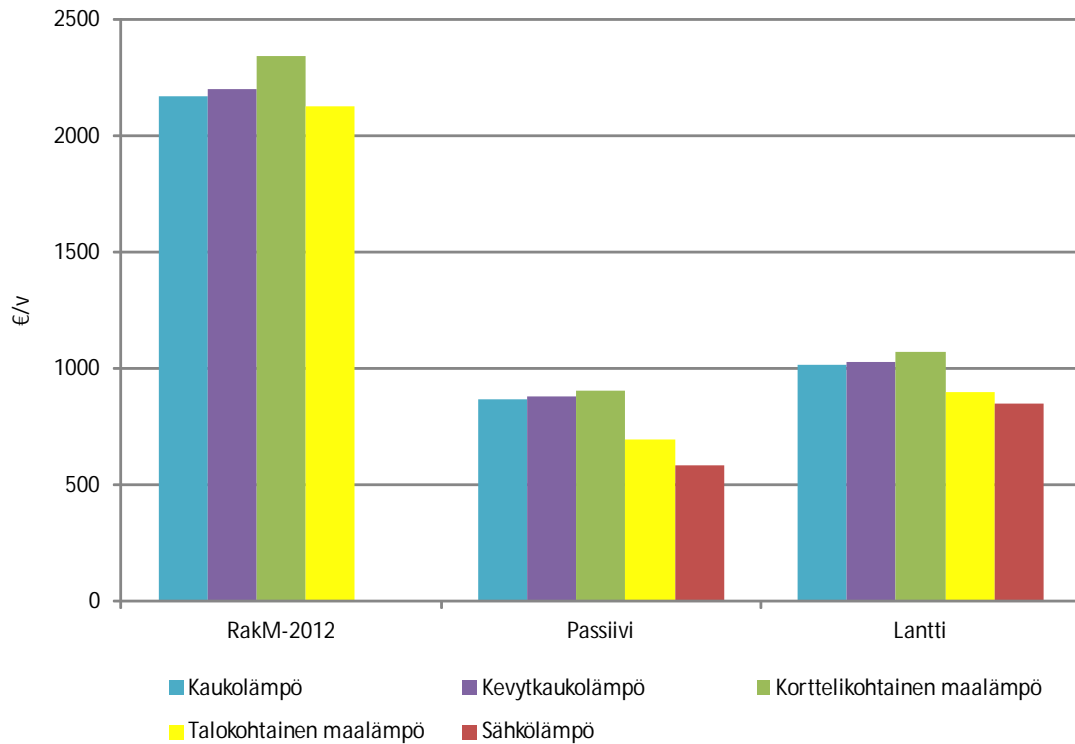
Kuvasta 5.2 nähdään, että talokohtainen maalämpöjärjestelmä on kilpailukykyinen lämmitysratkaisu alueen 3 pientaloissa. Tehdyillä laskentaoletuksilla se on pientaloasukkaalle edullisin lämmitystapa RakM-2012-energiatehokkuustasolla, ja kaukolämpövaihtoehtoja sekä keskitettyä maalämpöä taloudellisempi vaihtoehto kaikilla energiatehokkuustasoilla. Vaikka talokohtaisesti tuotetun maalämpöenergian hinta on kaukolämpövaihtoehtoja korkeampi RakM-2012 -tasolla (ks. kuva 5.3), niin oletettu 10 % kate kaukolämpöjärjestelmävaihtoehtoissa nostaa näiden hinnan talokohtaista maalämpöä korkeammaksi.

Mikäli talokohtainen järjestelmä toteutetaan osatehomitoituksella, muodostuu se vielä kannattavamaksi; lämpöenergian hinta voi tällöin olla arviolta 2-10 % alhaisempi kuin täystehomitoitetussa järjestelmässä. Talokohtaiseen maalämpöjärjestelmäinvestointiin on lisäksi saatavissa myös erilaisia tukia (mm. kotitalousvähennys työn osalta ja ARA:n energia-avustukset), jotka parantavat yksittäisten investointien kannattavuutta. Tässä tarkastelussa ei ole huomioitu edellä mainittuja tukia. Mikäli nämä tuet kuitenkin huomioitaisiin, voitaisiin maalämpöinvestoinnissa säästää jopa 20 %. Tällöin talokohtaiseen maalämpöjärjestelmään investoiteen kotitalouden vuotuiset kustannukset olisivat noin 10 % pienemmät, kuin kuvassa 5.2 on esitetty ja talokohtainen maalämpö voisi muodostua myös Lantti-tasolla edullisimmaksi lämmitystavaksi.

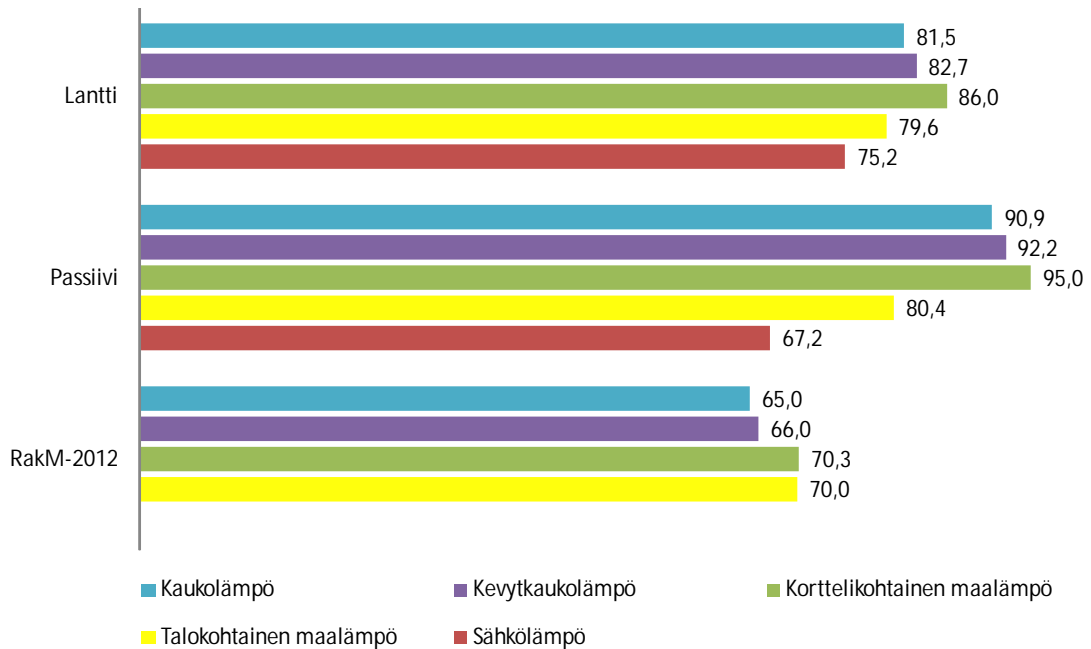
---

<sup>33</sup> Kustannustieto on keskiarvo kahden järjestelmätoimittajan tekemästä tarjouksesta pientaloon "avaimet käteen" -periaatteella toteutettavasta maalämpöjärjestelmästä.

<sup>34</sup> Laskennassa on siis käytännössä hyvitetty vesikiertoisen järjestelmän kustannukset sähkölämmityskohteissa, so. sähkölämmitysjärjestelmän kustannuslaskennassa vältetty lämmönjakojärjestelmäinvestointi muodostaa negatiivisen vuotuisen pääomakustannuserän.



Kuva 5.2. Pientaloalueella (alue 3) sijaitsevan omakotitalon vuotuiset energiakustannukset eri energiatehokkuustasoilla, kun maalämpö toteutetaan talokohtaisena. Huom. Hinnat tilanteessa, jossa vaihtoehdotiset lämmitysjärjestelmät kattavat vain alueen 3.



Kuva 5.3. Pientaloalueella (alue 3) sijaitsevan omakotitalon lämpöenergian hinnat eri energiatehokkuustasoilla, kun maalämpö toteutetaan talokohtaisena. Huom. Hinnat tilanteessa, jossa vaihtoehdotiset lämmitysjärjestelmät kattavat vain alueen 3. Hinnoissa ei ole huomioitu katteita.



Vaikka talokohtaisen maalämpöjärjestelmän kustannukset tehoyksikköä kohti ovat suuremmat kuin keskitetyssä maalämpöjärjestelmässä, muodostuu talokohtainen ratkaisu tarkastelussa kannattavammaksi. Tämä johtuu siitä, että vältetyt investoinnit lämmönsiirtoputkistoon, maanrakennukseen sekä pumppuyksikkö rakennuksiin ovat tarkastelussa huomattavat. Myös lämpöhäviöt ovat talokohtaisessa järjestelmässä alhaiset keskitettyyn järjestelmään verrattuna.

## 6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Koukkurannan alueen lämpöenergian tarpeeseen vaikuttaa merkittävästi alueelle rakennettavien rakennusten energiatehokkuus. Mikäli koko rakennuskanta toteutetaan kaukolämmöllä vuoden 2012 rakentamismääräysten (RakM-2012) mukaisesti, on alueen vuotuinen lämmöntarve kokonaisuudessaan noin 6,0 GWh. Passiivienegiatasoinen rakennuskanta kuluttaisi noin kolmanneksen tästä eli noin 2,1 GWh vuodessa. Lantti-talon lämpöenergian kulutusta vastaava rakennuskanta kuluttaisi puolestaan noin 2,8 GWh vuodessa. Keskimääräinen kerrosalaan suhteutettu lämpöenergian kulutus alueella olisi RakM-2012 -tasolla noin 102 kWh/m<sup>2</sup>, passiivienegiatasolla noin 35 kWh/m<sup>2</sup> ja Lantti-tasolla noin 47 kWh/m<sup>2</sup>.

Tarkastelluista lämmitystavavaihtoehdoista perinteinen kaukolämpö osoittautui kaikkein kustannustehokkaimmaksi ratkaisuksi koko Koukkurannan alueella tuottajan näkökulmasta. Erityisesti kerrostalo- ja rivitalovaltaisella alueella kaukolämpö oli selvästi kustannustehokkain ratkaisu. Kevyt kaukolämpö, joka perustuu matalampaan lämpötilaan ja muoviputkilla toteutettuun lämpöverkkoon, osoittautui lähes yhtä kustannustehokkaaksi ratkaisuksi kuin perinteinen kaukolämpö. Kevyen kaukolämmön jakeluverkon kustannukset ovat hieman perinteistä kaukolämpöä alhaisemmat, mutta suuremmat verkostohäviöt, lämmönvaihdininvestointi sekä pumppaus-, huolto- ja kunnossapitokustannukset nostavat sen kokonaiskustannukset perinteistä kaukolämpöä korkeammaksi.

Korttelikohtainen maalämpöratkaisu osoittautui kaukolämpöä kalliimmaksi vaihtoehdoksi kaikilla alueilla. Syynä tähän oli maalämmön korkeat pääomakustannukset. Erityisesti kaukolämpökaivojen porauskustannuksilla (€/m) sekä maan lämmöntuotantokyvyllä (W/m), joka vaikuttaa tarvittavien porareikien määrään, on suuri merkitys maalämmön kannattavuuteen. Tehdyt herkkyystarkastelut osoittivat, että maalämmön saaminen kilpailukykyiseksi edellyttäisi noin 25–30 % peruslaskelmia alhaisempia porauskustannuksia. Lisäksi maalämmön kannattavuutta voisi parantaa mitoittamalla järjestelmä kattamaan noin 80 % huipputehosta ja tuottamaan huipputeho sähkökattiloilla. Yhtenä vaihtoehtona voisi olla myös lämmön kerääminen Koukkujärvestä, joka olisi todennäköisesti porakaivoja edullisempi ratkaisu. Selvityksessä nousi myös esille, että pientalovaltaisella alueella 3 omakotitalokohtainen maalämpöjärjestelmä muodostuu asiakkaan näkökulmasta kilpailukykyiseksi lämmitystavaksi, etenkin jos se toteutetaan osatehomitoituksella ja laskennassa huomioidaan investoinnille myönnettävät tuet ja verohelpotukset.

Sähkölämmityksen soveltuvuutta tarkasteltiin ainoastaan passiivienegia- ja Lantti-taloissa. Kustannustarkastelussa, jossa ei huomioitu lämmönjakojärjestelmän kustannuksia, sähkölämmitys oli kaikissa tapauksissa kaikkein kallein ratkaisu. Toisaalta mikäli asiaa tarkastellaan asiakasnäkökulmasta ja huomioidaan tarkastelussa se, ettei sähkölämmityksessä talossa tarvitse investoida vesikiertoiseen lämmönjakojärjestelmään, on sähkölämmitys kilpailukykyinen ratkaisu etenkin passiivienegiatalossa.

Koukkurannan eri osien ja eri energiatehokkuustasojen tarkastelu osoitti, että alueen lämpöenergian tarpeella pinta-alayksikköä kohti (energiatiheys) on merkitys sekä lämpöenergian keskihintaan että eri lämmitystapajärjestelmien keskinäiseen asemaan. Yleistäen voidaan sanoa, että mitä tiiviimmin alue on kaavoitettu, sitä alhaisempaan lämmön keskihintaan päästään niin kauko- kuin maalämmössä. Kun alueen lämpöenergiatarpeen energiatiheys on yli 40 kWh/m<sup>2</sup>,v, kuten koko Koukkurannan alue rakennusmääräysten mukaan rakennettuna, on kaukolämpö kustannustehokkain vaihtoehto. Maalämpö on hieman kaukolämpöä kalliimpi, mutta selvästi sähkölämmitystä edullisempi. Tämän energiatiheystason (40 kWh/m<sup>2</sup>,v,) jälkeen kustannukset eivät Koukkurannassa enää merkittävästi alene, vaikka energiatihettä kasvatettaisiin. Kun lämpöenergiatarpeen energiatiheys alittaa 20 kWh/m<sup>2</sup>,v, kuten Koukkurannan alueen pientalot passiivien energiatasolla rakennettuna, nousee sähkölämmitys asiakkaan kannalta kiinnostavaksi vaihtoehdoksi, kun huomioidaan se, ettei sähkölämmityksessä kohteessa tarvitse investoida vesikiertoiseen lämmönjakojärjestelmään. Näin alhaisella energiatiheystasolla lämmön jakeluverkon kustannukset ja häviöt alkavat näytellä merkittävää roolia ja heikentävät erityisesti kaukolämmön mutta myös korttelikohtaisen maalämmön kilpailukykyä.

Lämmitystapavaihtoehtojen osalta verrattiin myös eri lämmitystavoista syntyvää hiilijalanjälkeä. Tarkastelujen perusteella osoittautui, että maalämmön hiilijalanjälki on selkeästi pienin. Kaikkein suurin vaikutus hiilijalanjälkeen on kuitenkin rakennusten energiatehokkuudella. Energiatehokas rakentaminen on myös varma tapa pienentää hiilijalanjälkeä, kun taas eri lämmitystapojen hiilijalanjälki riippuu vahvasti eri lämmitysmuotojen päästökertoimista, joiden määrittäminen ei ole täysin yksiselitteistä ja joiden kehittymiseen tulevaisuudessa liittyy myös epävarmuutta.



# Lähteet

ARA - Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus. [www.ara.fi](http://www.ara.fi).

Energiateollisuus ry. 2010. Sähkön käyttö ja verkostohäviöt. [www.energia.fi](http://www.energia.fi).

Heljo J., Nippala E., Nuuttila H. Rakennusten energiankulutus ja CO<sub>2</sub>-ekv päästöt Suomessa. 2005.

Hirvonen M. Uudisrakennusalueen lämmitysratkaisujen valinta - tulevaisuuden haasteet ja niihin vastaaminen. 2010.

Nieminen J., Heimonen I. Vuores - Koukkujärvi Energiavaihtoehtojen tarkastelu  
([www.tampere.fi/ytoteto/aka/nahtavillaolevat/8263/selvitykset/8263\\_energiavaihtoehtoja.pdf](http://www.tampere.fi/ytoteto/aka/nahtavillaolevat/8263/selvitykset/8263_energiavaihtoehtoja.pdf))

Rakennusten energiatehokkuus - Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta. 2011.

SULPU - Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry. [www.sulpu.fi](http://www.sulpu.fi).

Tilastokeskus. [www.stat.fi](http://www.stat.fi).

Vuores-Koukkujärven energiaselvitys. VTT. 2011.

