

Maalämpömahdollisuuksien menetyks lunastustilanteessa

Selvitys maalämpömahdollisuuksien menetyksessä Länsimetron alueella

Sami Seuna, Elina Leskinen, Harri Heinaro
Motiva Oy

Esipuhe

Erilaisia maanalaisia hankkeita (esim. metrotunneli, jätevesitunneli) varten hankkeen toteuttaja tarvitsee käyttöoikeuden maanalaiseen tilaan. Hankkeet ulottuvat tyypillisesti kymmenien tai satojen kiinteistöjen alueelle, joten kaikkien kanssa sopiminen on yleensä mahdotonta. Silloin hankkeen toteuttaja, joka on yleensä kunta, kuntayhtymä tai valtio, voi joutua turvautumaan lunastusmenettelyyn, jossa tarvittava käyttöoikeus maanalaiseen tilaan perustetaan. Lunastus voi perustua maanalaiseen asemakaavaan tai erilliseen lunastuslupa.

Lunastus pannaan toimeen lunastustoimituksessa, jossa päätetään käyttöoikeuden perustamisesta ja määrätään korvausta asianosaisille hankkeesta aiheutuvista taloudellisista menetyksistä. Päätöksenteosta lunastustoimituksessa vastaa puolueeton lunastustoimikunta, johon kuuluu Maanmittauslaitoksen palveluksessa oleva maanmittausinsinööri sekä kaksi uskottua miestä.

Maanalaisessa lunastuksessa taloudellista menetystä voi aiheutua siitä, että mahdollisuus asentaa maalämpö lämmitysmuotona menetetään. Tämän selvityksen tarkoituksena on selvittää maalämmön asentamisen yleiset edellytykset sekä eri lämmitysmuotojen taloudellisuutta eri tilanteissa. Maalämmön osalta selvityksessä huomioidaan maanalaisen alueen sijainti ja syvyys suhteessa maanpintaan. Kohdetarkastelu tehdään erilaisten tyyppitalomallien avulla niin että tyyppitaloista esitetään ainakin kaksi muuta kannattavinta vaihtoehtoista lämmitysmuotovaihtoehtoa maalämpöön verrattuna.

Vertailtavina lämmitysmuotona ovat kohteesta riippuen kaukolämpö, maalämpö, ilma-vesilämpöpumppu, pellettilämmitys sekä sähkölämmitys, jonka tukilämmitysmuotona on ilmalämpöpumppu. Kohteissa arvioidaan vain kannattavimpia ja teknisesti järkeviä/mahdollisia vaihtoehtoja, ja joissakin kohteissa tietyt lämmitysmuodot voidaan rajata selvityksen ulkopuolelle kannattavuudeltaan heikkona tai teknisesti epäsopivana.

Selvityksen ovat toteuttaneet Motivassa asiantuntijat Sami Seuna, Harri Heinaro ja Elina Leskinen. Työn on tilannut Maanmittauslaitos.

Sisällys

Esipuhe	3
1 Johdanto ja rajaukset	6
1.1 Työn taustat ja lähtökohdat	6
1.2 Työn tavoite ja sisältö	6
1.3 Toimenpiteet	6
2 Länsimetron sijainti ja alueen rakennuskanta	8
2.1 Länsimetron linjaus	8
2.2 Rakennuskannan ikä alueella	9
3 Tarkasteltavat lämmitysmuotovaihtoehdot	11
3.1 Kaukolämpö	11
3.1.1 Kaukolämmön tekniikka	11
3.1.2 Alueen kaukolämpöpotentiaali	11
3.2 Maalämpö	12
3.2.1 Maalämmön tekniikka	12
3.2.2 Lämpöpumppujen hyötysuhteet ja mitoitus	12
3.2.3 Alueen maalämpöpotentiaali	14
3.3 Ilma-vesilämpöpumppu	16
3.3.1 Ilma-vesilämpöpumpun mitoitus ja lämpökerroin	17
3.4 Sähkölämmitys	18
3.5 Pellettilämmitys	18
4 Lämmitysmuotojen kustannukset	20
4.1 Kaukolämmön kustannukset	20
4.2 Sähköenergian kustannukset	21
4.3 Öljylämmitys	22
4.4 Pellettilämmitys	23
5 Vertailuun valittavat tyyppitalomallit ja lämmitysmuotovaihtoehdot	23
5.1 Tyyppitalojen energiatarpeen määrittäminen	23
5.2 Laskennan lähtötiedot	25
6 Tulokset ja yhteenveto	28
6.1 Maalämmön kannattavuus eri kohteissa	28
6.2 Huomioita liittyen tyyppitalotapauksiin	30

6.3	Korkotason ja energian hinnannousuprosentin vaikutus	30
6.4	Herkkyystarkastelu	31
7	Liitteet – lämmitysmuotojen kustannukset tyyppitaloissa	35
7.1	Uudiskohteet	35
7.1.1	U1 - omakotitalo, uusi, 120 m ²	35
7.1.2	U2 - omakotitalo, uusi, 180 m ²	37
7.1.3	U3 - rivitalo, uusi	39
7.1.4	U4 - asuinkerrostalo, uusi	41
7.1.5	U5 - toimistokerrostalo, uusi	43
7.2	Saneerauskohteet	45
7.2.1	S1 - omakotitalo, vanha, 120 m ²	45
7.2.2	S2 - omakotitalo, vanha, 180 m ²	47
7.2.3	S3 - rivitalo, vanha	49
7.2.4	S4 - asuinkerrostalo, vanha	51
7.2.5	S5 - toimistokerrostalo, vanha	53
8	Lähteet	55

1 Johdanto ja rajaukset

1.1 Työn taustat ja lähtökohdat

Erilaisia maanalaisia hankkeita (esim. metrotunneli, jätevesitunneli) varten hankkeen toteuttaja tarvitsee käyttöoikeuden maanalaiseen tilaan. Käyttöoikeus perustetaan usein lunastustoimituksessa, jossa myös määrätään korvausta maanomistajille hankkeen aiheuttamista taloudellisista vahingoista. Maanalaisella hankkeella saattaa olla vaikutusta maanpäällisten rakennusten lämmitysmuodon valintaan, sillä maalämpökaivoa käyttävä maalämpöpumpun hankkiminen voi estyä. Lunastustilanteita varten tarvitaan selvitykset, joita hyödyntäen voidaan arvottaa maanalaisen hankkeen mahdollisesti aiheuttama taloudellinen vahinko lämmitysmuodon valinnalle. Tämä selvitys palvelee lunastustilanteista koskien mm. erityisesti Länsimetroa ja soveltuvin osin myös HSY:n jätevesitunnelien rakentamista.

1.2 Työn tavoite ja sisältö

Selvityksissä tutkitaan tyyppitalojen avulla teknistaloudelliset mahdollisuudet maalämmön hankintaan sekä arvioidaan taloudelliset menetykset pakkolunastustilanteessa. Selvityksessä vertaillaan yleisimpiä, kannattavimpia jaärkevimpiä lämmitysmuotoja huomioiden erikseen kunkin tyyppitalon ominaisuudet. Selvityksessä vertaillaan maalämpöjärjestelmien ja muiden lämmitysjärjestelmien kustannuksia ja hyödynnettävyyttä Länsimetro-reitin varrella, metron maanalaisen turvaetäisyyden puitteissa. Selvityksessä pyritään omakotitalojen tyyppitaloissa tuomaan esiin maalämmölle suotuisat ja epäsuotuisat vaihtoehtotapaukset. Selvityksessä kuvataan myös tekniset ja taloudelliset vaikuttajat tyyppitalojen kohdalla.

Niiden kohteiden osalta, joissa korvauksen määrääminen voi olla realistista, voidaan tarvittaessa tehdä kohdekohtainen lausunto. Erillisselvityksessä selvitetään myös laskennallisesti ja teknisesti mahdolliset vaihtoehdot maalämmölle kannattavuustarkasteluineen.

1.3 Toimenpiteet

Selvityksessä vertaillaan sekä olemassa olevia rakennuksia, että uudisrakennuksia tyyppitalomallien avulla. Tyyppitalomallit valitaan huomioiden alueen rakennuskannan ikä ja tyypillinen energiatehokkuustaso kussakin tyyppiratkaisussa. Selvityksessä vertaillaan valittujen lämmitysmuotojen kannattavuutta elinkaarilaskentana eri skenaarioilla. Vertailtavat lämmitysmuodot valitaan huomioiden tyyppitalojen tekniikka ja elinkaarivaihe sekä eri lämmitysmuotojen vaatimukset ja se, olisiko maalämpö edes teknisesti mahdollinen valinta. Mukana katsaus toimenpidelupa-asiaan. Laskennassa käytettäviä skenaarioita ovat:

- Lämmitysmuodon investointirahoituksen vuotuinen korkotaso 2 % tai 4 %
- vuotuinen energian hinnan nousu 1 % tai 3 %.

Selvityksessä hyödynnetään Motivan lämmitystapojen vertailulaskuria (<http://lammitysvertailu.eneuvonta.fi/>), jolla lasketaan aluksi tyyppitaloille vuotuinen ominaisenergiankulutus ja lopulta eri lämmitysmuotojen kannattavuuslaskelmat.

Lämmitysmuodon elinkaareksi valitaan 20 vuotta, eli vertailussa huomioidaan kunkin lämmitysmuodon kumulatiiviset kokonaiskustannukset 20 vuoden ajalta. Laskennassa ei huomioida lämmitysmuotojen huolto- ja korjauskuluja, koska niiden vaikutus elinkaarikustannuksiin on yleensä marginaalinen. Selvityksessä ei myöskään huomioida lämmitysmuodon vaihdon vaikutusta rakennuksen jälleenmyyntiarvoon. Vertailtavat lämmitysmuodot valitaan laskurin tuloksien perusteella niin että tarkempaan arviointiin otetaan kohteelle mukaan kaksi kannattavinta vaihtoehtoa maalämmön ohella.

Tuloksia tulkitessa tulee huomioida, että nykyään uusien lämpöpumppujen ilmoitetut lämpökertoimet ovat selvästi korkeampia kuin laskennassa käytetyt taulukkoarvot. **Laskennassa käytettyjen COP-arvojen voidaan sanoa olevan käytännössä nykyään minimitason arvioita tyyppitalokohteissa uusien järjestelmien kohdalla.**

Taulukossa 1 on esitetty tässä selvityksessä käytettävät tyyppitaloesimerkit. Yksinkertaisuuden vuoksi jatkossa tässä selvityksessä käytetään tyyppitaloista niiden kohdalla mainittua tunnusta.

Taulukko 1 Selvityksessä käytettävät tyyppitaloesimerkit

Tyyppitalo	Tunnus	Rakennus- vuosi	Pinta- ala (m ²)	Asuntojen lukumäärä	Asukas- luku	Huone- korkeus (m)
Omakotitalo, uusi	U1	2010-	120	1	4	2,6
Omakotitalo, vanha	S1	1980	120	1	4	2,6
Omakotitalo, uusi	U2	2013-	180	1	4	2,6
Omakotitalo, vanha	S2	1980	180	1	4	2,6
Rivitalo, uusi	U3	2013-	320	4	9	2,6
Rivitalo, vanha	S3	1980	320	4	9	2,5
Kerrostalo, uusi	U4	2013-	950	19	45	2,6
Kerrostalo, vanha	S4	1970	950	19	45	2,5
Toimistokerrostalo, uusi	U5	2010-	10 000	-	-	2,8
Toimistokerrostalo, vanha	S5	1980	10 000	-	-	2,8

2 Länsimetron sijainti ja alueen rakennuskanta

2.1 Länsimetron linjaus

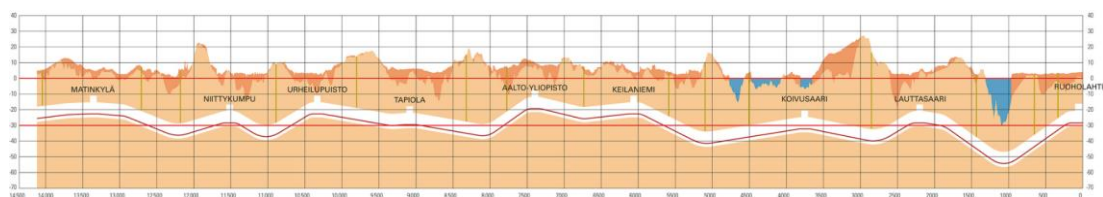
Länsimetron ykkösvaiheen pituus (Ruoholahdesta Matinkylään) on 14 km ja kakkosvaiheen (Matinkylästä Kivenlahteen) 7 km [1]. Länsimetrossa on yhteensä 13 asemaa, joista kaksi sijaitsee Helsingissä ja loput Espoossa. Valmiita ykkösvaiheen asemia ovat Lauttasaari, Koivusaari, Keilaniemi, Aalto-yliopisto, Tapiola, Urheilupuisto, Niittykumpu ja Matinkylä. Rakenteilla olevia kakkosvaiheen asemia ovat Finnoo, Kaitaa, Soukka, Espoonlahti ja Kivenlahti. Kuvassa 1 näkyy Länsimetron linjaus ja asemat. [2]



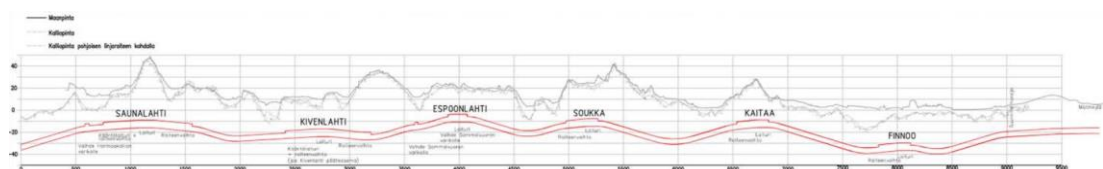
Kuva 1 Länsimetron linjaus ja asemat. [2]

Tunnelisto koostuu kahdesta rinnakkaisesta tunnelista, joista yhden leveys on kuusi metriä. Tunnelien etäisyys toisistaan vaihtelee 13-17 metrin välillä. Kääntöraiteiden kohdalla etäisyys voi olla suurimmillaan 50 metriä. Asemalaiturit ovat 90 m pitkiä ja noin 12-23 metriä leveitä. **Maalämpökaivon edellyttämä turvaetäisyys tunnelista on 25 m**, eli sitä lähemmäs ei saa tehdä lämpökaivoja ilman Länsimetron erillistä lupaa. [3, 4]

Metro kulkee noin 10-57 metrin syvyydellä merenpinnasta ollen syvimmillään kohdissa, joissa tunneli alittaa meren. Mantereella tunnelin etäisyys maan pinnasta vaihtelee noin välillä 10-50 m. Kuvissa 2 ja 3 näkyvät metron ykkös- ja kakkosvaiheen korkeusprofiilit. [2, 5]



Kuva 2 Länsimetron ykkösvaiheen korkeusprofiili [2]



Kuva 3 Länsimetron kakkosvaiheen korkeusprofiili. Kuva on suunnitteluvaiheesta, jolloin vaihtoehtona oli jatkaa metroa Saunalahteen saakka. [5]

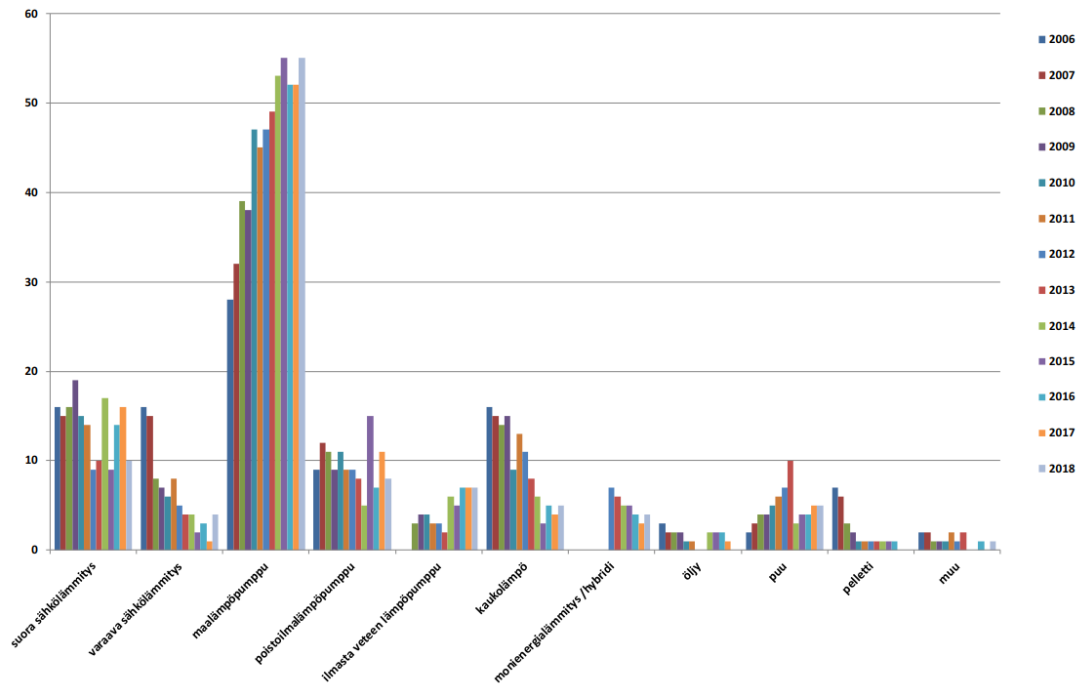
2.2 Rakennuskannan ikä alueella

Taulukossa 2 on luokiteltu Espoon ja Helsingin rakennukset ikäryhmiin talotyyppin ja valmistumisvuosikymmenen mukaan. Taulukosta nähdään, että 1980-luku on tyypillisin valmistumisvuosikymmen, paitsi Espoossa kerrostalojen kohdalla yleisin on 1970-luku. [6]

Taulukko 2 Rakennuskannan valmistumisvuosi Espoossa ja Helsingissä talotyypeittäin

Valmistumisvuosi	Erilliset pientalot				Rivi- ja ketjutalot				Asuinkerrostalot				Toimistorakennukset			
	Espoo		Helsinki		Espoo		Helsinki		Espoo		Helsinki		Espoo		Helsinki	
	Rakennuksia (kpl)	Osuus (%)	Rakennuksia (kpl)	Osuus (%)	Rakennuksia (kpl)	Osuus (%)	Rakennuksia (kpl)	Osuus (%)	Rakennuksia (kpl)	Osuus (%)	Rakennuksia (kpl)	Osuus (%)	Rakennuksia (kpl)	Osuus (%)	Rakennuksia (kpl)	Osuus (%)
- 1920	430	2 %	501	2 %	3	0 %	41	1 %	6	0 %	703	7 %	11	3 %	223	23 %
1921 - 1939	506	2 %	1469	7 %	0	0 %	9	0 %	2	0 %	1268	12 %	1	0 %	90	9 %
1940 - 1959	3128	11 %	4255	20 %	52	1 %	145	3 %	92	3 %	1444	14 %	10	3 %	107	11 %
1960 - 1969	1843	7 %	1941	9 %	232	6 %	309	7 %	329	11 %	1628	15 %	24	7 %	113	12 %
1970 - 1979	2738	10 %	1455	7 %	536	14 %	1014	23 %	625	21 %	1147	11 %	50	14 %	106	11 %
1980 - 1989	5097	18 %	3998	19 %	1221	31 %	1493	34 %	496	17 %	1654	16 %	106	29 %	155	16 %
1990 - 1999	4543	16 %	2608	13 %	919	24 %	560	13 %	523	18 %	1296	12 %	69	19 %	66	7 %
2000 - 2009	5941	21 %	2743	13 %	585	15 %	524	12 %	443	15 %	780	7 %	73	20 %	84	9 %
2010 -	3489	13 %	1883	9 %	334	9 %	299	7 %	445	15 %	678	6 %	24	7 %	36	4 %
ytteensä	27715		20853		3882		4394		2961		10598		368		980	

Selvityksen olemassa olevien tyyppitalojen iät valitaan niin, että ne edustavat Espoon alueella tyypillisintä rakennusvuosikymmentä. Kaikkien muiden tyyppitalomallien rakennusvuodeksi valitaan 1980, paitsi olemassa olevan asuinkerrostalon rakennusvuodeksi 1970.



Yllä yhteenvetona kuvassa lämmitysjärjestelmien markkinaosuus uusissa omakotitaloissa vuosina 2006-2018. Monienergiälämmitys/hybridi -lämmitysmuodon osalta tilasto on saatavilla vain vuosilta 2012-2018. Lämmitysmuodon valinta on selvitetty osana PRKK:n jokavuotista rakentajakyselyä. Kyselyn vastaajien painotus on normijakaumaa enemmän Pohjois-Suomen eteläpuolella. Lähde: Pientalorakentamisen kehittämiskeskus ry, PRKK

Tarkempaa tietoa lämmitysmuotojen yleisyydestä eri kokoluokan taloissa löytyy Motivan julkaisemasta selvityksestä: https://www.motiva.fi/files/11506/Pientalot_Uudisrakentamisen_energiatehokkuustaso_2013-2015.pdf

3 Tarkasteltavat lämmitysmuotovaihtoehdot

3.1 Kaukolämpö

3.1.1 Kaukolämmön tekniikka

Kaukolämpöä tuotetaan lämpöä ja sähköä tuottavissa voimalaitoksissa ja lämpökeskuksissa. Lämpö siirretään käyttäjille kaukolämpöverkossa kiertävän 70–120 -asteisen lämmitysveden avulla. Kaukolämpöverkosta lämpö siirretään käyttäjän lämmönjakokeskukseen, jossa on oma lämmönsiirrin tilojen lämmitykselle ja lämpimälle käyttövedelle. Lämmönsiirtimien lisäksi lämmönjakokeskukseen kuuluu säätölaitteet, kiertovesipumput, paisunta- ja varolaitteet, mittarit ja sulkuventtiilit. Lämmönsiirrin erottaa kaukolämpöverkossa kulkevan veden ja talon lämmönjakojärjestelmässä kulkevan veden toisistaan. Kaukolämpötalossa ei tarvita erillistä lämminvesivaraajaa.

Kaukolämpö sopii erityisesti tiheästi rakennetulla alueella sijaitseviin pientaloihin, joissa kaukolämpöverkko on talon ulottuvilla. Käyttäjän kannalta kaukolämpö on hyvin vaivaton, sillä se ei vaadi juurikaan huoltoa tai ylläpitoa.

3.1.2 Alueen kaukolämpöpotentiaali

Kiinteistön kannattava liittäminen kaukolämpöverkkoon edellyttää, että se sijaitsee riittävän lähellä kaukolämpöverkkoa. Länsimetro kulkee Helsingissä Helen Oy:n ja Espoossa Fortum Oyj:n kaukolämpöverkon alueella. Helen Oy:n kaukolämpöverkkokartan perusteella voidaan todeta, että kaukolämpöverkko kattaa Länsimetron Helsingin puoleisen osan. Samoin Fortumin kaukolämpöverkkokartan perusteella voidaan todeta, että metron lähes koko linjaus kulkee lähellä tai melko lähellä kaukolämpölinjaa. Tunnelin etäisyys nykyisestä kaukolämpöverkosta on pisimmillään Espoossa Kaitaan ja Finnoon aseman välillä, jossa etäisyys on hetkittäin jopa 200-300 m. Samoin Espoonlahden pohjoispuolella oleva Sammalvuoren varikko sijaitsee pisimmillään noin 200-300 m etäisyydellä nykyisestä kaukolämpöverkosta. On kuitenkin todennäköistä, että metron valmistuessa myös kaukolämpöverkko laajenee. Tässä raportissa oletetaan kaikkien tarkasteltavien kohteiden olevan niin lähellä kaukolämpöverkkoa, että siihen liittyminen on mahdollista ilman merkittäviä johtomaksuja. [7, 8]

3.2 Maalämpö

3.2.1 Maalämmön tekniikka

Maalämpöpumppu (MLP) kerää maaperään, kallioon tai veteen varastoitunutta auringon lämpöä. Lämpökaivossa lämpöä saadaan maapallon ytimeistä kallioperään johtuvasta fissioenergiasta sekä lämpimistä pohjavesivirtauksista, jotka tehostavat lämpökaivon kuormituskestävyyttä.

Maalämmön keruulaitteisto voidaan toteuttaa joko pintajärjestelmänä tai kaivojärjestelmänä. Pintajärjestelmässä energia kerätään noin metrin syvyyteen lasketun vaakaputkiston avulla. Kaivojärjestelmässä kallioon porataan tyypillisesti 150-300 metriä syviä energiakaivoja. Pintajärjestelmässä etenkin suurien kohteiden ongelmana on vaadittavan maa-alueen suuri koko, ja lisäksi pintaputkisto on altis routavaurioille. Nykyään Suomessa asennettavista uusista maalämpöpumpuista yli 90 % toteutetaan lämpökaivon avulla, vaikka se on lämmönkeruuvaihtoehtoista yleensä kallein toteutustapa. [9]

Lämpökaivo on ulkohalkaisijaltaan 115-165 mm porakaivo, johon asennetaan lämpöä keräävä putkisto, jossa etanoliliuos kiertää. Vaihtoehtona lämpökaivolle ovat vaakaputkisto tai vesistön käyttö keruupiirin asennuspaikkana. Hiekkaperäisessä maassa putkea tarvitaan noin 60% enemmän kuin savimaa-asennuksessa.

Lähellä sijaitsevan vesistön pohja voi olla mahdollinen keruuputkiston sijoituspaikaksi mutta vesistön soveltuvuus on hyvin tapauskohtaista. Vesistöupotus on realistinen vaihtoehto lähinnä silloin, kun talo sijaitsee tontilla, jossa on omaa rantaa. Vesistöupotus edellyttää myös vesialueen omistajan lupaa.

Maalämpö edellyttää aina toimenpidelupaa kaupungin rakennusvalvonnasta. Toimenpideluvan saantiin vaikuttavat muun muassa mahdolliset maanalaiset rakenteet taajama-alueella, pohjavesialueet ja suojaetäisyydet rakennuksiin, tonttirajoihin sekä muihin kaivoihin. Jos putkistoa suunnitellaan asennettavaksi vesistöön, on saatava lupa myös vesialueen omistajalta.

Koska uudisomakotitalon kohdalla kustannuserot eri lämmönkeruupiirityyppien välillä ovat melko pieniä, ja koska lämpökaivo on ylivoimaisesti yleisin maalämmön asennustapa, käytetään tämän selvityksen kustannusvertailussa lämpökaivoa.

3.2.2 Lämpöpumppujen hyötysuhteet ja mitoitus

Lämpökerroin (COP)

Lämpöpumpun tehokkuutta kuvaa lämpökerroin (COP = coefficient of performance). Se kertoo, kuinka paljon pumppu tuottaa lämpöä kyseisellä hetkellä ja kyseisissä olosuhteissa suhteessa sen käyttämään sähköenergiaan. Lämpökerrointa voi ajatella laitteen hyötysuhteena tietyissä olosuhteissa. Esim. lämpökerroin kolme vastaa 300 % lämpöä suhteessa laitteen kuluttamaan sähköön.

Saman lämpöpumpun vuotuinen lämpökerroin voi vaihdella suuresti eri kohteiden ja olosuhteiden mukaan. Maalämpöpumpuilla lämpökerroin COP ilmoitetaan yleensä olosuhteissa: maaliuos 0 astetta ja lämmönjako +35 astetta. Lämmönjakolämpötila ilmoitetaan usein erikseen lisäksi +50 asteen lämpötilatasolla. Ilma-vesilämpöpumpuilla ja ilmalämpöpumpuilla ulkolämpötilana käytetään +7 astetta. Ilma-

vesilämpöpumpun lämmönjako ilmoitetaan yleensä olosuhteissa +35. Lämpökerroin on sitä parempi, mitä pienempi on lämpötilaero lämmönlähteen – esimerkiksi maaperän/ulkoilman – ja lämpöä asuntoon luovuttavan putkiston välillä.

Lämpökerroin ilmoitetaan yleensä jonkin standardin mukaisesti, joka määrittelee olosuhteet. Standardista myös riippuu, lasketaanko esim. kiertovesipumput mukaan lämpökertoimeen. Ilmalämpöpumppujen ja ilma-vesilämpöpumppujen kohdalla on lisäksi tarkistettava ulkoyksikön sulatuksen vaikutus COP-arvoihin. Eri laitemallien lämpökertoimia verrattaessa on huomioitava, että kunkin laitteen standardi on sama, muutoin lukemat eivät ole keskenään vertailukelpoisia.

Yleensä lämpöpumppuja koskevat mittausstandardit kuvaavat paremmin Keski-Euroopan ilmasto- ja lämmitysolosuhteita kuin Suomen olosuhteita, minkä vuoksi useat lämpökerroinstandardit antavat suomalaisittain katsottuna liian optimistisen kuvan laitteen energiatehokkuustasosta. Yleisen standardin mukainen COP-arvo ei huomioi käyttöveden tuotantoa, joka tapahtuu aina huonommalla lämpökertoimella kuin lämmitysverkon lämmöntuotto.

Kausilämpökerroin SCOP

SCOP (Seasonal COP = seasonal coefficient of performance) on vuotuinen lämpökerroin, joka ilmoitetaan tietyllä ilmastovyöhykkeellä (Etelä-Eurooppa / Keski-Eurooppa / Pohjois-Eurooppa). Pohjois-Eurooppaa edustaa Helsinki. EU-direktiivissä on määritetty sallitut ylärajat SCOP-arvoille. Vuodesta 2013 lähtien SCOP-luvut on ollut pakollista ilmoittaa EU-maissa uusille maahantuotaville/valmistettaville ilmalämpöpumpuille ainakin Keski-Euroopan ilmastovyöhykkeen mukaan (Strasbourg, Ranskassa lähellä Saksan rajaa). Helsinkiä kuvaava SCOP-luku olisi kylmemmän ilmaston vuoksi alhaisemmalla tasolla, Pohjois-Suomesta puhumattakaan.

SCOP antaa COP-lukua paremmin suuntaa laitteen hankinnan kannattavuudesta. Maalämpöpumpun yhteydessä tarkastellaan SCOP-arvossa maaliuksen lämpötilaa ja lämmönjakupuolen lämpötilaa. Pakollinen ilmoitettu arvo (Keski-Euroopan vyöhyke) kuvaa laskennallista vuotuista keskimääräistä lämpökerrointa, vapaaehtoisena voidaan myös ilmoittaa Etelä-Euroopan ja Pohjois-Euroopan (vertailupaikkakuntana Helsinki) arvot. Pohjois-Suomessa vuotuinen lämpökerroin on selvästi heikompi kuin Etelä-Suomessa. SCOP-arvoja voi vertailla keskenään kuten myös COP-arvoja keskenään, kunhan huomioi että maantieteelliset vertailupaikkakunnat (SCOP) ja mittausstandardit (COP) ovat vertailuryhmässään samat. SCOP-arvo ei huomioi käyttöveden tuotantoa, joka tapahtuu aina huonommalla lämpökertoimella kuin lämmitysverkon lämmöntuotto. SCOP-arvot löytyvät laitteen energiamerkistä.

SPF-arvo

Kausilämpökerroin (SPF) on keskimääräinen vuotuinen lämpökerroin. SPF ilmoittaa saadun käyttökelpoisen lämpöenergian määrän suhteessa käytettyyn sähköenergiaan vuodessa. Kun laite on tuottanut vuodessa 30 000kWh lämpöä ja kompressori on kuluttanut apulaitteineen 10 000kWh sähköä, tulee SPF-luvuksi 3. Määritelmä riippuu jossain määrin käytetystä standardista. Suomessa rakentamismääräyskokoelman yhteydessä käytettyyn SPF-lukuun ei sisälly sähkövastuksen vuotuista kulutusta.

SPF-arvo huomioi myös vuotuisen käyttöveden tuotanto-osuudesta aiheutuvan lämpökerronta alentavan vaikutuksen, toisin kuin on SCOP- ja COP-arvojen kohdalla. Kannattavuuslaskennat tulisi tehdä SPF-arvoa käyttäen, huomioiden myös sähkövastuksen vuosikulutusta lisäävän vaikutuksen, ei missään tapauksessa suoraan COP- tai SCOP-arvoa käyttäen.

Maalämpöpumpun tehomitoitus

Maalämpöpumppu mitoitetaan joko täystehoiseksi tai ns. osatehomitoituksella. Osatehomitoituksessa 60–80 prosentin tehoasteella tuotetaan noin 95–99 prosenttia vuotuisesta energiantarpeesta. Loput 1-5 prosenttia tuotetaan tuolloin maalämpöpumpun vara-/lisä-lämmitysvastuksella. Laskennassa käytetään täystehomitoituksen laskentatapaa maalämpöpumpulle. [10]

Maalämpöpumpun hyötysuhde riippuu oleellisesti lämmönlähteen ja lämmönluovutuksen lämpötiloista ja pieni lämpötilaero korreloi hyvän hyötysuhteen kanssa. Laitetasolla tähän vaikuttaa myös jopa huomattavasti laitekohtaiset erot, kuten mm. elektroninen/mekaaninen paisuntaventtiili, kierroslukuohjattu (inverter) / on-off -tyyppinen kompressori ja kiertovesipumpun/maaliuosumpun energiatehokkuus.

Selvityksessä käytetyt maalämpöpumppujen SPF-luvut on esitetty taulukossa 3. Hyötysuhteen arvioinnissa on huomattava, että selvityksessä käytetyt lämpökertoimet ovat tasoltaan hieman vanhentuneita (määritetty Lämpöpumppujen energialaskentaoppaassa, joka on julkaistu jo vuonna 2012).

Taulukko 3 Maalämpöpumppujen SPF-lukuja. [11]

Maalämpöpumppu max. lämpötila (menovesi), °C	SPF-luku	
	Vuotuinen keruupiirin paluunesteen keskilämpötila, °C	
	-3	+3
Tilojen lämmitys		
30	3,4	3,5
40	3,0	3,1
50	2,7	2,7
60	2,5	2,5
Käyttöveden lämmitys		
60	2,3	2,3

Normaalirakenteisessa uudistalossa, jossa on lattialämmitys, on käytetty lämpöpumpun olosuhdearvoa tilojen lämmitysvedelle +40 astetta ja matalaenergiatalolle +30 astetta. Matalaenergiatalossa riittää selvästi alhaisempi menoveden lämpötilataso kuin normaalirakenteisessa. Lämmönkeruuliuksen paluulämpötilana on käytetty +3 astetta. Käyttöveden tuotto-osuus on huomioitu laskennassa.

3.2.3 Alueen maalämpöpotentiaali

Maalämmön saatavuuteen vaikuttavat eniten maa- ja kallioperän lämmönjohtavuus ja lämpötila sekä pohjaveden virtaukset ja virtaussuunnat kaivossa, kaivon ominaisuudet ja maanpeitteen paksuus.

Suomessa kallioperän lämmönjohtavuus vaihtelee tyypillisesti välillä 2-4 W/mK [12]. Maalajien lämmönjohtavuus on heikempi kuin kiteisen kallion, joten maanpeitteen paksuudella on merkittävä vaikutus maalämpöpotentiaaliin. Maalajien heikempi lämmönjohtavuus on kompensoitava kaivon pidemmällä syvyydellä, mikä lisää porauskustannuksia ja siten heikentää kannattavuutta. Lisäksi energiakaivon yläosaan niin kutsutulle maaperäosuudelle tulee asentaa suojaputki, joka estää irtoaineksen pääsyn energiakaivoon ja pohjaveteen. Maaporaus ja suojaputken asennus lisäävät kustannuksia merkittävästi, etenkin jos maanpeitepaksuus ylittää 10-20 metriä. Sitä pienemmillä paksuuksilla maanpeitteen vaikutus energiakaivon porauskustannuksiin on hyvin pieni tai olematon, ja sitä suuremmilla paksuuksilla maapeitteen paksuus voi muodostaa merkittävän osan energiakaivon porauskustannuksista. Maanpeitteen paksuudelle ei voida kuitenkaan määrittää yksiselitteistä rajaa, jonka jälkeen energiakaivon poraus olisi kannattamatonta. [9, 13, 14]

Länsimetron alueella maanpeitepaksuudet vaihtelevat 0 ja 20 metrin välillä. Maaperä on suurimmaksi osaksi hiekkaa ja moreenia [5]. Korkeat hiekkaharjut lisäävät maalämmön lämpökaivon porauskustannuksia ja heikentävät sen tehokkuutta, kun taas maanpinnassa tai sen lähellä oleva kiintokallio vähentää kustannuksia. Alueen kallioperä koostuu kovaseoksisista kivilajeista. Alueella esiintyy myös kalliopainanteita ja kallion heikkousvyöhykkeitä. Heikkousvyöhykkeiden välillä kallionlaatu on hyvää tai kohtalaista. Maa- ja kallioperätietoja on avattu tarkemmin lähteessä 15. [15]

Pohjavesiesiintymät voivat tietyissä tilanteissa rajoittaa maalämmön hyödynnettävyyttä alueella. Länsimetrotunnelin lähellä ei kuitenkaan esiinny sellaisia tärkeäksi luokiteltuja pohjavesialueita jotka voisivat kategorisesti estää maalämmön toimenpideluvan saannin.

Länsimetron Espoon puoleisen alueen maalämpöpotentiaalia voi tarkastella osoitteessa kartat.espoo.fi. Kuvassa 4 näkyy metron linjaus ja alueen soveltuvuus maalämmölle. Kuvista nähdään, että metro sijoittuu suureksi osaksi alueelle, joka soveltuu lämpökaivolle hyvin tai erittäin hyvin. Kallion päällä oleva maanpeite on silloin ohut ja tarvittava maaputkiosuus on alle 5 metriä. **Länsimetron linjauksen kohdalla esiintyy myös alueita, joiden soveltuvuus lämpökaivolle on huonompi tai jotka eivät sovellu maalämmön hyödyntämiseen lainkaan. Tällaisia alueita on etenkin Kaitaan-Finnoon-Matinkylän välisellä alueella sekä Niittykummun ja Urheilupuiston asemien läheisyydessä.** Helsingin osalta yhtä yksityiskohtaista karttaa ei ole saatavilla.



Kuva 4 Länsimetron Espoon puoleisen osan linjaus ja alueen maalämpöpotentiaali. [16]

Kuvan kartta on suuntaa antava, ja potentiaalia tulee aina tarkastella tapauskohtaisesti. Etenkin usean lämpökaivon energiakentäksi kaavailun alueen kallioperän ominaisuudet tulee selvittää perusteellisesti ennen kaivon hankintaa, muuten riskinä on energiantuotannon tyrehtyminen. Lisäksi potentiaalia harkitessa tulee huomioida alueen kallioperän kaavarasitteet ja maanalaiset suunnitelmat. Porakaivojen rakentaminen etenkin tiheästi rakennetulla kaupunkialueella saattaa olla hankalaa tontille rakennettujen tai suunnitteilla olevien luolien, tunneleiden, vesijohtojen tai sähkölinjojen vuoksi.

3.3 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumppu (UVLP) ottaa lämpöenergiaa ulkoilmasta. Ilma-vesilämpöpumppuja on pääasiassa kahta tyyppiä: split-laitteita ja monoblock-laitteita. Split-laitteissa lämpöpumpun kylmäkoneisto on jaettu kahteen osaan: ulkoyksikköön ja sisäyksikköön, joiden välillä kiertää kylmäaine. Monoblock-laitteissa kaikki tekniikka on ulkoyksikössä, sisällä olevien varaajien/varaajan ja ulkoyksikön välissä kiertää pelkkä vesi. Monoblock-laite voidaan myös kytkeä suoraan olemassa olevaan lämmitysjärjestelmään, esimerkiksi öljykattilan rinnalle. Split-järjestelmä on Suomessa yleisin järjestelmätekniikka, joten sitä käytetään vertailussa.

Suurin osa markkinoilla olevista ilma-vesilämpöpumpuista on niin sanottuja inverter-malleja, joissa laitteen tuottamaa lämmitystehoa säädetään kompressorin kierroslukua ohjaamalla. On suositeltua hankkia tasavirtaohjattu (inverter) lämpöpumppumalli. Tasavirtaohjaus parantaa myös hyötysuhdetta,

kompressorin elinikää ja vähentää kompressorin käynnistymisestä johtuvaa hetkellistä sähkövirran kulutushuippua.

3.3.1 Ilma-vesilämpöpumpun mitoitus ja lämpökerroin

Korkea menoveden lämpötila heikentää lämpöpumpun antotehoa ja hyötysuhdetta. On huomioitava, että useilla UVLP-malleilla yli 50-asteinen lämmöntuotanto tilojen lämmitys- ja käyttövesipuolelle on ongelmallista varsinkin kovempien pakkasten aikana.

Käyttövesi lämmitetään ainakin 60 asteeseen. Tarvittaessa veden lämpötilaa nostetaan vesivaraajan sähkövastuksella.

Laitekohtaiset energiatehokkuuserot voivat olla suuria. On huomattava, että ilma-vesilämpöpumppu antaa noin 50 % vähemmän tehoa -20 asteen kelillä kuin +7 asteen lämpötilassa, jossa laitteiden tehot yleensä ilmoitetaan. Kovalla pakkasella laitteen teho on pieni ja se saattaa jopa sulkea itsensä, jolloin ollaan täysin sähkövastuksien varassa.

Ilma-vesilämpöpumpun hyötysuhde riippuu oleellisesti lämmönlähteen ja lämmönluovutuksen lämpötiloista. Pieni lämpötilaero korreloi hyvän hyötysuhteen kanssa. Laitetasolla tähän vaikuttaa myös jopa huomattavasti laitekohtaiset erot, kuten mm. elektroninen/mekaaninen paisuntaventtiili, kierros-lukuohjattu/on-off -tyyppinen kompressori ja kiertovesipumppujen energiatehokkuus.

Normaalirakenteisessa uudistalossa on käytetty lämpöpumpun olosuhdearvoa tilojen lämmitysvedelle +40 astetta ja matalaenergiatalolle +30 astetta. Matalaenergiatalossa riittää selvästi alhaisempi lämpötilataso kuin normaalirakenteisessa.

Taulukossa 4 on esitetty ilma-vesilämpöpumppujen keskimääräisiä lämpökertoimia. Kuten maalämpöpumpuilla, myös ilma-vesilämpöpumppujen hyötysuhteen arvioinnissa on huomattava, että käytetyt lämpökertoimet ovat hieman vanhentuneita (määritetty Lämpöpumppujen energialaskentaoppaassa joka on julkaistu jo vuonna 2012).

Taulukko 4 Keskimääräiset lämpökertoimet eräille lämpötilatasoille [11]

Lämpötilataso	SPF-luku
käyttövesi 60 astetta	1,8
maksimilämpötila 30 astetta	2,8
maksimilämpötila 40 astetta	2,5
maksimilämpötila 60 astetta	2,2

Erityisen tärkeää on muistaa, että kaikkein kylmimmissä olosuhteissa UVLP sammuttaa itse itsensä, joten laitteen sähkövastuksen tai rinnalla olevan toisen lämmönkehittimen on oltava teholtaan vähintään yhtä suuri kuin talon lämmitys- ja käyttöveden tehonkulutus suurimmillaan.

3.4 Sähkölämmitys

Sähkölämmitys voidaan toteuttaa joko vesikiertoisena sähkölämmityksenä, ilmalämmityksenä tai huonekohtaisena sähkölämmityksenä patterien tai lämmityskaapeleiden avulla, jolloin käyttöveden lämmitykseen tarvitaan erillinen vesivaraaja. Uudiskohteen kohdalla selvityksessä tarkastellaan vain sähkökaapeleilla toteutettua lämmitystapaa, koska se on yleisin tekninen ratkaisu sähkölämmitteisissä uudistaloissa.

Suoran sähkölämmityksen etuja ovat edullinen investointi, toimintavarmuus, nopea reagointi ja tarkkuus lämpötilasäädöissä sekä erittäin korkea energiatehokkuus lämmön jakamisessa. Haittapuolena ovat korkeat käyttökustannukset.

Ilmalämpöpumppu sähkölämmityksen tukilämmityslähteenä

Ilmalämpöpumppu (ILP) koostuu ulkoyksiköstä ja yhdestä tai useammasta sisäyksiköstä. Ulkoyksikkö kierrättää ulkoilmaa lävitseen ja jäähdyttää sen, kun laite toimii lämmityskäytössä. Jäähdytyskäytössä ulkoyksikkö puolestaan lämmittää ulkoilmaa. Kompressorin avulla talteen otettu lämpö siirretään sisäyksikköön, joka luovuttaa lämmön huoneilmaan. Useimmissa sähkölämmitystaloissa käytetään ilmalämpöpumppua tukilämmitysmuotona, siksi se on otettu mukaan vertailuun sähkölämmitysmuotoa täydentäväksi lämmitysmuodoksi. Ilmalämpöpumput antavat noin 50 prosenttia vähemmän tehoa -20 asteen pakkasella, kuin +7 asteen lämpötilassa.

Yksi ilmalämpöpumpun sisäyksikkö levittää lämpöä tavallisesti rakennusmuodosta ja koosta riippuen noin 30-100 m² alueelle. Väliseinät ja monimutkainen talorakenne rajoittavat merkittävästi lämmön siirtymistä muihin huonetiloihin. Näin lämpöpumpun tehokkuuden lisääminen ei välttämättä aina alenna talon energiankulutusta. Tehokas energiansäästäminen edellyttää myös sitä, etteivät muut saman vaikutusalueen lämmittimet kilpaile lämmityksessä ilmalämpöpumpun kanssa.

Laadukkaan ilmalämpöpumpun kustannus on asennettuna noin 1 500-2 500 €. Laskennassa laiteinvestointina käytetään summaa 2 000 €. Ilmalämpöpumpun vuotuisen säästöarvion muodostamisessa on käytetty Motivan Elvari -hankkeen tutkimustuloksia, uusien ilmalämpöpumppujen teknisiä tietoja sekä VTT:n tutkimusta: Ilma-ilmalämpöpumppujen energiankulutusvaikutukset pientaloissa. [17]

Sähkölämmityksen tehostamishankkeessa (Elvari) todettiin säästö määrän vaihtelevan merkittävästi talokohtaisten tekijöiden vuoksi. Myös muun lämmitysjärjestelmän säätö ja talon ominaislämmitystarve (kWh/m² vuodessa) vaikuttavat säästötulokseen paljon.

3.5 Pellettilämmitys

Pellettilämmitysjärjestelmä koostuu kattilasta, polttimesta, siirtoruuvista ja varastosiihosta. Pelletit varastoidaan siiloon kattilahuoneen läheisyyteen. Pellettejä poltetaan erityisesti pellettien polttoon suunnitelluissa polttimissa. Polttimen ohjausyksikkö säätää syöttöruuvin, palamisilmapuhaltimen ja polttimen toimintaa lämmön tarpeen mukaan.

Pellettilämmitys soveltuu korkean patteriverkkolämpötilatason vuoksi erinomaisesti olemassa oleviin kohteisiin. Pelletin etuna polttoaineena on, että se on uusiutuvaa energiaa ja sen ympäristökuormitus on hyvin pieni. Käyttäjältä pellettilämmitys vaatii hieman enemmän työtä kuin esimerkiksi kaukolämpö. Pellettikattila nuohotaan ja tuhkat poistetaan säännöllisesti. Osa kattilatyypeistä tulee huoltaa 1-2 kuukauden välein, täysautomaattiset kattilat muutaman kerran vuodessa. Myös pellettisiilo on hyvä puhdistaa säännöllisesti. Pellettilämmitysjärjestelmissä on jonkin verran käyntihäiriöitä, erityisesti jos pelletin laatu on huonoa.

Pellettijärjestelmän hankinta edellyttää, että kohteessa on riittävästi tilaa järjestelmän asennukselle joko sisälle tai erilliseen rakennukseen. Pellettisiilon tulee olla täysin kuiva, pölytiivis ja sähkötön. Esimerkiksi omakotitalossa sopiva siilon koko on noin 8 m³. Pelletti voidaan toimittaa asiakkaalle säiliöautolla, kun tilausmäärä on vähintään 4 tonnia. Tällöin säiliöauton on päästävä vähintään 15 metrin etäisyydelle pellettivarastosta. Pellettiä voidaan hankkia myös 500 kg:n suursäkeissä. Pellettilämmityksen kannattavuus on sitä parempi, mitä suurempi kohde on. [18]

4.1 Kaukolämmön kustannukset

Suomessa kaukolämmön hinta koostuu tyypillisesti liittymismaksusta ja käyttökustannuksista, joita ovat tyypillisesti perusmaksu ja energiamaksu. Liittymisen yhteydessä voidaan periä erillinen johtomaksu, mikäli liittymisjohdon pituus ylittää liittymismaksuun kuuluvan osuuden. Liittymismaksuun ei tyypillisesti kuulu lämmönjakokeskus, joten sen hankinta ja asennus lisäävät lisää liittyjän kustannuksia. [19]

Liittymismaksu on kertaluontoinen kulu, joka maksetaan asiakkaan liittyessä kaukolämpöverkkoon. Lämmön myyjä kattaa liittymismaksulla liittymisen investointikustannuksia. Helsingin (Helen Oy) ja Espoon (Caruna Espoo Oy) kaukolämmön liittymishinnoissa on pieniä eroja, mutta koska suurin osa kohteista sijoittuu Espooseen, käytetään tässä Espoon kaukolämpöhinnointilua.

Espoossa omakotitalon liittymismaksu on alkaen 5 800 € (sisältäen arvonlisävero 24 %) [20]. Liittymismaksua korotetaan 370 €/m, jos liittymisjohdon pituus jakelulinjasta mittauskeskukselle ylittää 20 m. Taloyhtiön tai yrityksen liittymismaksu riippuu tilaustehosta. Maksua korotetaan 300,08 €/m, jos liittymisjohdon pituus ylittää joko 20 tai 40 metriä kohteen mitoitukselta riippuen. Liittymismaksusta on myös mahdollista sopia tietyissä tilanteissa tapauskohtaisesti erikseen. [21, 22]

Mainitut liittymishinnat eivät sisällä lämmönjakolaitteistoa tai sen asennusta. Fortumin pientaloasiakkaat voivat liittymisen yhteydessä ostaa myös lämmönsiirtimeksi asennettuna paikalleen. Hintalaskurin mukaan liittymisen yhteydessä tilattava lämmönsiirrin asennettuna maksaa 5 700 €. Porvoon Energiasta vuonna 2017 saatu hinta-arvio pientalon lämmönvaihtimelle oli noin 4 000-4 500€. **Koska lämmönvaihtimen hankinta voidaan kilpailuttaa vapaasti, tässä selvityksessä käytetään pientalolle laskennassa lämmönvaihtimen hintaa 4300€.** Yrityksille ja suurille taloyhtiöille Fortum tarjoaa Liisi-palvelua, jossa asiakas vuokraa yritykseltä lämmönjakolaitteet ja niiden huoltopalvelun. Tavallisessa 30 asunnon taloyhtiössä palvelun kuukausihinta on 130 €. [21, 23]

Tähän selvitykseen pyydettiin lisäksi hintaesimerkkejä kaukolämpölaitteiston hankinnasta ja asennuksesta kahdelta alan toimijalta. Kaukolämmön liittymishintoja ja lämmönjakokeskuksen hankinnan ja asennuksen kustannuksia tyyppitaloittain on esitetty taulukossa 5. **Olemassa olevissa kohteissa on oletettu, että ne on jo kytketty kaukolämpöön, jolloin investointikuluja ei laskennassa ole.**

Taulukko 5 Kaukolämmön ja lämmönjakokeskuksen hankintakustannuksia eri tyyppitaloissa.
Hinnat sisältävät arvonlisäveron 24 %.

Tyyppitalo	Liittymismaksu (€)	Lämmönjakokeskuksen hankintahinta (€)	Lämmönjakokeskus, valittu keskihinta (€)	Liittymismaksu ja lämmönjakokeskus yhteensä (€)
U1	5800	4300	4300	10100
S1	-	-	-	0
U2	5800	4300	4300	10100
S2	-	-	-	0
U3	9052	8500...15000 (+/-5000)	11750	20802
S3	-	-	-	0
U4	15500	15000...20000	17500	33000
S4	-	-	-	0
U5	24800	20000...30000	25000	49800
S5	-	-	-	0

Kaukolämmön käyttökustannukset koostuvat tilaustehoon sidotusta tehomaksusta ja energiamaksusta. Tehomaksu on kiinteä vuotuinen perusmaksu ja energiakustannus määräytyy kohteen kaukolämpömittauksen mukaisesta energiankulutuksesta.

Fortum Oy:n Espoon pientaloasiakkailta on valittavana kolme kaukolämpötuotetta: Fortum Kestolämpö, Fortum Tarkkalämpö ja Fortum Ekolämpö. Vaihtoehtoista Fortum Tarkkalämpö soveltuu vähän lämpöä käyttäville kohteille ja Fortum Ekolämpö edistää uusiutuvan energian käyttöä. Fortumin taloyhtiö- ja yritysasiakkaille on tarjolla kaksi kaukolämpötuotetta: Fortum Vakaalämpö ja Fortum Aktiivilämpö. Aktiivilämmössä energiamaksun suuruus riippuu kuukaudesta ja tehomaksun laskentakaava tehosta. Kumpikin tuote on lisämaksua vastaan mahdollista ostaa kokonaan uusiutuvilla tuotettuna. [20, 22]

Tässä raportissa käytetään hintana pientaloille Fortum Kestolämpöä ja taloyhtiöille ja yrityksille Fortum Vakaalämpöä.

4.2 Sähköenergian kustannukset

Sähkön hinta muodostuu sähkön siirtomaksusta, energiamaksusta ja veroista. Sähkön siirtoa ei voi kilpailuttaa, mutta sähköenergian hankinnan voi kilpailuttaa vapaasti.

Länsimetron alueella paikalliset sähköverkonhaltijat ovat Helen Sähköverkko Oy (Helsinki) ja Caruna Espoo Oy (Espoo). Helenin ja Carunan sähkön siirtohinnat eroavat hieman toisistaan. Suurin osa kohteista sijoittuu Espoon alueelle, joten tässä selvityksessä käytetään apuna Caruna Espoon siirtohinnoittelua. Pienissä sähkölämmityskohteissa päivä- ja yösiirto on hinnoiteltu erikseen. Suuremmissa sähkölämmityskohteissa hinnoittelu määräytyy kuukausittaisen huipputehon mukaan. Yksinkertaisuuden vuoksi tässä selvityksessä käytetään pientaloilla Carunan yleissiirtohintaa ja suuremmissa kohteissa Energiamarkkinaviraston kokoamaa keskiarvohintaa. [5]

Sähköenergian hintatietoja löytyy www.sahkonhinta.fi -sivustolta. Taulukkoon 6 on koottu toistaiseksi voimassaolevien sekä yhden ja kahden vuoden määräaikaisten sopimusten keskiarvohintoja

ajassa 8.8.2018. Luvuista nähdään, että sähkön yksikköhinta on sitä pienempi, mitä suurempi kohteen kulutustaso on.

Taulukko 6 Sähköenergian hinta sisältäen verot (c/kWh)

Pientalo 5 000 kWh/a	Pientalo 18 000 kWh/a	Maatila 35 000 kWh/a
6,2	5,96	5,71

Selvityksessä arvioitiin edellä mainittujen tietojen perusteella kullekin tyyppitalolle sähköenergian kokonaishinta siirron ja energian hinnan summana. Selvityksessä käytettävät kokonaishinnat ovat omakoti- ja rivitaloille hieman yli 120 €/MWh ja kerros- sekä toimistorakennuksille noin 116 €/MWh.

Sähkölämmitys:

Sähkölämmityksessä sähkökäyttökustannus tulee välttämättömän kiinteistö/taloussähkön "päälle", joten tämän vuoksi sähkölämmitykselle ei ole ollut mielekästä jyvittää sähkön perusmaksuja kokonaan.

Maalämpö:

Maalämmön investoinnissa lämpökaivojen osuus pienissä kohteissa on noin 30 % kokonaisinvestoinnista, suurissa kohteissa kaivojen osuus nousee jopa yli 50 %:iin. Maalämmön sähkökäyttökustannus tulee välttämättömän kiinteistö/taloussähkön "päälle", joten tämän vuoksi lämpöpumpun sähkölle ei ole ollut mielekästä jyvittää sähkön perusmaksuja kokonaan.

Ilma-vesilämpöpumppu:

Ilma-vesilämpöpumpulla voidaan saada merkittävää mittakaavaetua suurten kohteiden hankintainvestoinneissa, mutta toisaalta ääriolosuhteiden sähkötehotarve voi usein muodostua teknistaloudelliseksi haasteeksi, mikäli lisälämpö on tuotettava sähköllä. Sähkökäyttökustannus tulee välttämättömän kiinteistö-/taloussähkön "päälle", joten tämän vuoksi lämpöpumpun sähkölle ei ole ollut mielekästä jyvittää sähkön perusmaksuja kokonaan.

4.3 Öljylämmitys

Vertailussa pystytään karkeasti suuntaa-antavana arvioimaan myös sellaisia lähtötilanteita, joissa on olemassa oleva sähkölämmitys tai vanha öljylämmitysjärjestelmä. Vanhan öljykattilan öljylämmitys on käyttökustannukseltaan melko lähellä suoran sähkölämmityksen kustannusta (hetkellä 9/2018). Tuolloin öljyn hinta oli noin 1€/litra. 1 litra antaa lämpöarvona 10kWh. Uusi tai uudehko öljylämmitysjärjestelmä toimii vuositasolla noin 90%:n hyötysuhteella, vanha järjestelmä noin 70-80%:n vuosihyötysuhteella. Näin laskettuna uuden öljylämmitysjärjestelmän energiakustannus on noin 11snt/kWh ja vanhan öljylämmitysjärjestelmän energiakustannus on noin 12,5-14,2 snt/kWh. Viime vuosina öljyn hinta on kuitenkin ollut ajoittain selvästi matalampikin kuin 1€/litra -taso.

4.4 Pellettilämmitys

Kuten aikaisemmin on mainittu, pellettilämmityksen kannattavuus on sitä parempi, mitä suurempi kohde on. Pelletin yksikköhinta (€/t) tyypillisesti laskee, mitä suuremmissa erissä polttoainetta hankitaan. Tässä selvityksessä on käytetty pelletin hintana 250 €/t, paitsi toimistorakennuksissa hintana on käytetty 200 €/t. Pelletin keskimääräisellä lämpöarvolla 4,75 MWh/t hinta on noin 53 €/MWh ja toimistorakennuksissa 42 €/MWh.

5 Vertailuun valittavat tyyppitalomallit ja lämmitysmuotovaihtoehdot

5.1 Tyyppitalojen energiatarpeen määrittäminen

Tyyppitalovariaatioille laskettiin vuotuinen ominaiskulutus käyttäen Motivan lämmitystapojen vertailulaskuria. Laskennassa käytettiin Etelä-Suomen ilmastovyöhykettä. Kulutus sisältää

lämmitysenergiatarpeen huomioiden ilmanvaihdon jälkilämmityksen sekä käyttöveden lämmitystarpeen.

Kussakin lämmitysmuodossa aiheutuu myös lämpöhäviöitä lämmön varastoinnissa, jakelussa ja säädössä. Osa lämpöhäviöistä saadaan hyödynnettyä lämmitystarpeen alenemana. Häviöitä aiheuttavat mm. lattialämmityksen lämpöhäviöt alapohjan kautta, patterien lämpöhäviöt ulkoseinän / ikkunoiden kautta, vesipatterien lämmönsiirtoputkistojen lämpöhäviöt, kattiloiden ja polttimien lämpöhäviöt, yleisestä säätötarkkuudesta ja säädön hitaudesta aiheutuva ajoittainen lievä huoneilman yllämmitys, kiertovesipumppujen kulutus ja vesivaraajan lämpöhäviö. Häviöiden suuruus ja hyödyntämismahdollisuus riippuu mm. lämmitysmuodosta, säätötilanteesta, ulkolämpötilasta, itse rakennuksesta ja asukkaiden kulutusprofiilista. **Se lämpöhäviöiden osa, jota ei saada hyödynnettyä lämmityksessä, vähentää järjestelmän kokonaishyötysuhdetta ja on huomioitu kunkin lämmitysmuodon osalta tämän selvityksen laskennassa vuosihyötysuhdearvoon integroituna.**

Lämmitystarpeessa on huomioitu myös lämmöntuoton, varastoinnin ja jakelun lämpöhäviöt sekä käyttöveden lämmitys (1000 kWh/a/hlö). Laskennassa huomioidaan myös keskimääräinen taloussähkön kulutus.

Lämmitystarve koskee ns. normaalivuoden lämpötilaolosuhteita vuosina 1981-2010. Useimmat 2010-luvun vuodet ovat olleet selvästi leudompia kun ns. normaalivuosi.

Olemassa olevissa kohteissa energiatehokkuuden taso on aikakauden mukainen. Uudistaloissa valittiin uutta toimistorakennusta lukuun ottamatta matalaenergiarakenne-taso, koska se on yleistynyt 2010-luvulla ja nykyisten rakentamismääräyksien aikana lienee käytännössä yleisin rakennetehokkuus taloissa. Nykyiset LTO-kennot IV-kojeissa ovat jo lähes kaikissa uusissa laitteissa niin hyviä, ettei niiden osalta synny merkittävää keskinäistä eroa. Myöskin ilmatiiveys on parantunut tutkimusten mukaan uusissa taloissa paljon. Taulukossa 7 on esitetty normaalirakenteisen ja matalaenergiarakenteisen talon rakenteiden U-arvoja.

Taulukko 7 Rakenteiden U-arvot uudistalovertailussa

	Normaalirakenne	Matalaenergiarakenne
	Eriste	Uusi määrä
Katto	450, U-arvo 0,09	550 mm, U-arvo 0,07
Seinät	200 mm, U-arvo 0,17	245 mm, U-arvo 0,14
Ikkunat	0,8	0,8
Alapohja	200 mm, U-arvo 0,14	300 mm, U-arvo 0,12

Lämpöpumppujen kohdalla laskennassa huomioidaan:

- lämmitysverkon lämpötilatason vaikutus lämpökertoimeen
- käyttöveden lämmityksen vaikutus lämpökertoimeen
- lämmitys/käyttöveden lämpötilan vaikutus ilma-vesilämpöpumpun energiapeittoon.

5.2 Laskennan lähtötiedot

Seuraaviin taulukoihin 9-12 on koottu laskennassa käytettävät ja laskuriin syötetyt lähtöarvot.

Taulukko 8 Tyypitalot ja niiden energiankulutus

Tyypitalo	Rakennusvuosi	Asukasluku	Kaukolämmön kulutus (MWh/a)	Käyttöveden osuus (MWh/a)	Huipputeho (kW)
U1	2010-	4	9,9	4	3,9
S1	1980	4	21,2	4	8,3
U2	2013-	4	12,9	4	5,1
S2	1980	4	29,7	4	11,7
U3	2013-	9	24,8	9	9,7
S3	1980	9	53,0	9	20,8
U4	2013-	45	91,9	45	36,1
S4	1970	45	178,0	45	69,8
U5	2010-		795,0	50	311,8
S5	1980		952,0	50	373,3

Taulukko 9 Eri energiamuotojen kustannukset tyypitaloissa. Hinnossa ei ole huomioitu lämmitysjärjestelmän hyötysuhdetta, vaan ne kuvaavat ostoenergian ja polttoaineen hintoja.

Tyypitalo	Rakennusvuosi	Kaukolämmön kulutus (MWh/a)	Kaukolämpö, (€/MWh)	Sähkö (€/MWh)	Pelletti (€/t)	Pelletti (€/MWh)
U1	2010-	9,9	106,26	123,68	250	53
S1	1980	21,2	82,70	121,64	250	53
U2	2013-	12,9	96,06	122,89	250	53
S2	1980	29,7	79,55	120,98	250	53
U3	2013-	24,8	78,98	121,31	250	53
S3	1980	53,0	78,98	120,16	250	53
U4	2013-	91,9	78,98	117,21	250	53
S4	1970	178,0	78,98	116,83	250	53
U5	2010-	795,0	78,98	115,92	200	42
S5	1980	952,0	78,98	115,92	200	42

Saneerauskohteissa on oletettu, että kohteet on jo liitetty kaukolämpöön ja investointi kaukolämpöön on siten 0 €. Osa olemassa olevista kaukolämmönvaihtimista joudutaan kuitenkin oletettavasti uusimaan tulevan 20 vuoden jaksolla, joten todellisuudessa laskuriin on syötetty

investointikustannukseksi 1 000 € kuvaamaan laiteusintojen osittaisia kustannuksia. Vertailua voi soveltaa suuntaa-antavasti myös olemassa oleviin sähkö- tai öljylämmitteisiin kohteisiin, joissa seurataan sähkölämmityksen kustannuskäyrää. Vastaavasti silloin kustannuskäyrään on sisällytetty investointikustannuksena sähkö- ja öljylämmitysjärjestelmien edellyttämät arvioidut korjaustoimenpiteet tulevan 20 vuoden aikana.

Pellettilämmitystä ei ole tässä selvityksessä käsitelty omakotitaloissa vertailtavana lämmitysmuotona, koska se edellyttämä varastointitila on suuri suhteessa pienen rakennuksen kokoon. Lisäksi automatisoitu järjestelmä on investoinniltaan sen verran kallis, että sen hankintakustannukset omakotitaloissa nousevat usein suhteettoman suuriksi.

Taulukko 10 Eri lämmitysmuotojen investointikustannukset tyyppitaloissa

Tyyppit alo	Rakenn us- vuosi	Kaukoläm mön kulutus (MWh/a)	Pellet ti (k€)	Kaukolä mpö (k€)	Maaläm pö (k€)	Sähkö- lämmitys + ilmalämpöpu mppu (k€)	Ilma-vesi- lämpöpum ppu (k€)
U1	2010-	9,9	-	12,6	14	4	11
S1	1980	21,2	-	0,0	-	-	12
U2	2013-	12,9	-	12,6	14,4	4	11
S2	1980	29,7	-	0,0	-	-	12
U3	2013-	24,8	23	20,8	22	12	16
S3	1980	53,0	27	0,0	34	-	20
U4	2013-	91,9	30	33,0	60	-	35
S4	1970	178,0	40	0,0	100	-	55
U5	2010-	795,0	150	49,8	380	-	150
S5	1980	952,0	170	0,0	420	-	170

Taulukko 11 Eri lämmitysmuotojen hyötysuhteet ja lämpöpumpun energiaperite tyypitaloissa

Tyyppitalo	Rakennusvuosi	Kaukolämmön kulutus (MWh/a)	Pelletti, hyötysuhde	Kaukolämpö, hyötysuhde	Maalämpöpumpun COP	Ilma-vesilämpöpumpun COP	Ilma-vesilämpöpumpun energiaperite
U1	2010-	9,9	77 %	95 %	2,9	2,3	90 %
S1	1980	21,2	77 %	95 %	2,5	1,8	80 %
U2	2013-	12,9	77 %	95 %	3,0	2,4	90 %
S2	1980	29,7	77 %	95 %	2,5	1,9	85 %
U3	2013-	24,8	77 %	95 %	2,9	2,3	90 %
S3	1980	53,0	77 %	95 %	2,5	1,8	80 %
U4	2013-	91,9	77 %	95 %	2,7	2,0	85 %
S4	1970	178,0	77 %	95 %	2,5	1,8	80 %
U5	2010-	795,0	82 %	95 %	3,0	2,3	95 %
S5	1980	952,0	82 %	95 %	2,5	2,0	90 %

6.1 Maalämmön kannattavuus eri kohteissa

Lämmitysmuotojen vertailulaskurista saadut tarkat kustannuskuvaajat ovat selvityksen liitteinä luvussa 7. Energiamuotojen kannattavuusvertailussa energiamuodon hinta ja energian vuosikulutus on merkittävässä roolissa, kuten myös kaikkiaan rakennuksen energiatarve käyttöveden lämmityksineen. Muutokset laskentakorossa tai energianhinnassa vaikuttavat merkittävästi tuloksiin. Selvityksessä käytetyt energiakustannukset on laskettu tämän päivän hinnoilla (9/2018).

Liitteenä olevista kuvaajista nähdään, että maalämpöinvestointi on suhteellisesti edullisempi suurissa kohteissa verrattuna pieniin taloihin (eli €/MWh), toisaalta myös energian yksikköhinta ja muut lämmitysmuodot ovat suhteessa edullisempia suurissa kohteissa. Metron reitin tuntumassa tonttikoot rakennuksilla ovat niin pieniä, että maalämpö joudutaan tekemään lämpökaivon avulla. Vaakaputkistoa ei saada mahtumaan tontille ja vesistön rantaan on liikaa matkaa (vesistöupotus). Maalämmön edullisuutta parantaa:

- Matala lämmöntuottolämpötila (lattialämmitys)
- Korkea lämmönkeruupiirin lämpötila
- Kallio mahdollisimman lähellä maanpintaa
- Veden virtaavuus läpi kaivon (pysty- ja vaakavirtaukset vaikuttavat, yleensä vain veden tuottavuus voidaan selvittää)
- Vaihtoehtoisen lämmitysmuodon korkea hinta (öljylämmitys ja sähkölämmitys vesikiertoisessa lämmönjakoverkossa)
- Energian hinnannousu
- Korot matalalla tasolla
- Suuri vuotuinen energiatarve.

Kiintokalliopinnan etäisyys maanpinnasta voidaan tarvittaessa selvittää maatutkan avulla. Veden virtauksia kaivossa ei voida ennustaa, vaikkakin joitakin indikaatioita voi olla löydettävissä. Kaksi vierekkäistä kaivoa voivat poiketa suuresti toisistaan vesivirtauksiltaan. Tulevaisuudessa uusittavat lämpöpumput tulevat olemaan nykyistä energiatehokkaampia tuottaen aiempaa suurempia energiansäästöjä ja toisaalta edellyttävät ehkä lisäkaivojen poraamisen. Seikat, jotka heikentävät maalämmön kannattavuutta:

- Korkea patteriveden lämpötila
- Alhainen lämmönkeruupiirin lämpötila
- Kohteen sijainti hiekkaharjulla tai muussa paikassa, jossa kallio on yli 20 metrin syvyydellä
- Kohteen pieni energiatarve (lämmitysenergiatarve sisältäen käyttöveden alle 15000kWh/a)
- Korot korkealla

- Energian hinnat pysyvät ennallaan tai laskevat
- Sähköisestä lattialämmityksestä tai sähköpatterilämmityksestä ei yleensä kannata vaihtaa maalämpöön, jos muuta syytä vesikiertoisen lämmönjakoverkon jälkiasentamiseen ei ole.

Runsas käyttöveden suhteellinen energiaosuus heikentää vuosilämpökerrointa. Matalaenergiatalossa lattialämmityksen hyötysuhdetta parantaa erittäin alhainen lämpötilataso mutta toisaalta tilojen lämmityksen osuus maalämmön vuosituotannosta on selvästi pienempi kuin normaalirakenteisissa taloissa.

On huomioitava, että maalämmön keruupiirin asennus vaatii aina toimenpideluvan. Esteitä luvulle voivat olla olemassaolevat (tai varaukset) maanalaiset rakenteet, putket, kaapelit. Syynä luvan eväämiseen voivat olla myös riittämättömät suojaetäisyydet muihin rakennuksiin, tontin rajoille tai muihin kaivoihin. Tärkeät pohjavesialueet estävät myös luvansaannin lämpökaivolle mutta pelkkä pohjavesialue-merkintä ei sellaisenaan estä luvansaantia. Pohjavesialueilla saatetaan tarvita normaalin toimenpideluvan ohella lisäksi vesilain mukainen lupa, josta on kerrottu lisää lähteessä [24].

Kuten aiemmin on mainittu, nykyään uusien lämpöpumppujen ilmoitetut lämpökertoimet ovat selvästi korkeampia kuin tässä selvityksessä käytetyt taulukkoarvot. **Laskennassa käytettyjen arvojen voidaan sanoa olevan käytännössä minimitaso arvioita tyypitalokohteissa.** Lisäksi myös laitteiden välillä voi olla melko suuriakin eroja ilmoitetuissa COP-arvoissa. **Kohdekohtaiseen arviointiin suositellaan tehtäväksi erillinen kohdekohtainen laskenta.**

Tuloksista nähdään myös, että matalaenergiarakenteen valinta pidentää lämpöpumppuinvestointien takaisinmaksuaikaa, koska säästöpotentiaali vähenee rakennetehokkuuden myötä. Matalaenergiarakenteeseen satsaaminen rakentamisvaiheessa on rahallisesti kannattavaa. Suurissa kohteissa saadaan mittakaavaetua investoinneissa ja hieman energian kokonaishinnassakin. Saneerauskohteessa haasteena on korkea lämpötilataso patteriverkolla, joka edellyttäisi erittäin suurta sulakekapasiteettia ilma-vesilämpöpumpulta joka johtaa suureen perusmaksuun ja mahdollisesti rakennuksen syöttökaapelien uusimiseen. Siksi suurimmissa saneerauskohteissa ei vertailussa ole mukana ilma-vesilämpöpumppua. Esimerkiksi tyypimallina oleva toimistorakennus vaatii lähes 600A:n sulakekapasiteetin vaihetta kohden, jos huipputeho joudutaan tuottamaan sähkölämmitystä vastaavalla hyötysuhteella. Sen sijaan pellettilämmitys on sellaisissa kohteissa teknisesti soveltuva ja kannattava vaihtoehto ilma-vesilämpöpumpulle. Suurimmissa kohteissa maalämpöpumppujen käyttämien lämpökaivojen mahtuminen tontille voi olla ongelma.

Pienimmillä kohteilla käyttöveden lämmityksen osuus energiatarpeesta on suuri ja heikentää lämpöpumppujen vuosilämpökerrointa. Pienimmillä uudiskohteilla myös kaukolämpö voi osoittautua kokonaiskustannukseltaan liian kalliiksi.

Tässä selvityksessä esitettyjen **laskentaesimerkkien laskennan jälkeen energianhinnoissa on tapahtunut oleellisia muutoksia.** Taulukoissa on esitetty laskentahetkellä käytetyt energianhinnat ja niiden perusteet. Tässä selvityksessä ei ole käsitelty ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia johtopäätöksiin (ilmaston muuttuminen lämpimämmäksi ja sateisemmäksi erityisesti talvisin), selvityksessä on vertailtu lämmitysmuotoja vain teknis/taloudelliselta kannalta.

Näyttää kuitenkin ilmeiseltä, varsinkin tämän selvityksen laadinnan jälkeen julkaistun IPCC:n viimeisimmän raportin perusteella, että ilmastonmuutoksen vaikutukset ja huomioonottaminen tulevat

korostumaan voimakkaasti jo sangen lyhyellä aikaperspektiivillä. Tämä tulee merkittävästi heikentämään kasvihuonekaasuja aiheuttavien energiamuotojen kilpailukykyä ja vastaavasti parantamaan päästöttömien uusiutuvien energiamuotojen asemaa.

6.2 Huomioita liittyen tyyppitalotapauksiin

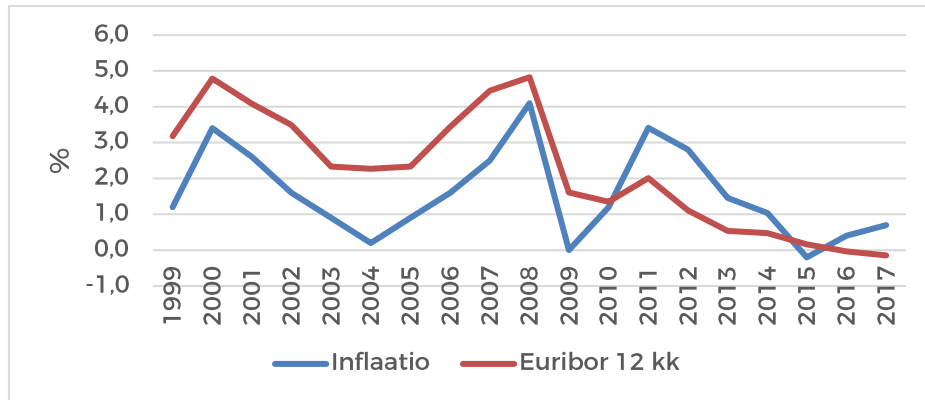
Vertailulaskenta koskee lämmitysmuotojen elinkaarikustannusvertailua. Kannattavuuteen ovat vaikuttaneet rakennuksen lämmönjakoverkon lämpötilat, kokoluokka ja käyttöveden osuus lämmitysenergiankulutuksesta. Riippuen tontista ja rakennuksen kerroskorkeudesta / rakennusneliöiden käyttöasteesta tontilla lämpökaivojen sijoittamisessa tontille voi tulla ongelmia erityisesti korkeiden kerrostalojen kohdalla.

Veden lämmitykseen kulunut energiamäärä vuositasona voi edelleen vaihdella merkittävästi, muutamasta sadasta kilowattitunnista muutamaan tuhanteen kilowattituntiin vuodessa. Kulutuksen yleisin vaihteluväli on 800-1300 kWh/hlö/a, yleensä runsaampi veden kulutus selittyy erityisesti pitkillä suihkuajoilla. Keskimääräisellä lämpimän käyttöveden käyttötavalla 1 000 kWh:n lämmitystarvetta vastaa noin 122 litran veden kulutus henkilöä kohden vuorokaudessa. Toimistorakennuksessa käyttöveden lämmityksen osuus on hyvin pieni suhteessa lämmitysenergiatarpeeseen.

Kannattaa myös huomioida, että uuden asuinrakennuksen elinkaari on yleensä ainakin 70-100 vuotta. Tänä aikana energiamuotojen hinnat voivat muuttua paljonkin. Yleisesti ottaen pitkällä aikavälillä kaikkien energiamuotojen hinta on noussut.

6.3 Korkotason ja energian hinnannousuprosentin vaikutus

Laskennan tuloksista nähdään, että korkea korkotaso hidastaa maalämmön takaisinmaksuaikaa ja vastaavasti korkea energian hinnannousuprosentti nopeuttaa takaisinmaksuaikaa. On huomattava, että korkea korkokanta pitkälti korreloi myös suuren inflaation kanssa. Kuvassa 5 on esitetty Euribor 12kk -koron ja inflaation kehitys Suomessa 20 viime vuoden aikana.



Kuva 5 Euribor 12kk -koron ja inflaation kehitys Suomessa vuosina 1999-2017 [25]

Inflaatiolla on välillinen vaikutus myös energian hintoihin, vaikka eri energiamuotojen hinnat voivat vaihdella lyhyellä aikavälillä paljonkin. Pitkällä aikavälillä energian hinnat ovat nousseet selvästi. Toteutunut historia korkojen ja energian hintojen suhteen ei kuitenkaan ole tae tulevasta. **Pidämme epärealistisena, että korkotasoa ja energianhinnat pysyisivät nykyisellä tasolla tulevan 20 vuoden jaksolla.** Tulevan 20 vuoden jaksolle todennäköisesti mahtuu hyvin vaihtelevia korkotasoja ja energian hinnannousuja ja -laskujakin.

Eri energiamuotojen (pelletti/kaukolämpö/sähkö/öljy) hintakehitys voi olla keskenään erilainen, koska hinnat muodostuvat eri perusteilla. Näin ollen energiamuotojen hinnat voivat lyhyellä aikavälillä vaihdella keskenään paljonkin. Pitkällä aikavälillä hinnat kehittyvät samansuuntaisemmin. Tilastollista tietoa aiempien vuosien energian hinnoista löytyy mm. Tilastokeskuksen ja Energiategollisuuden verkkosivuilta.

6.4 Herkkyystarkastelu

Kuten aiemmin on mainittu, nykyisten lämpöpumppujen ilmoitetut lämpökertoimet ovat selvästi korkeampia kuin tässä työssä käytetyt taulukkoarvot. Kun laskennassa käytetään lämpöpumpuille korkeampia lämpökertoimia, lämpöpumppujen takaisinmaksuaika lyhenee ja säästövaikutus kasvaa. Lämpökertoimia vertaillessa tulee olla myös tarkkana siitä, onko kyseessä COP- vai SCOP-luku ja toisaalta missä lämpötilaolosuhteissa COP-luku on ilmoitettu.

Taulukoissa 12 ja 13 on esimerkkejä eri maalämpö- ja ilma-vesi-lämpöpumppumallien SCOP- ja COP-luvuista. Taulukoissa on vertailtu satunnaisesti valittuja malleja, joissa kompressorin lämmöntuotto on alle 10 kW. SCOP-luku on esitetty Keski-Euroopan vyöhykkeellä, joka on huomattavasti Suomen olosuhtetasoa leudompi vyöhyke eli Keski-Euroopan vertailupaikkakunnan SCOP-arvot ovat korkeampia kuin vertailupaikassa Helsinki. Maalämpöpumppujen COP-luku on laskettu olosuhteissa lämmönluovutus + 35 °C ja lämmönkeruu 0 astetta. Ilma-vesilämpöpumppujen COP-luku on laskettu olosuhteissa lämmönluovutus + 35 °C ja ulkoilma +7 °C astetta. Taulukoista nähdään, että luvut vaihtelevat runsaasti.

Taulukko 12 Esimerkkejä eri maalämpöpumpumallien SCOP- ja COP-luvuista

Malli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
SCOP	5,28	4,40	4,51	5,00	4,84	5,42	5,28	-	4,90	5,56	5,50	
COP	4,70	4,53	4,20	4,93	4,54	5,01	4,90	4,73	4,80	4,97	4,85	
Malli	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Keski-arvo	Min	Max
SCOP	4,70	5,58	5,90	4,60	4,61	5,50	4,30	5,40	4,82	5,06	4,30	5,90
COP	4,20	4,90	4,35	4,72	4,20	4,69	4,17	4,72	4,50	4,63	4,17	5,01

Taulukko 13 Esimerkkejä eri ilma-vesilämpöpumpumallien SCOP-luvuista

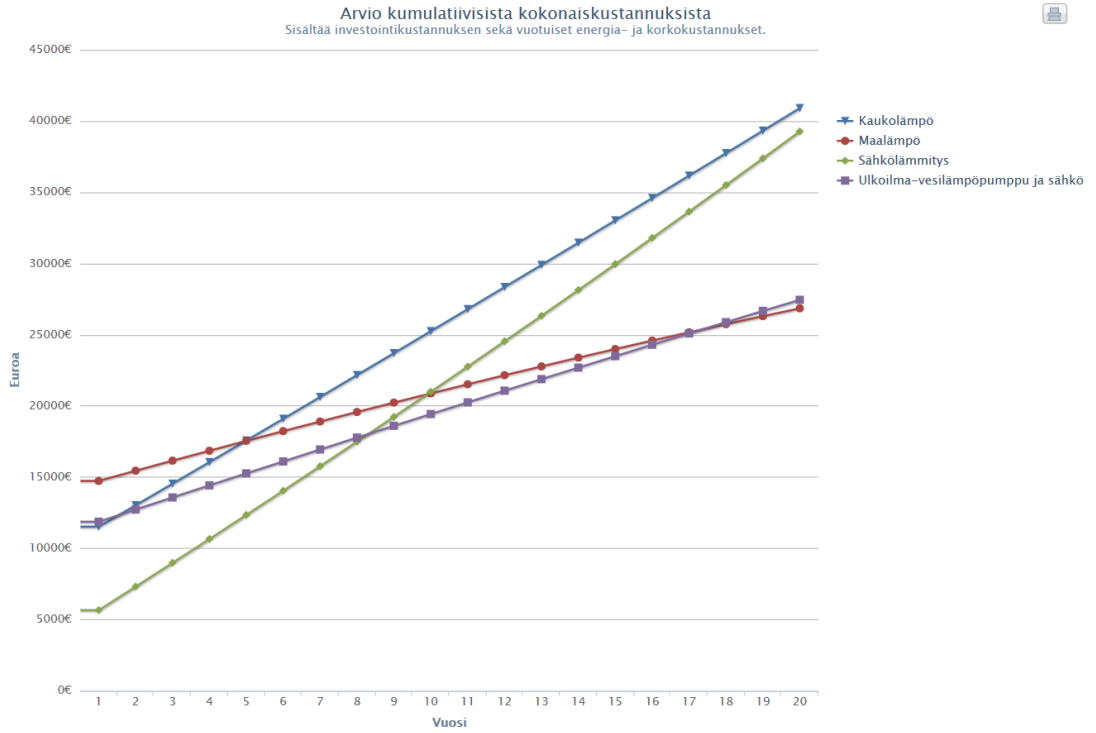
Malli	1	2	3	4	5	6	Keskiarvo
SCOP	4,26	4,74	4,60	4,39	4,70	4,57	4,54

Varovaisestikin arvioiden eri laitemallien ja järjestelmien vuotuiset lämpökertoimet voivat vaihdella samassa tyyppitalokohteessakin ainakin 0,5. Kuten aiemmin todettu tyyppitalojen laskennoissa käytetyt lämpökerroin-arvot ovat nykymittapuulla käytännössä minimiarvoja ja näin ollen tulokset lähinnä minimitasoa myös koskien lämpöpumppujen säästöä elinkaaritarkastelussa. Maksimisäästöpotentiaalini arvioimiseksi selvityksessä tarkasteltiin yhden esimerkkikohteen avulla, kuinka tulokset muuttuvat, jos maalämmön ja ilma-vesilämpöpumpun lämpökertoimia nostetaan 0,5:lla. Esimerkkikohteeksi valittiin uudiskohde U2 (omakotitalo, uusi, matalaenergiatason rakenteet, 180 m²). Vertailtavat arvot on esitetty taulukossa 14.

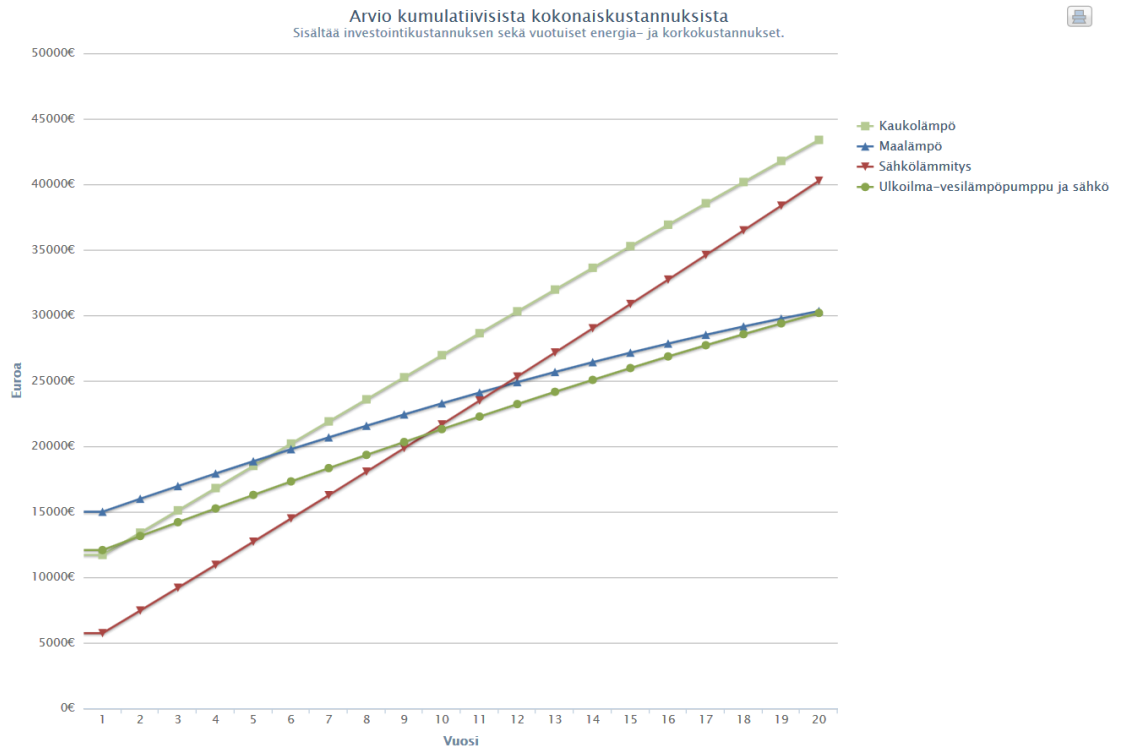
Taulukko 14 Herkkyystarkasteluun valitun kohteen hyötysuhteet, kohde U2

Kohde U2	Vanha arvo	Uusi tilanne, herkkyystarkastelu
Maalämmön vuosilämpökerroin	3,0	3,5
Ilma-vesilämpöpumpun vuotuinen COP-luku, sähkövastuksen käyttöä ei huomioitu	2,4	2,9
Ilma-vesilämpöpumpun energiaperitto ilman sähkövastusta	90 %	90 %

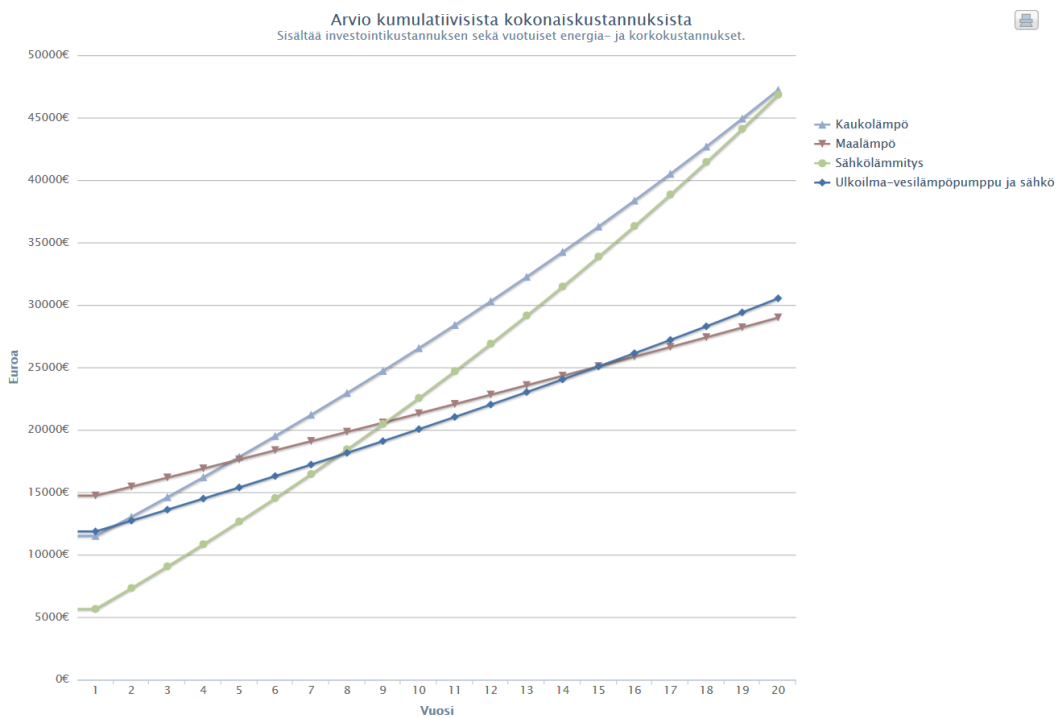
Herkkyystarkastelusta nähdään, että laskennassa käytetyllä korkeammalla lämpökertoimella on merkittävä vaikutus lämpöpumppujen takaisinmaksuajan lyhenemiseen verrattuna muihin lämmitysmuotoihin. Laskennan tulokset on esitetty kuvissa 6-9.



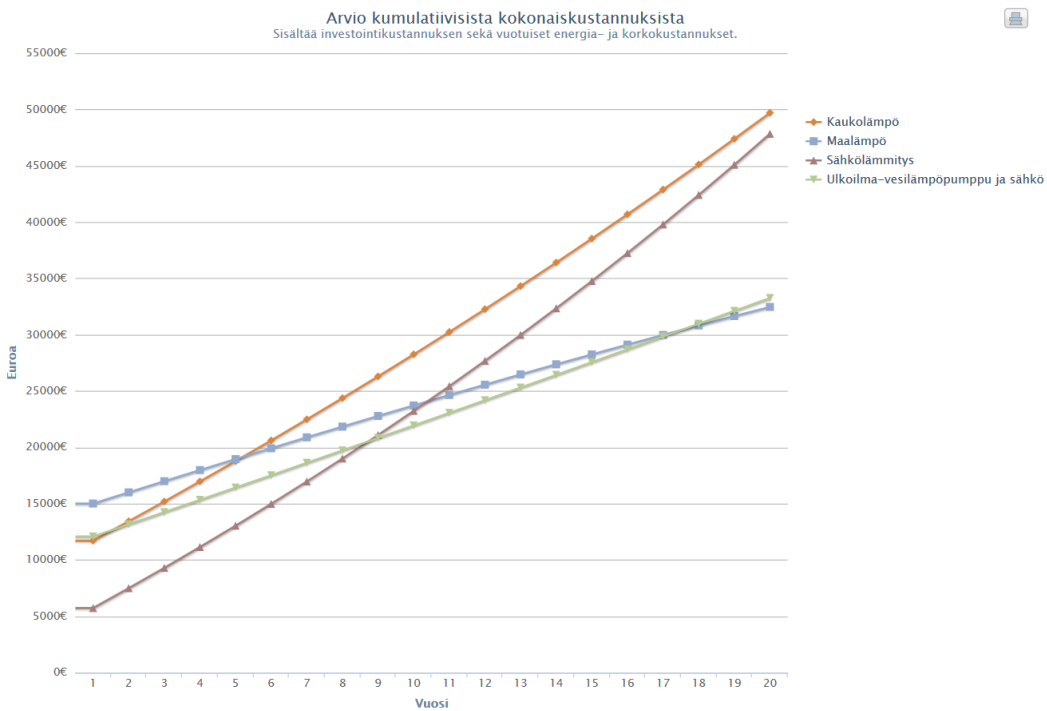
Kuva 6 Herkkyystarkastelu, U2, E1, K2



Kuva 7 Herkkyystarkastelu, U2, E1, K4



Kuva 8 Herkkyystarkastelu, U2, E3, K2

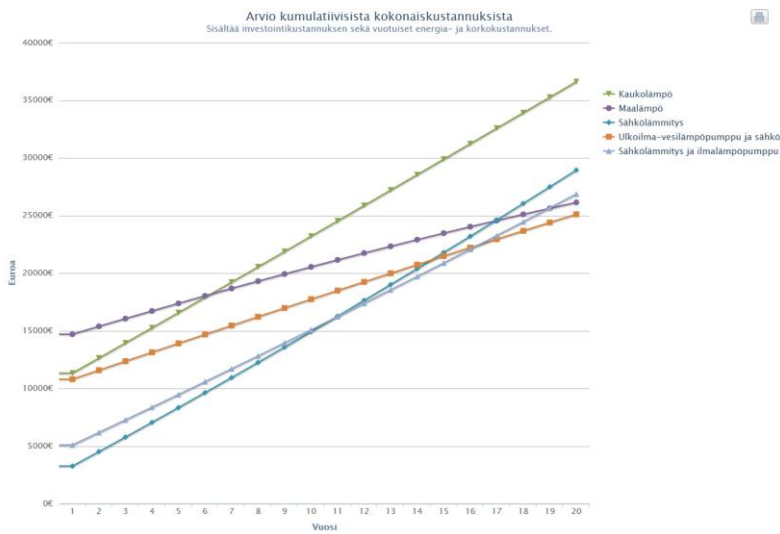


Kuva 9 Herkkyystarkastelu, U2, E3, K4

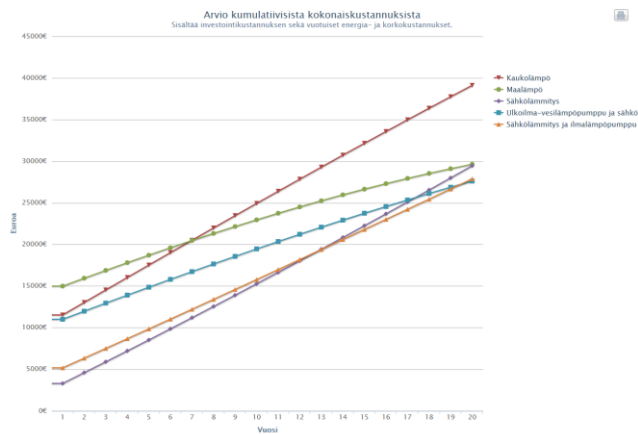
7 Liitteet - lämmitysmuotojen kustannukset tyyppitaloissa

7.1 Uudiskohteet

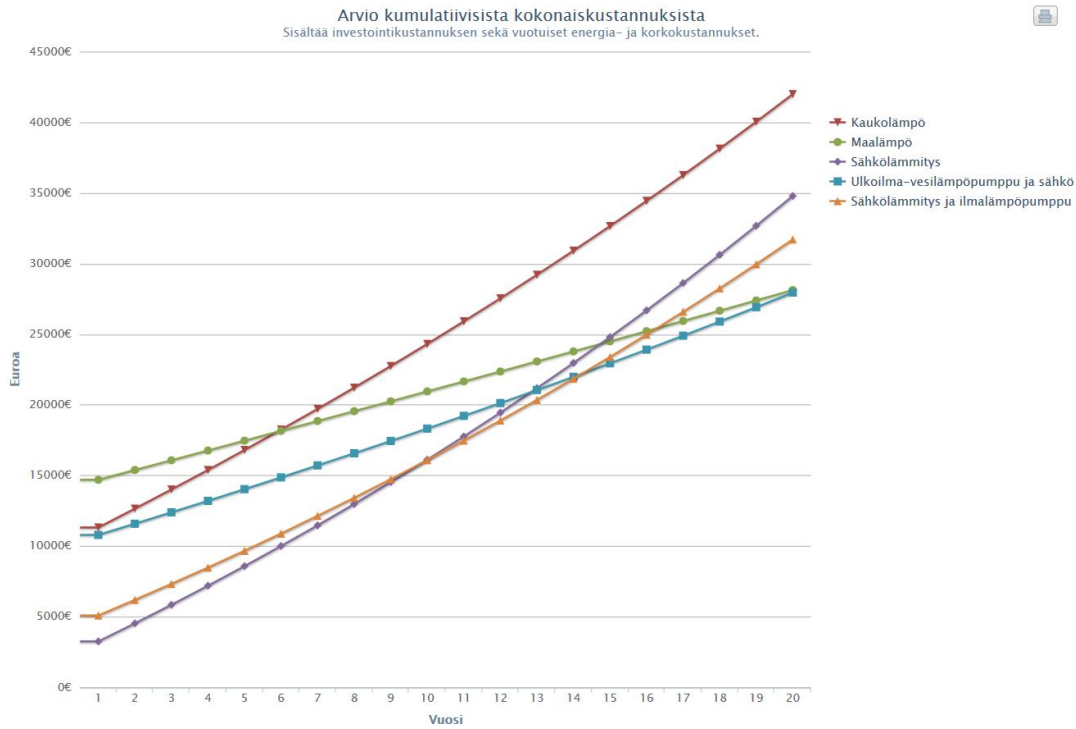
7.1.1 U1 - omakotitalo, uusi, 120 m²



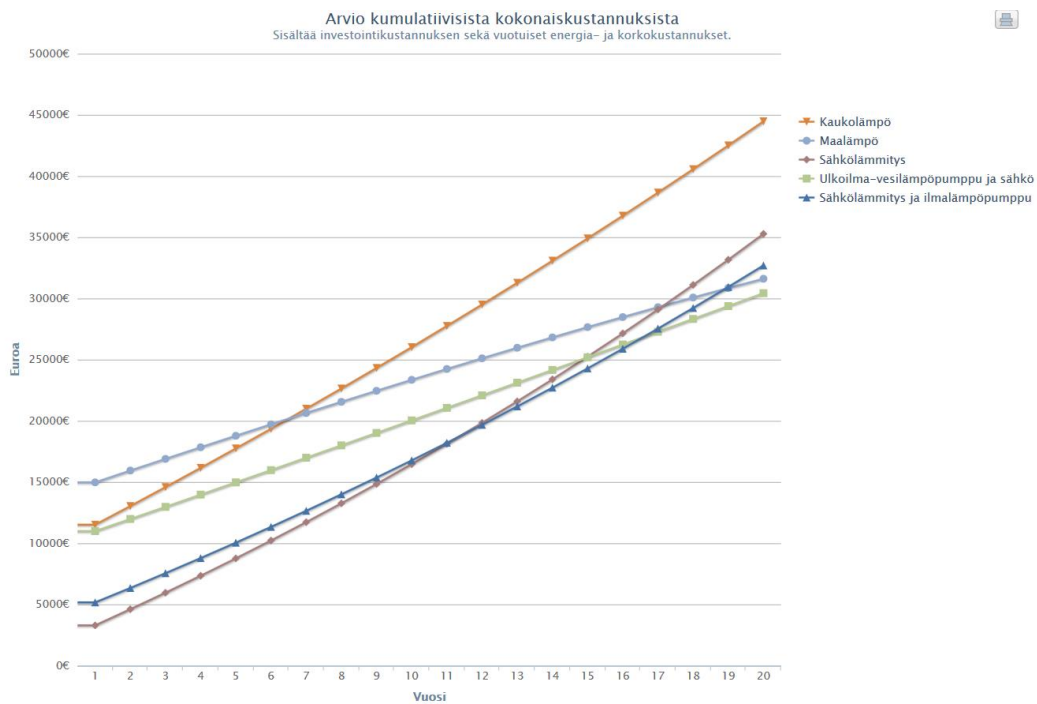
Kuva 10 U1, E1, K2



Kuva 11 U1, E1, K4

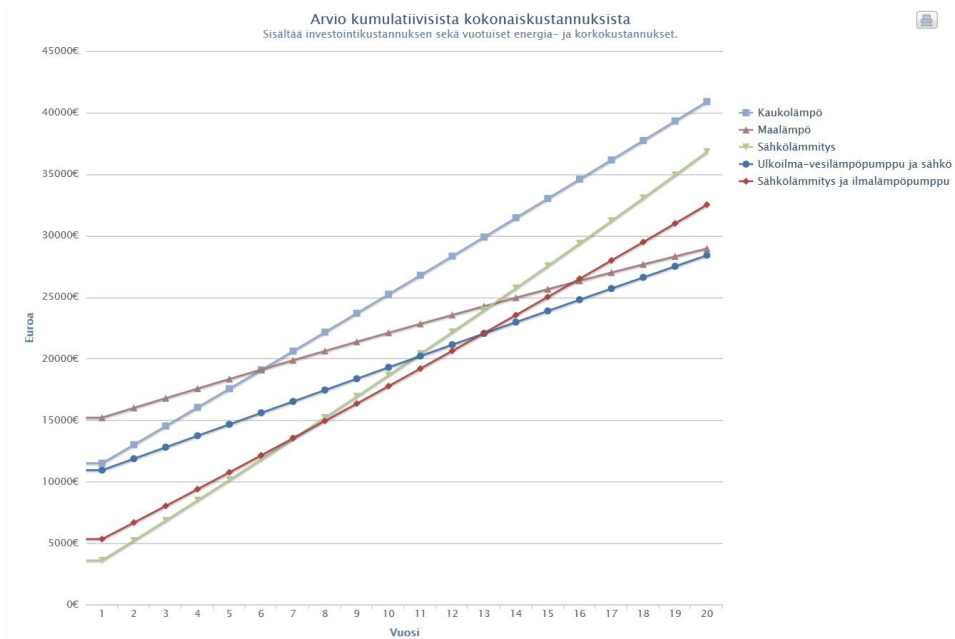


Kuva 12 U1, E3, K2

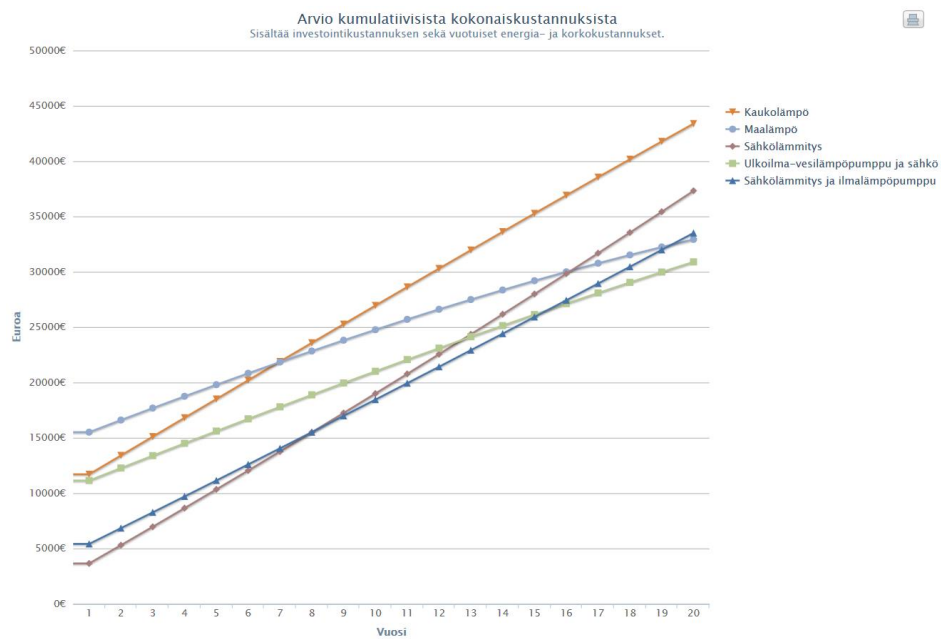


Kuva 13 U1, E3, K4

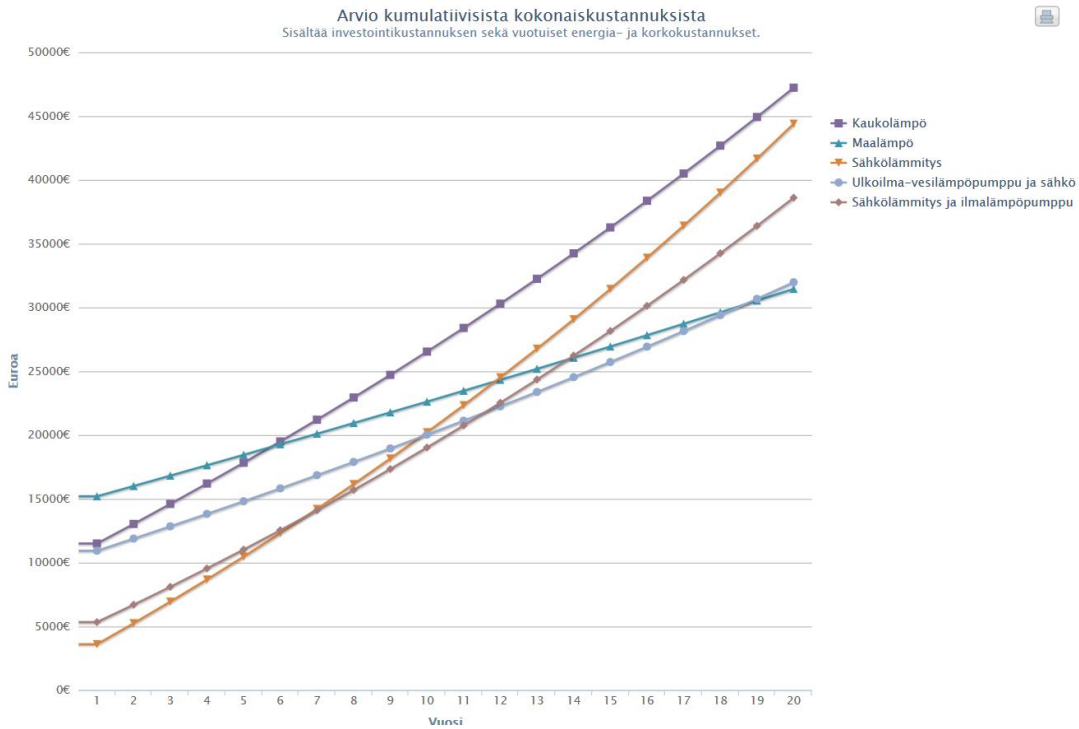
7.1.2 U2 – omakotitalo, uusi, 180 m²



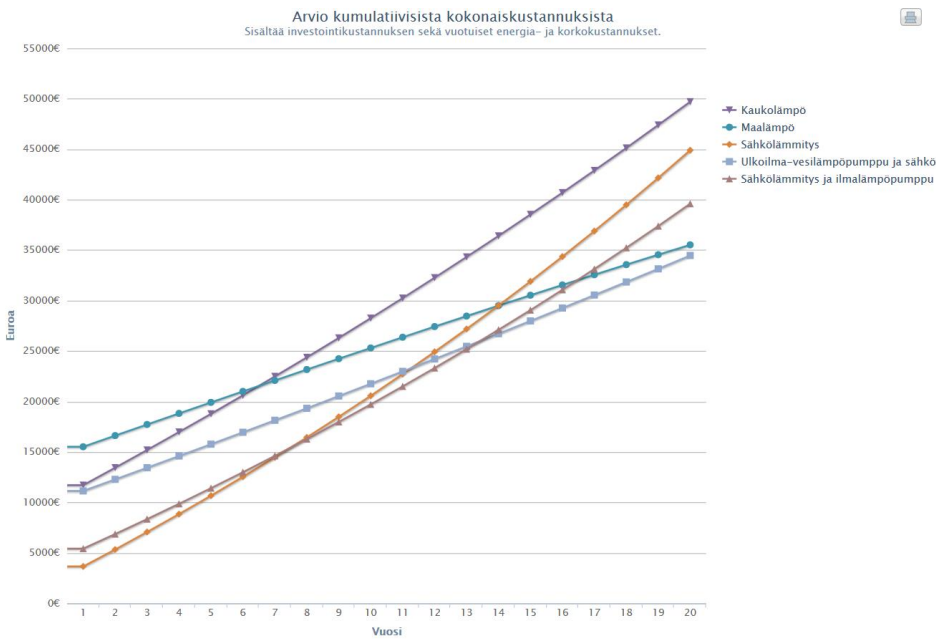
Kuva 14 U2, E1, K2



Kuva 15 U2, E1, K4

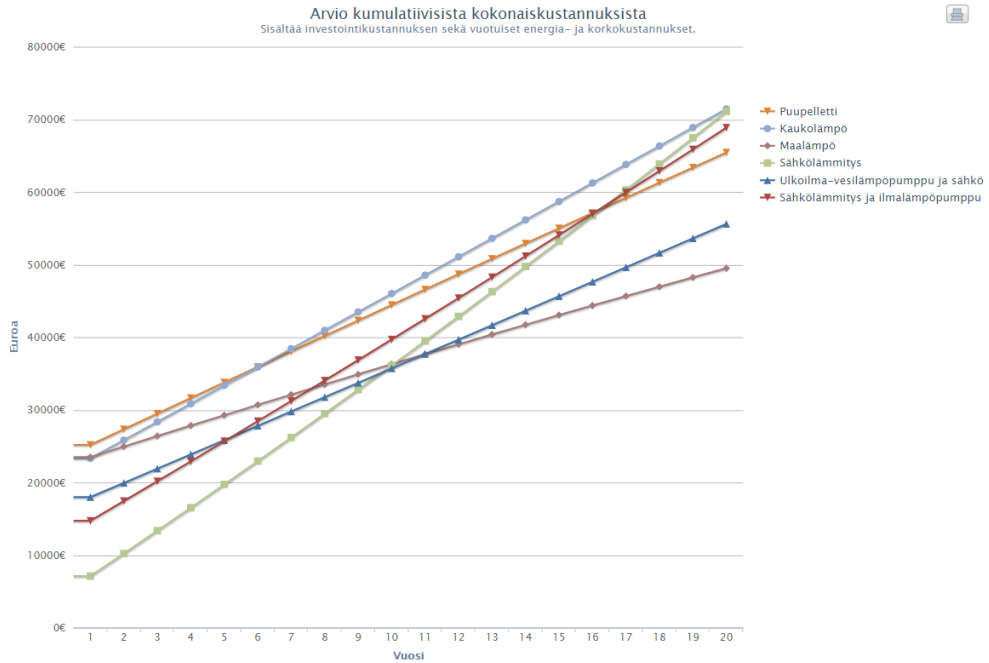


Kuva 16 U2, E3, K2

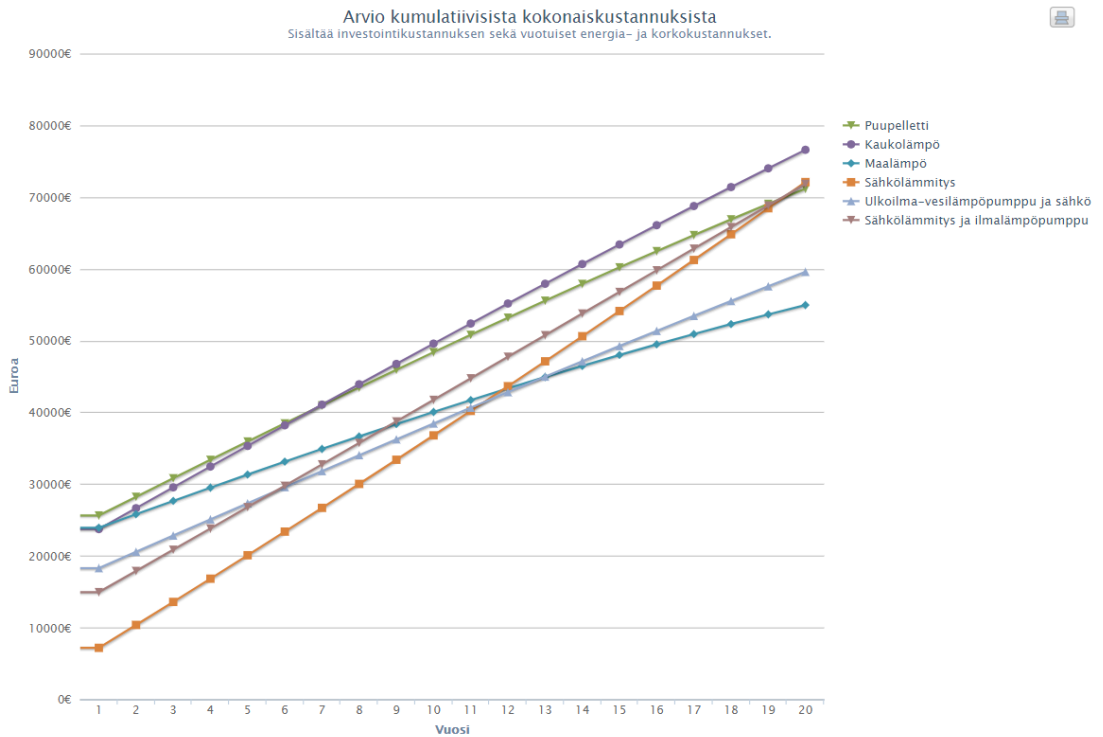


Kuva 17 U2, E3, K4

7.1.3 U3 – rivitalo, uusi

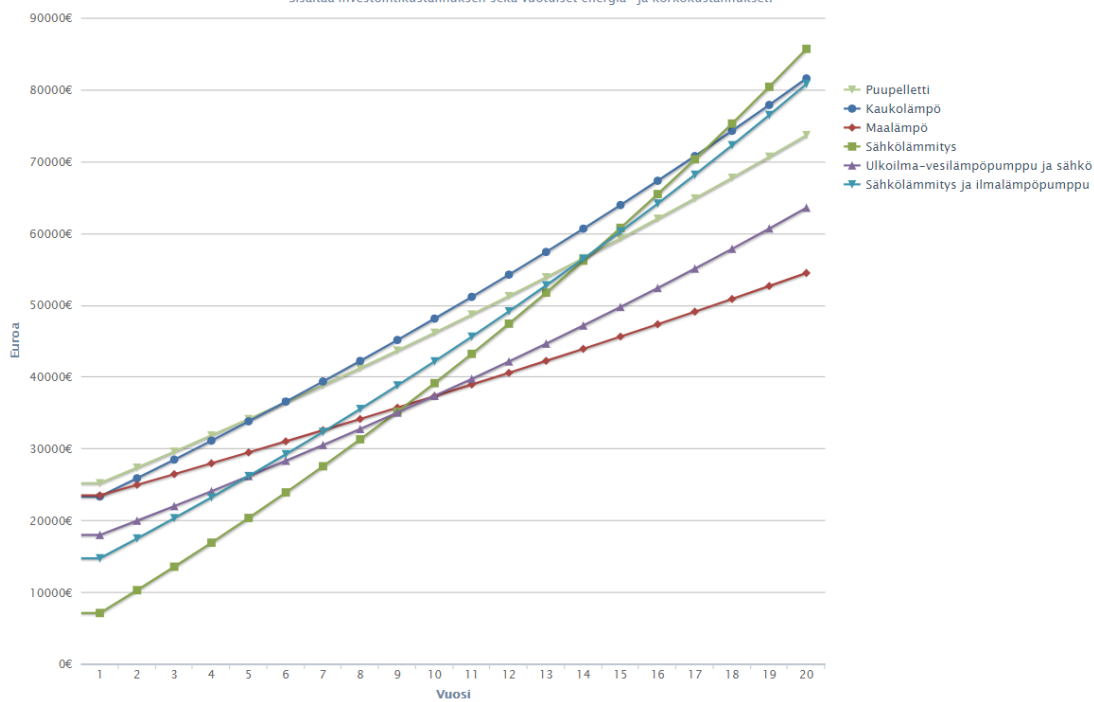


Kuva 18 U3, E1, K2



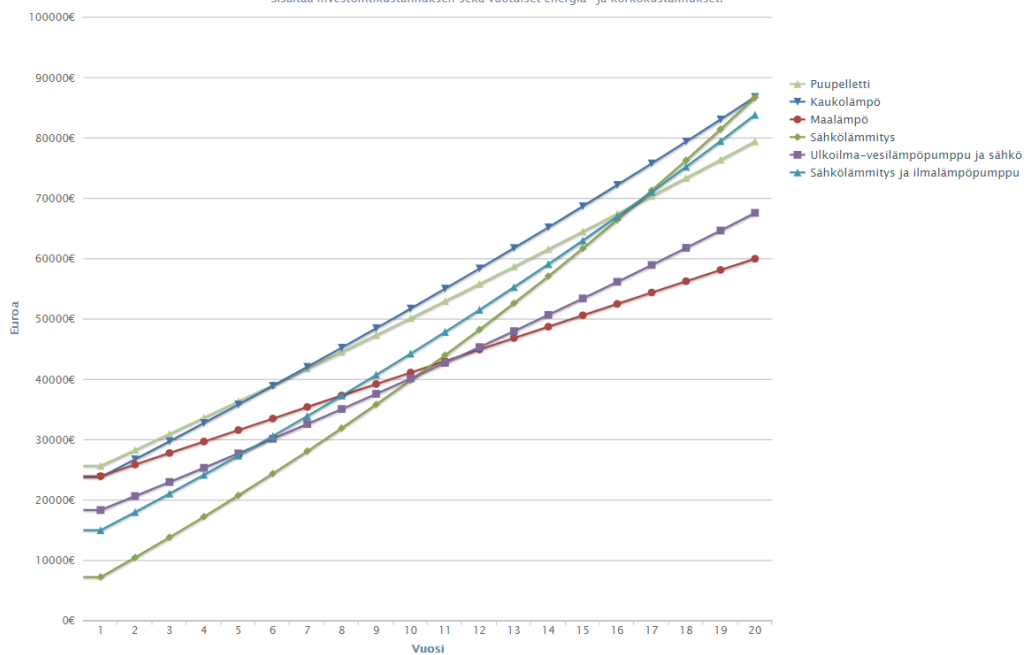
Kuva 19 U3, E1, K4

Arvio kumulatiivisista kokonaiskustannuksista
Sisältää investointikustannuksen sekä vuotuiset energia- ja korkokustannukset.



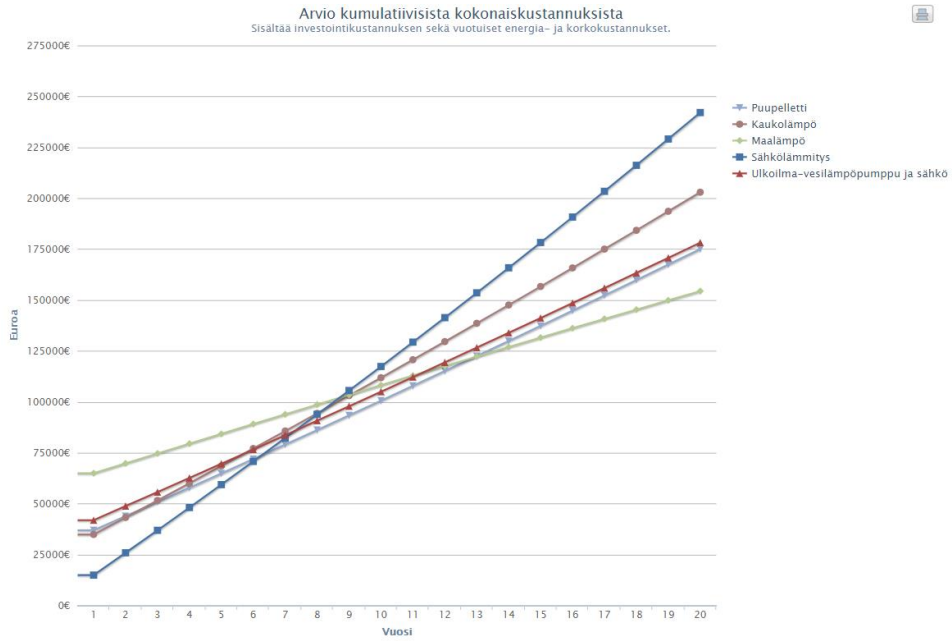
Kuva 20 U3, E3, K2

Arvio kumulatiivisista kokonaiskustannuksista
Sisältää investointikustannuksen sekä vuotuiset energia- ja korkokustannukset.

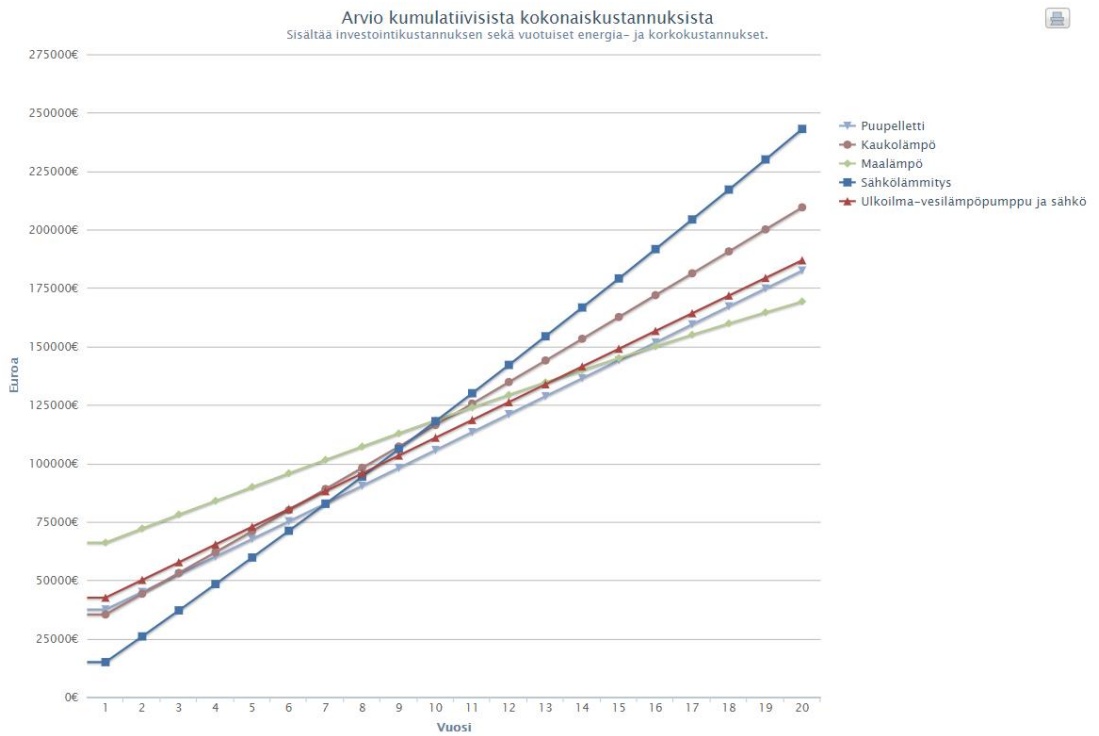


Kuva 21 U3, E3, K4

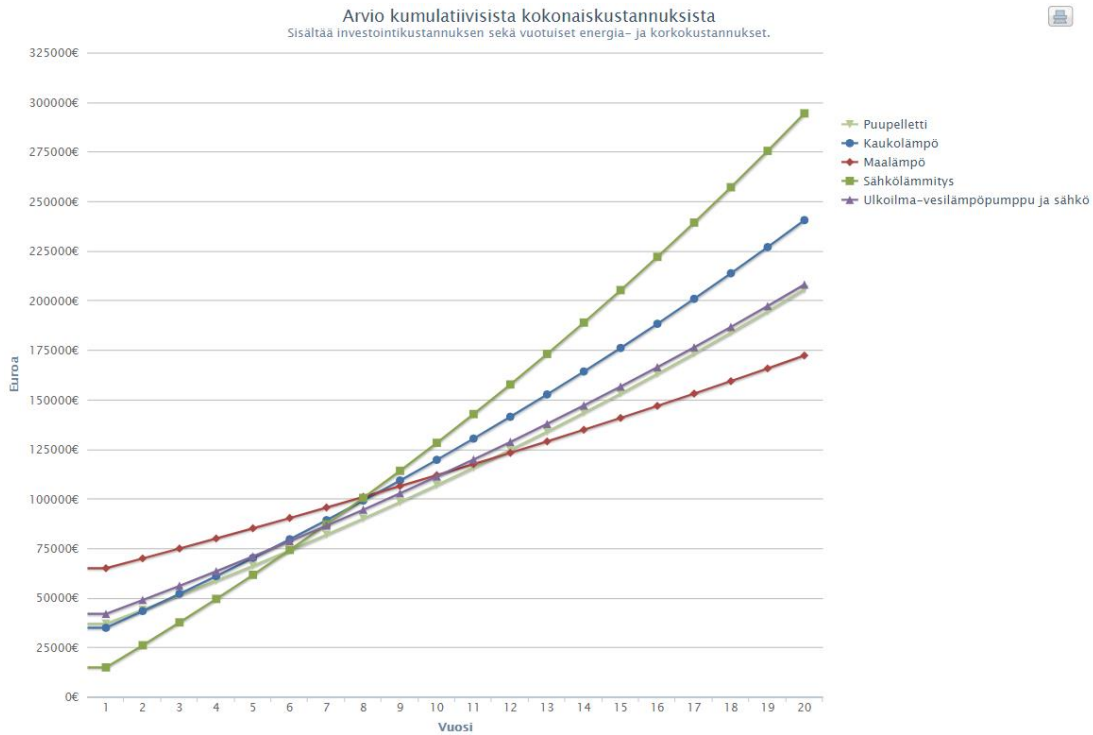
7.1.4 U4 – asuinkerrostalo, uusi



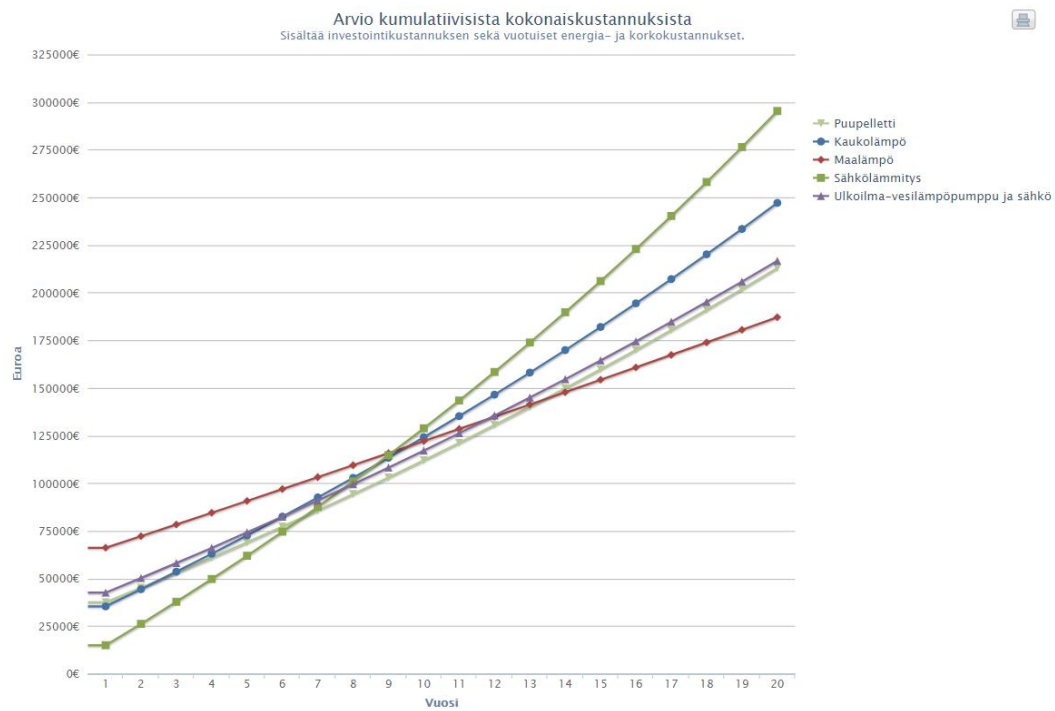
Kuva 22 U4, E1, K2



Kuva 23 U4, E1, K4

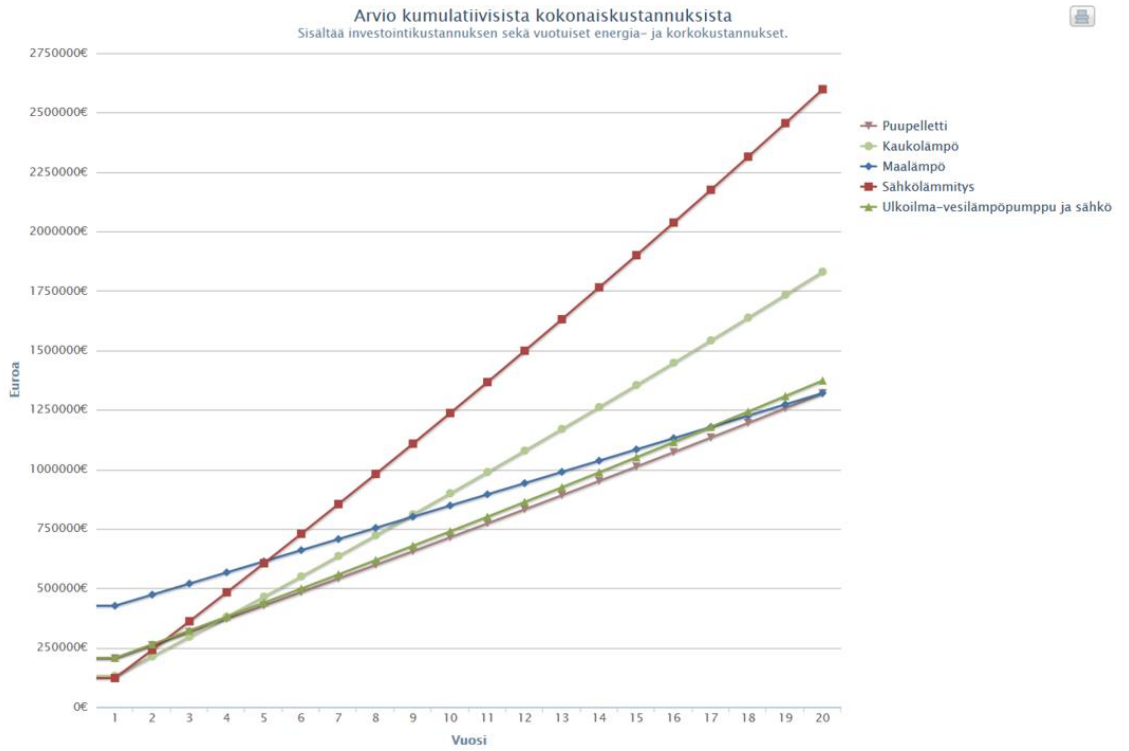


Kuva 24 U4, E3, K2

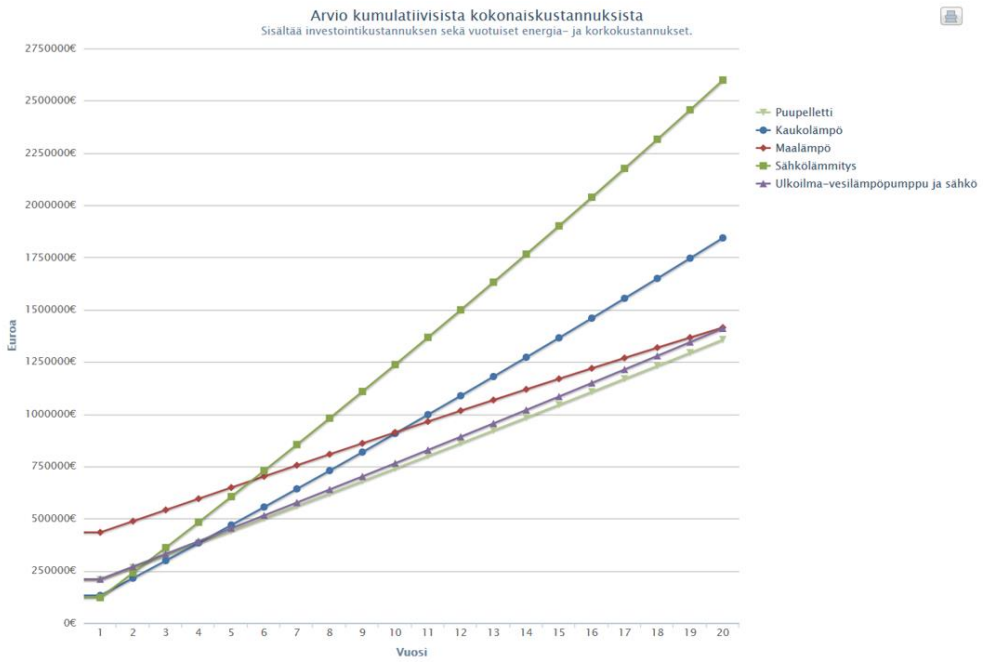


Kuva 25 U4, E3, K4

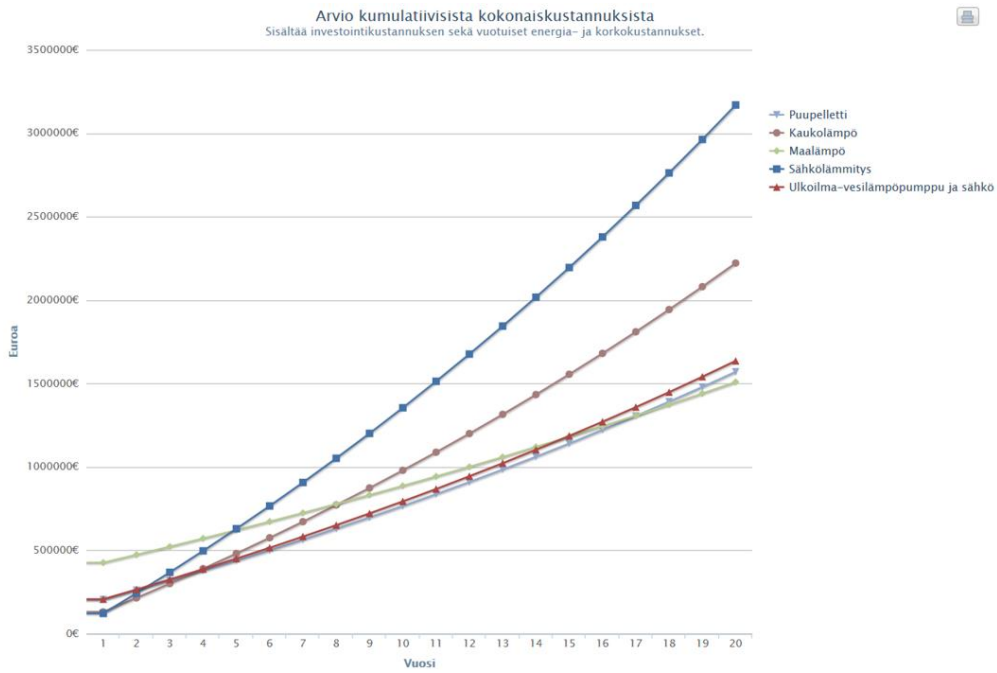
7.1.5 U5 – toimistokerrostalo, uusi



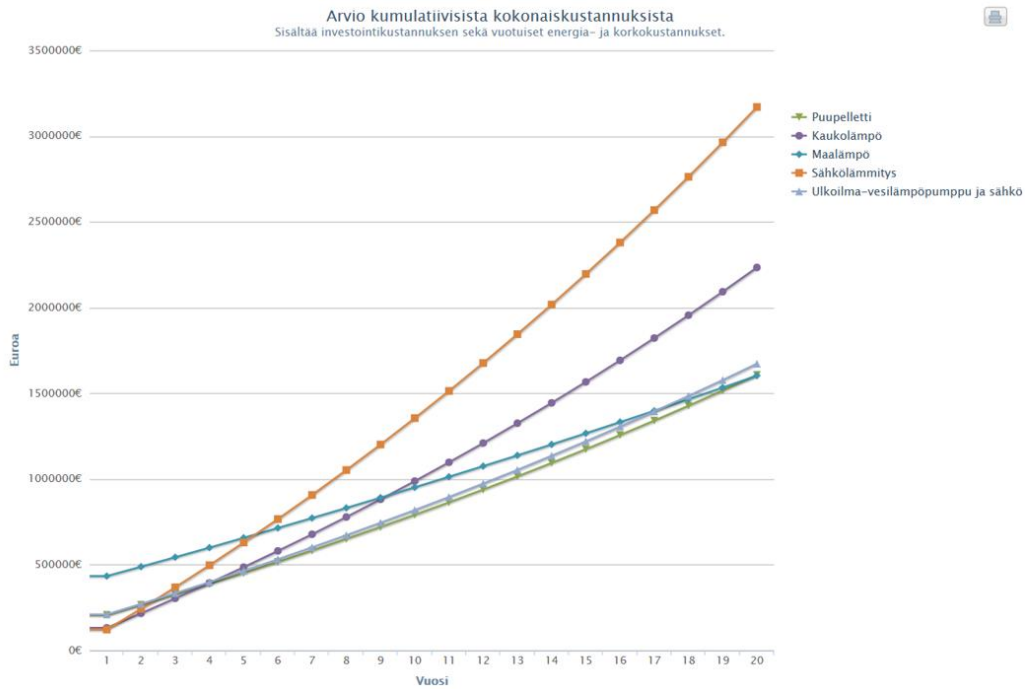
Kuva 26 U5, E1, K2



Kuva 27 U5, E1, K4



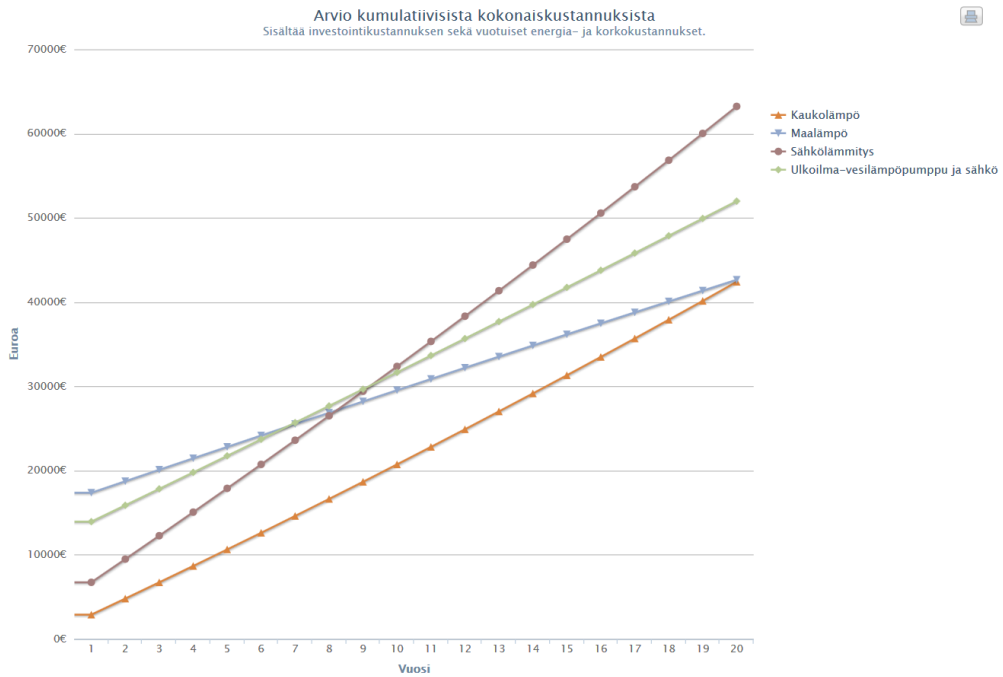
Kuva 28 U5, E3, K2



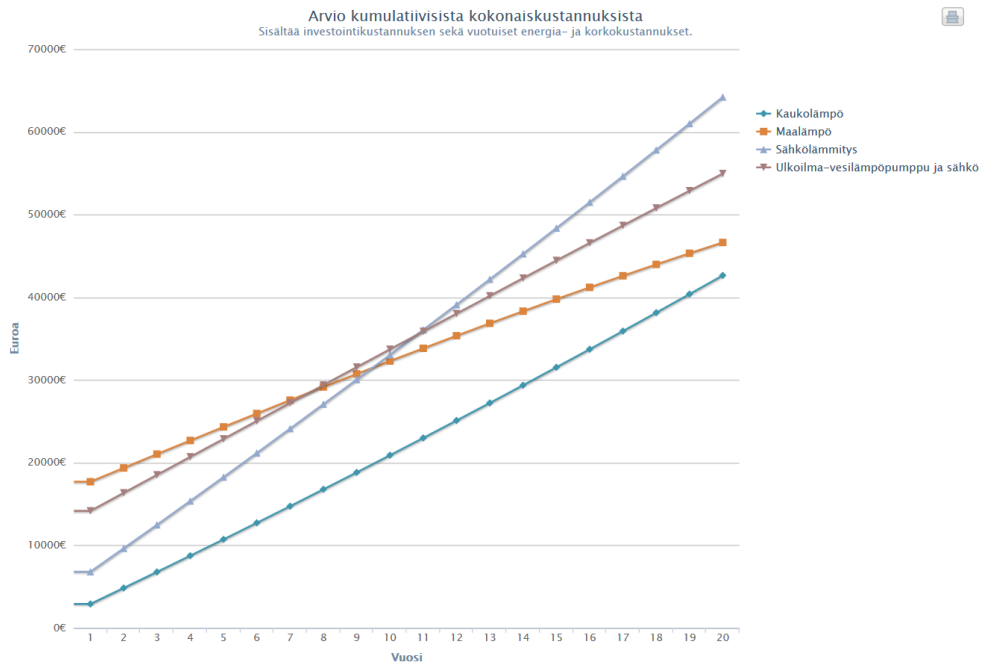
Kuva 29 U5, E3, K4

7.2 Saneerauskohteet

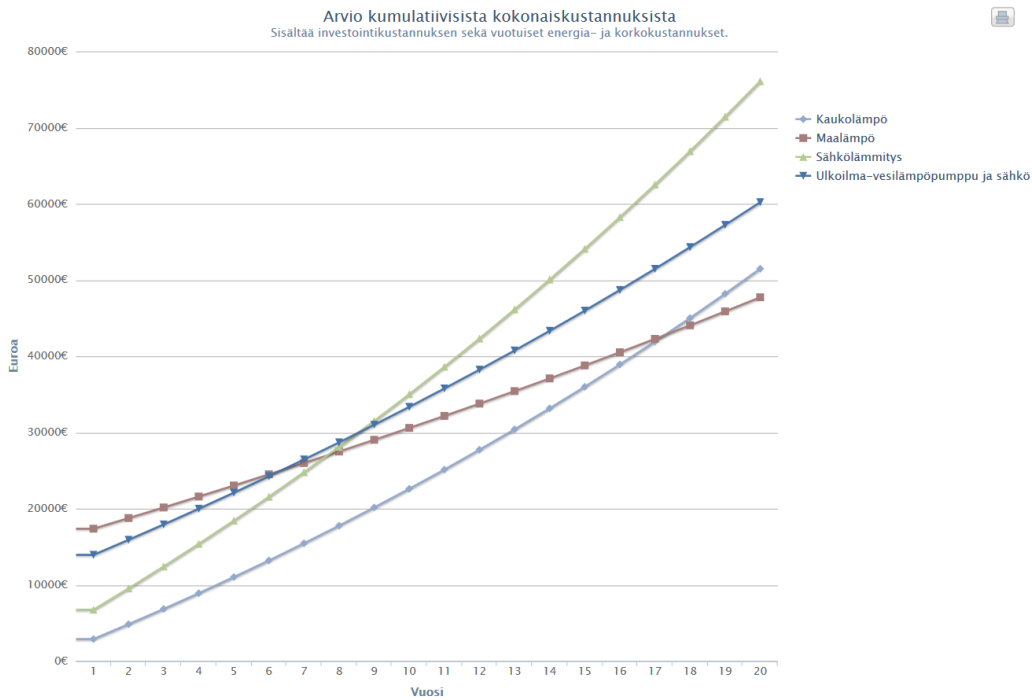
7.2.1 S1 – omakotitalo, vanha, 120 m²



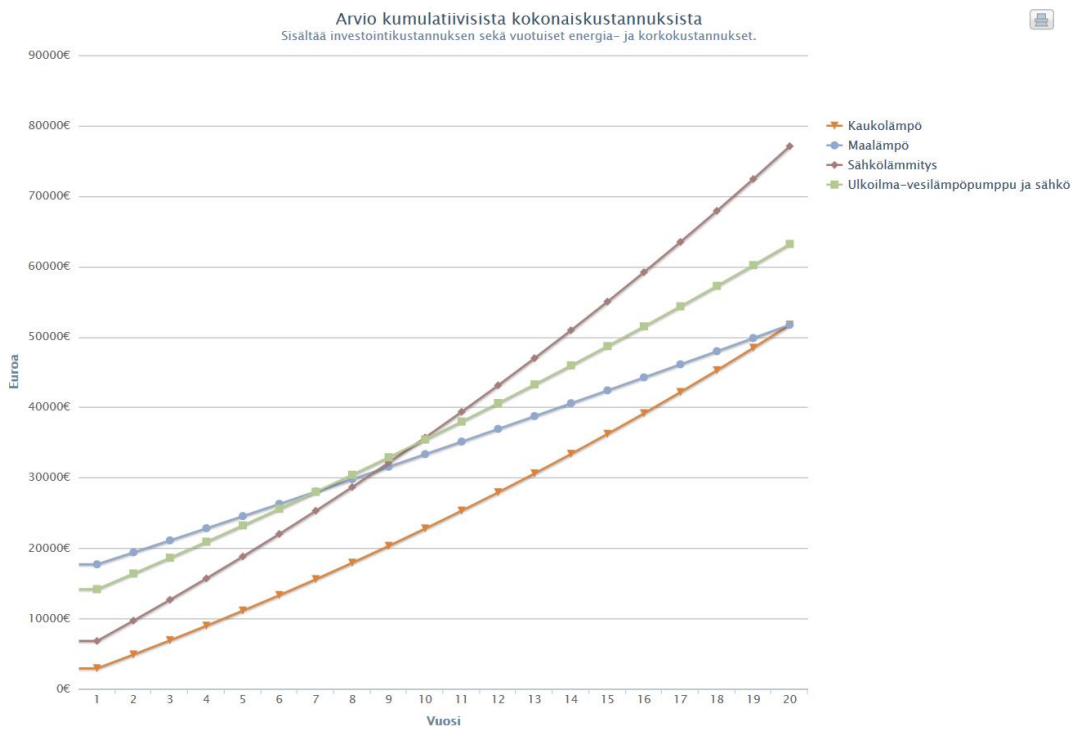
Kuva 30 S1, E1, K2



Kuva 31 S1, E1, K4

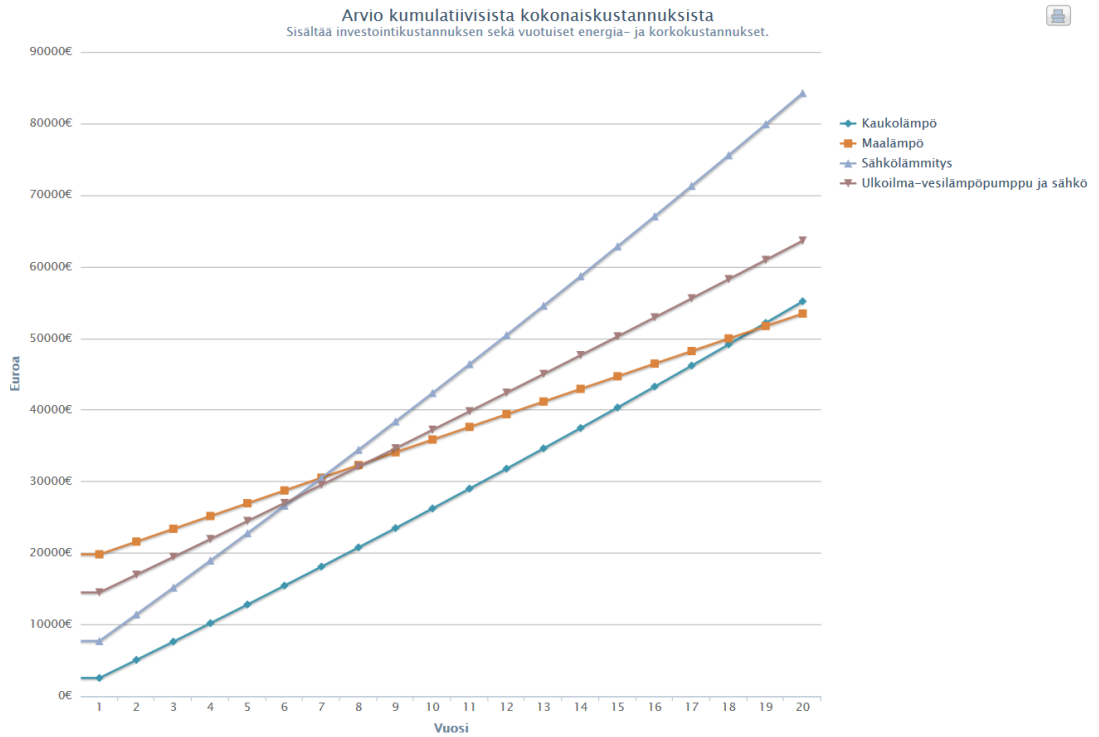


Kuva 32 S1, E3, K2

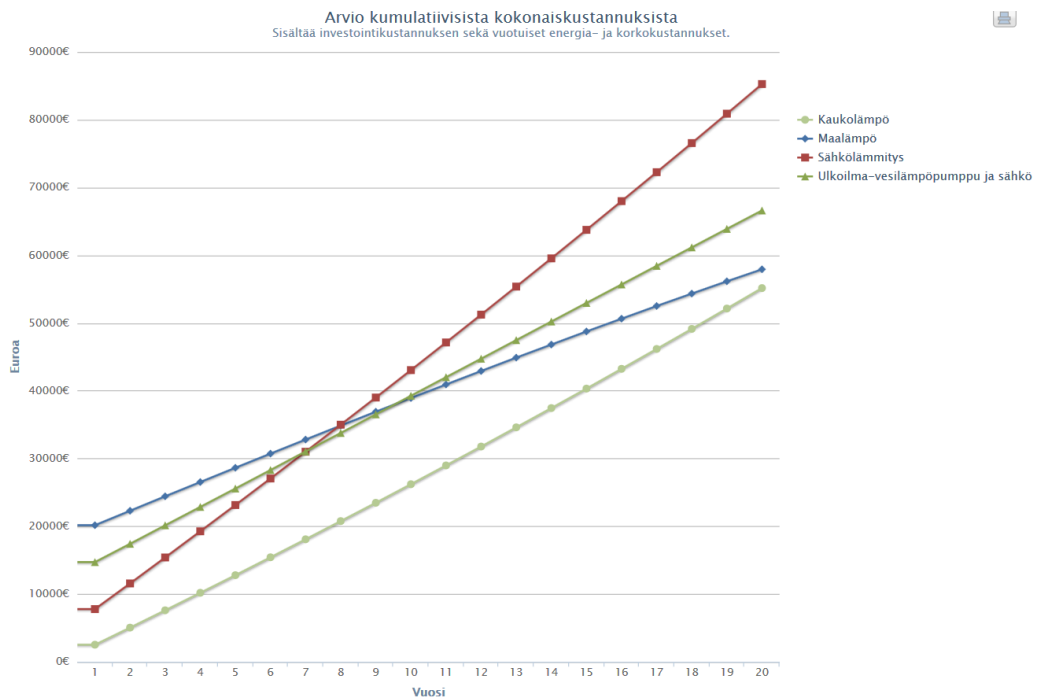


Kuva 33 S1, E3, K4

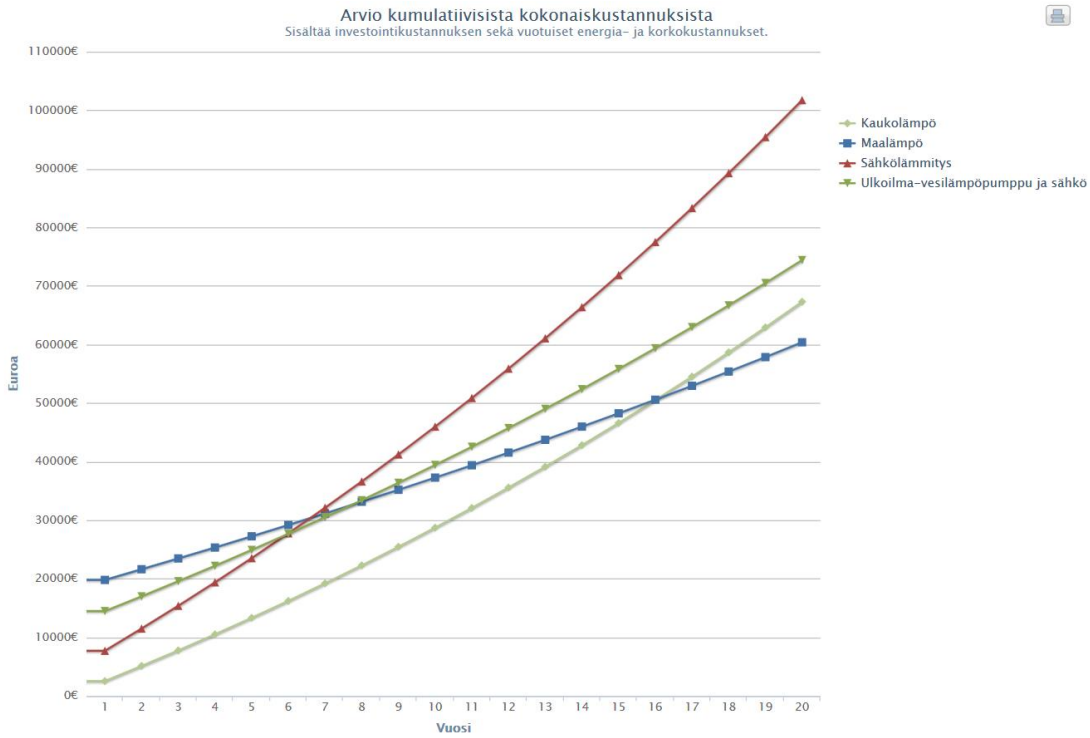
7.2.2 S2 – omakotitalo, vanha, 180 m²



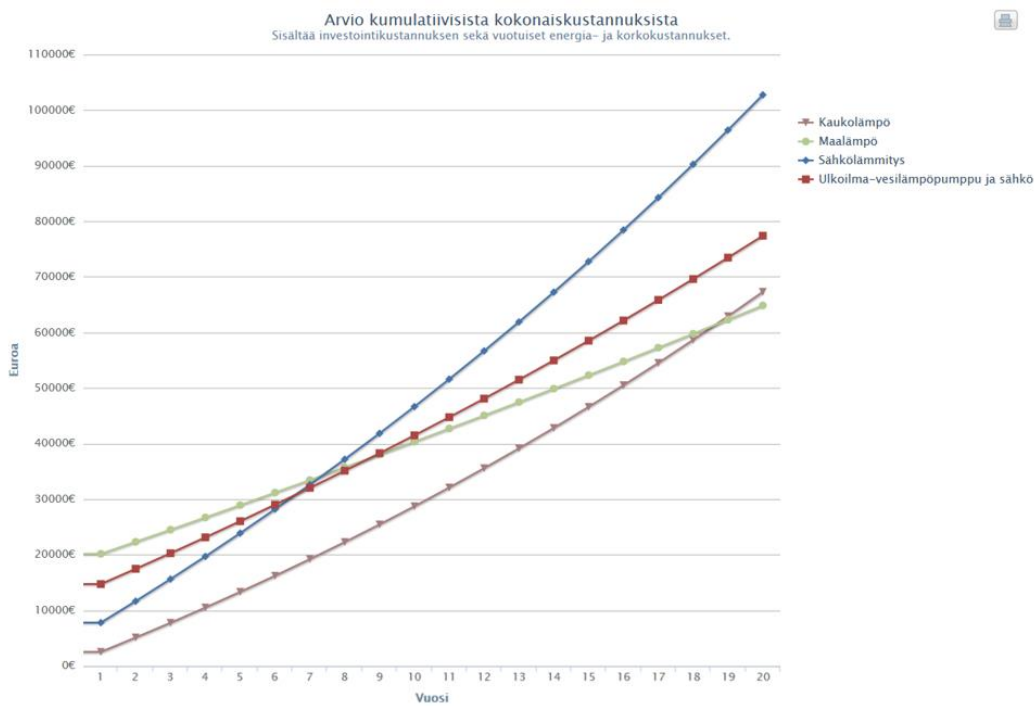
Kuva 34 S2, E1, K2



Kuva 35 S2, E1, K4

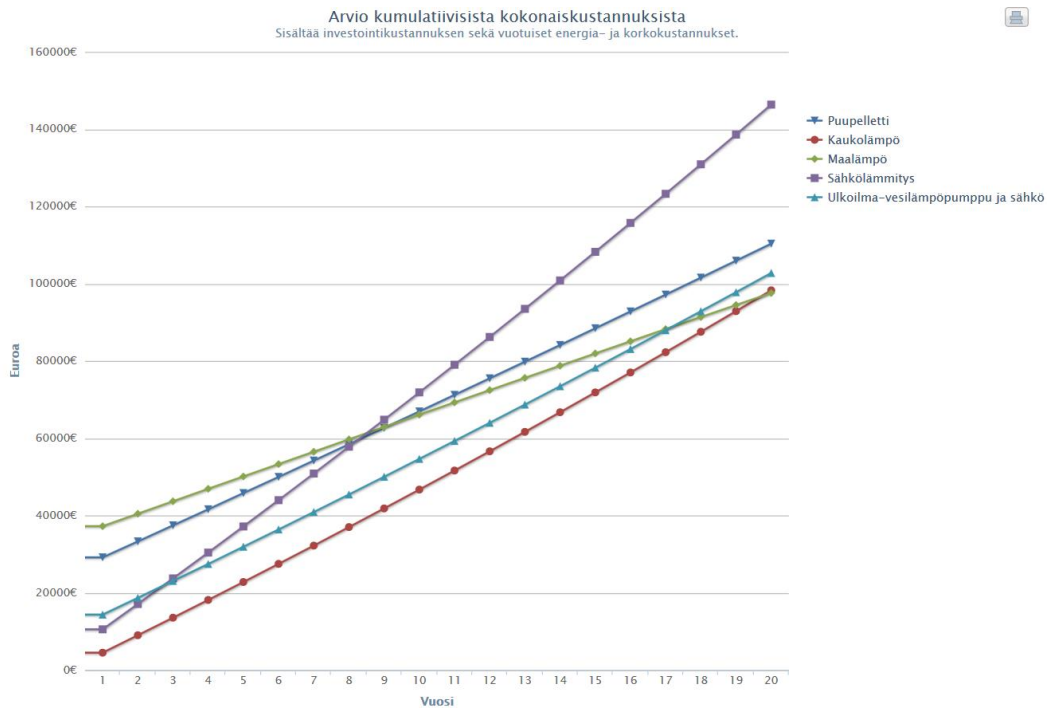


Kuva 36 S2, E3, K2

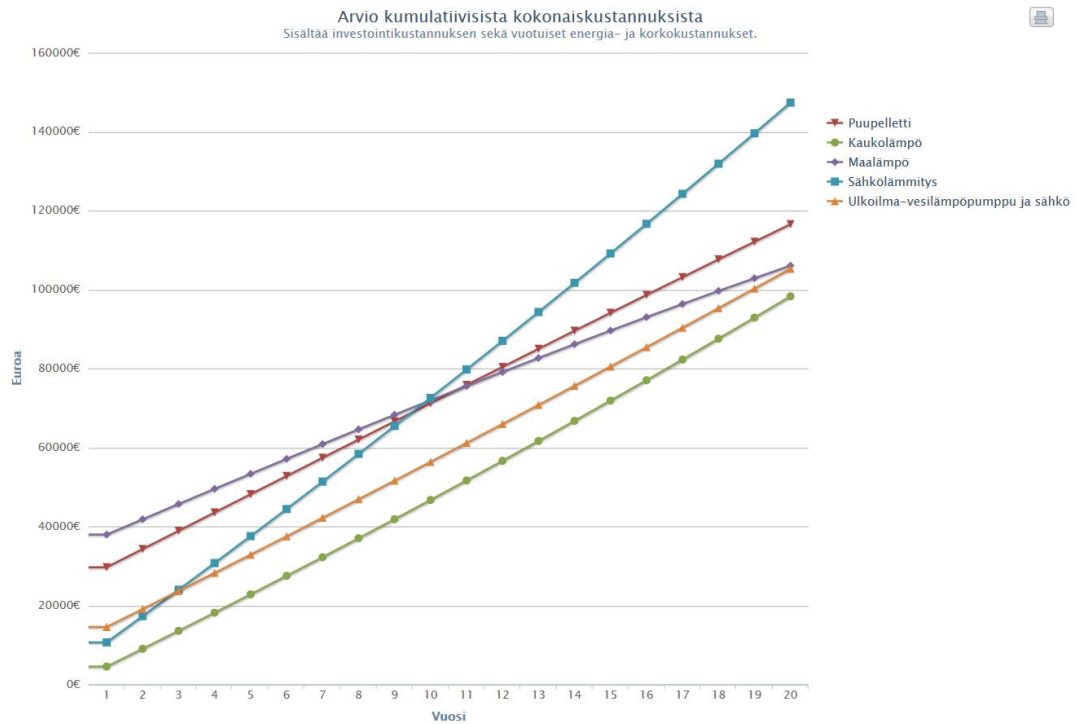


Kuva 37 S2, E3, K4

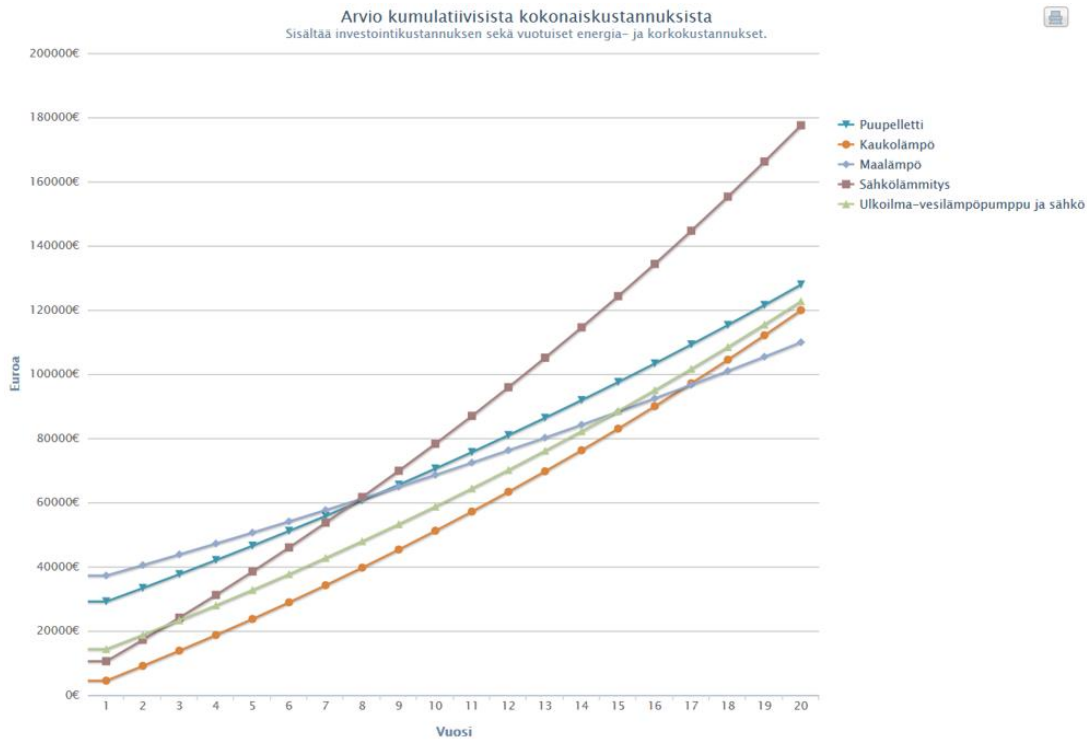
7.2.3 S3 – rivitalo, vanha



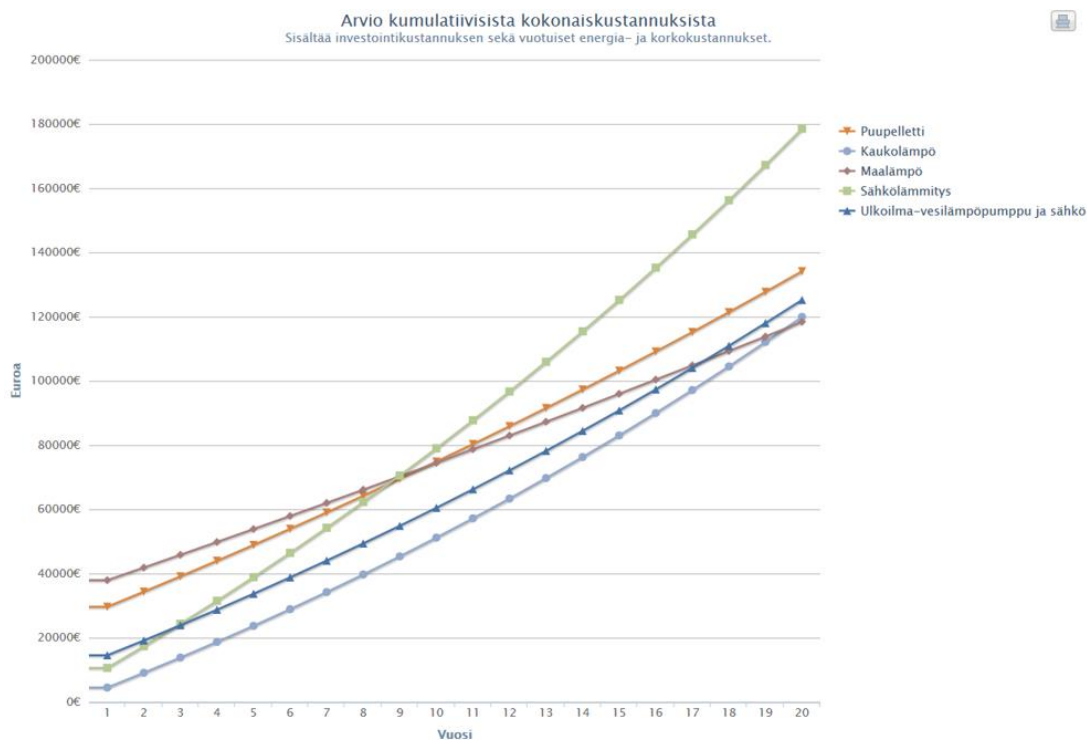
Kuva 38 S3, E1, K2



Kuva 39 S3, E1, K4

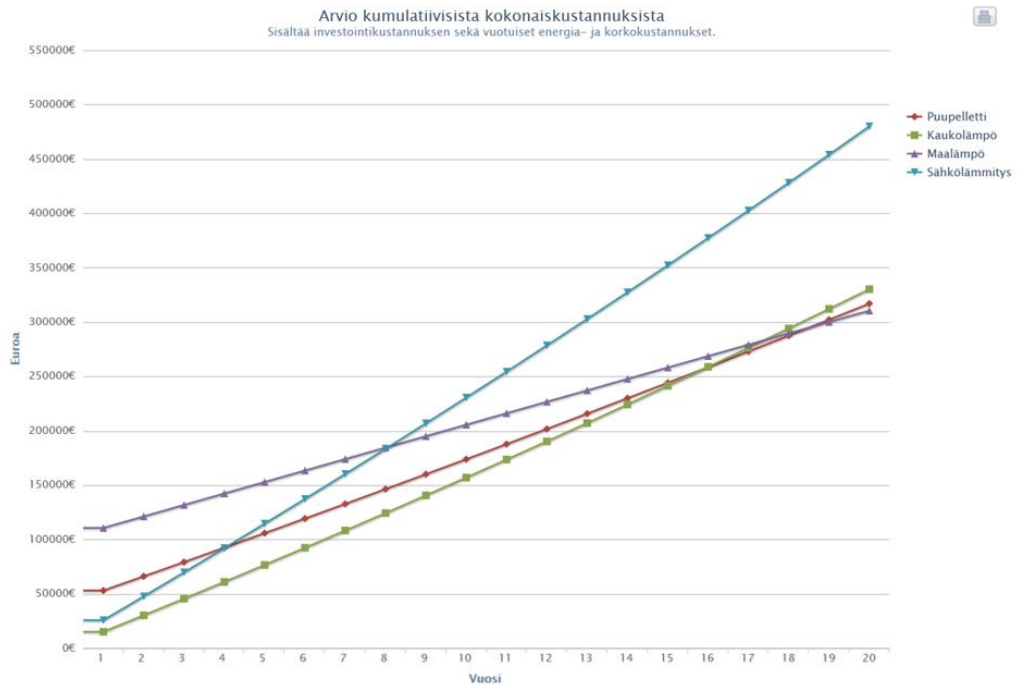


Kuva 40 S3, E3, K2

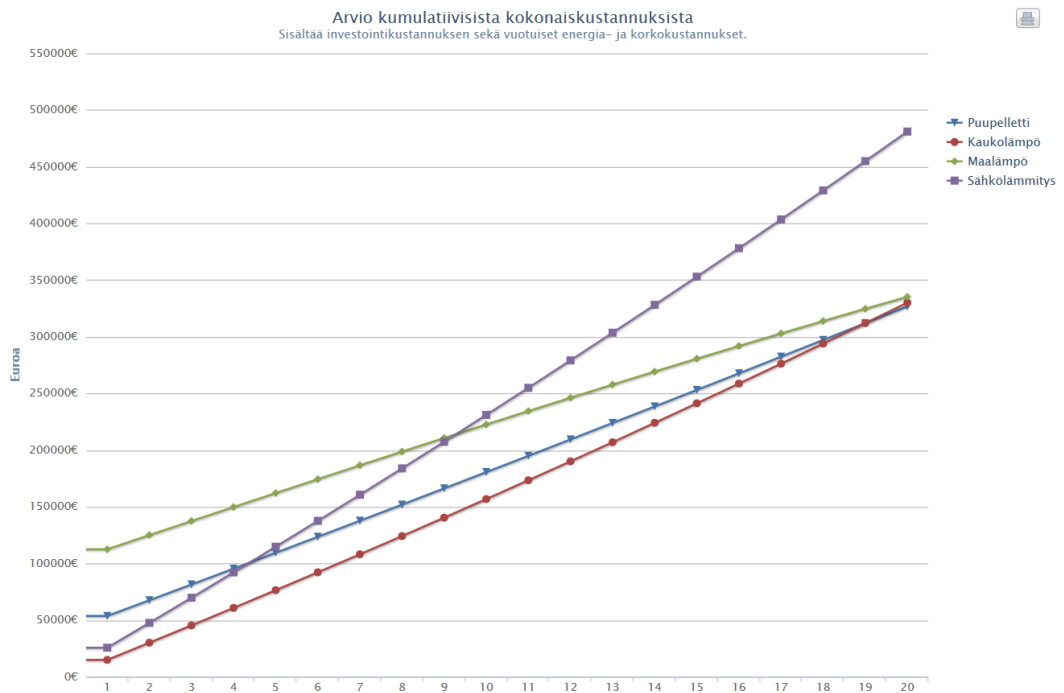


Kuva 41 S3, E3, K4

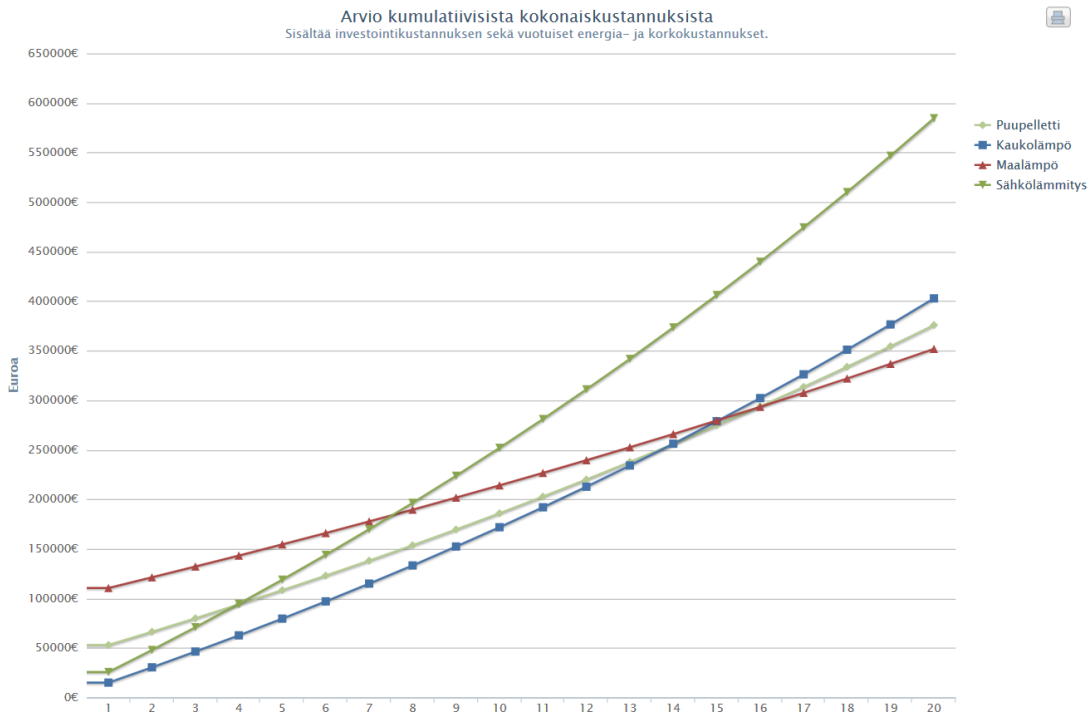
7.2.4 S4 – asuinkerrostalo, vanha



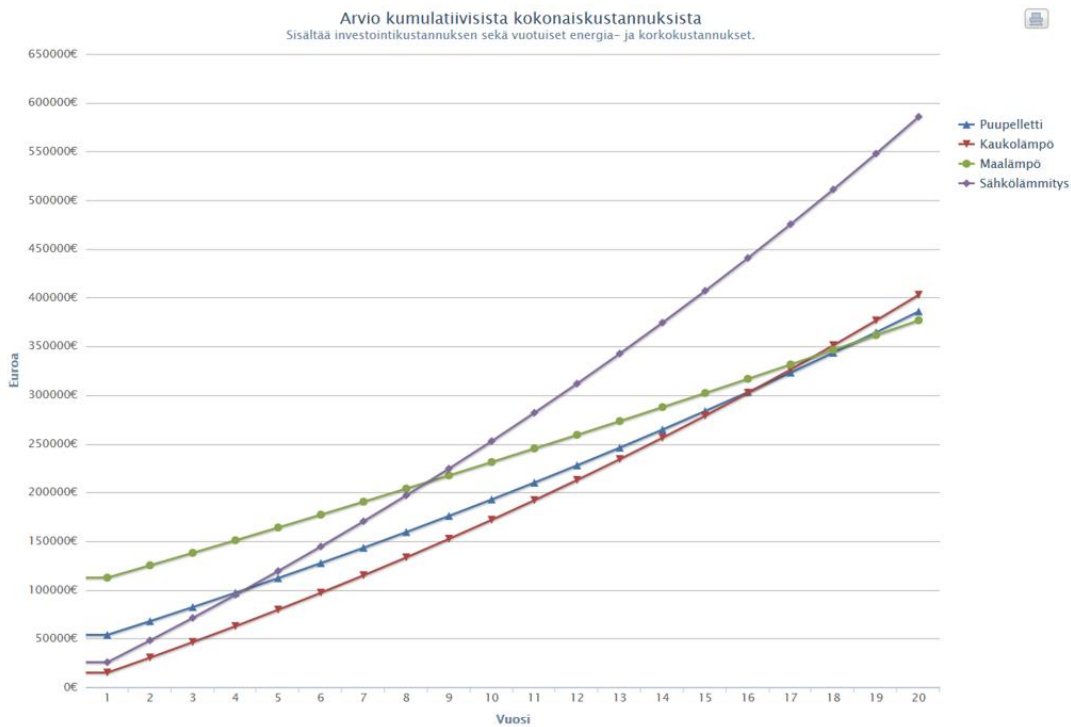
Kuva 42 S4, E1, K2



Kuva 43 S4, E1, K4

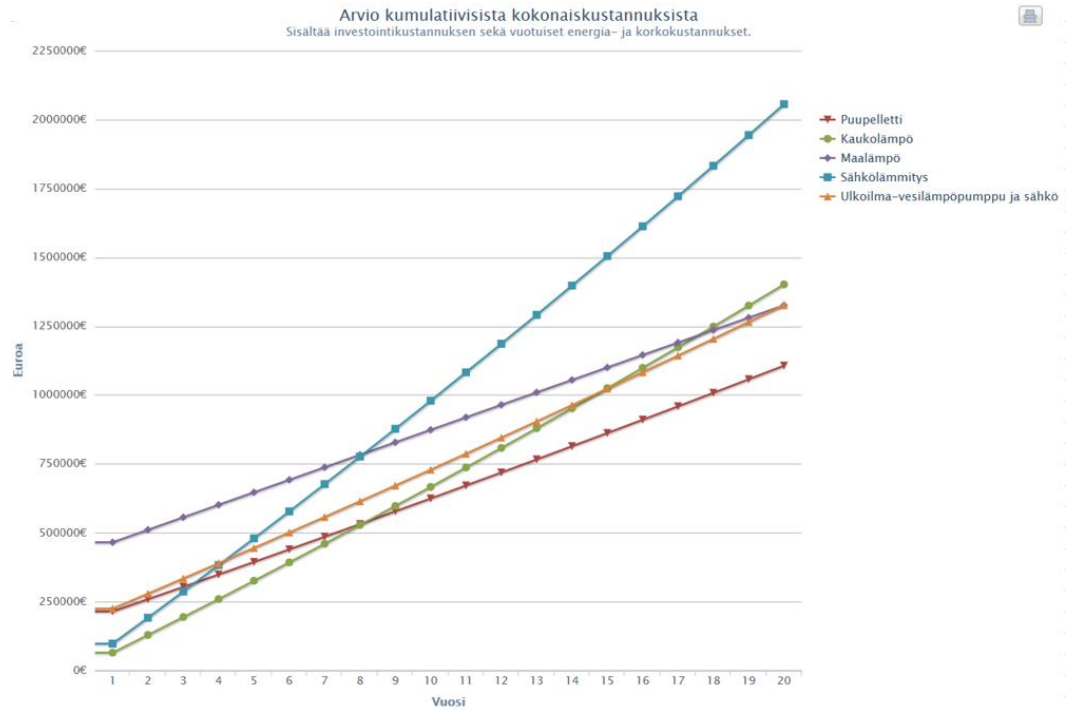


Kuva 44 S4, E3, K2

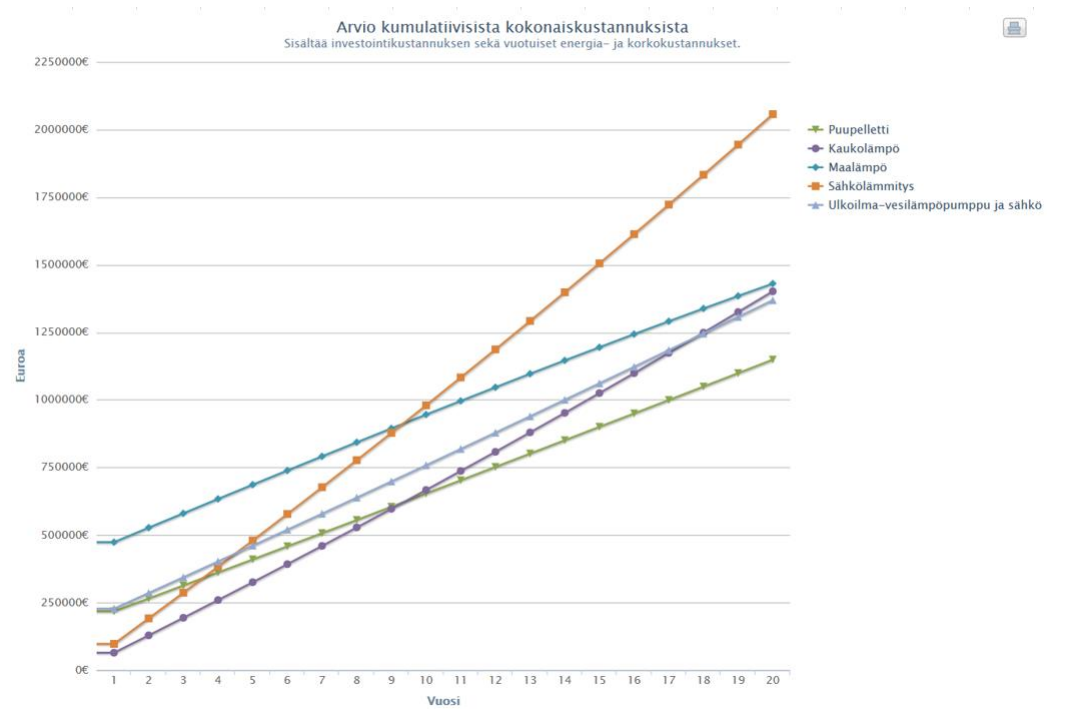


Kuva 45 S4, E3, K4

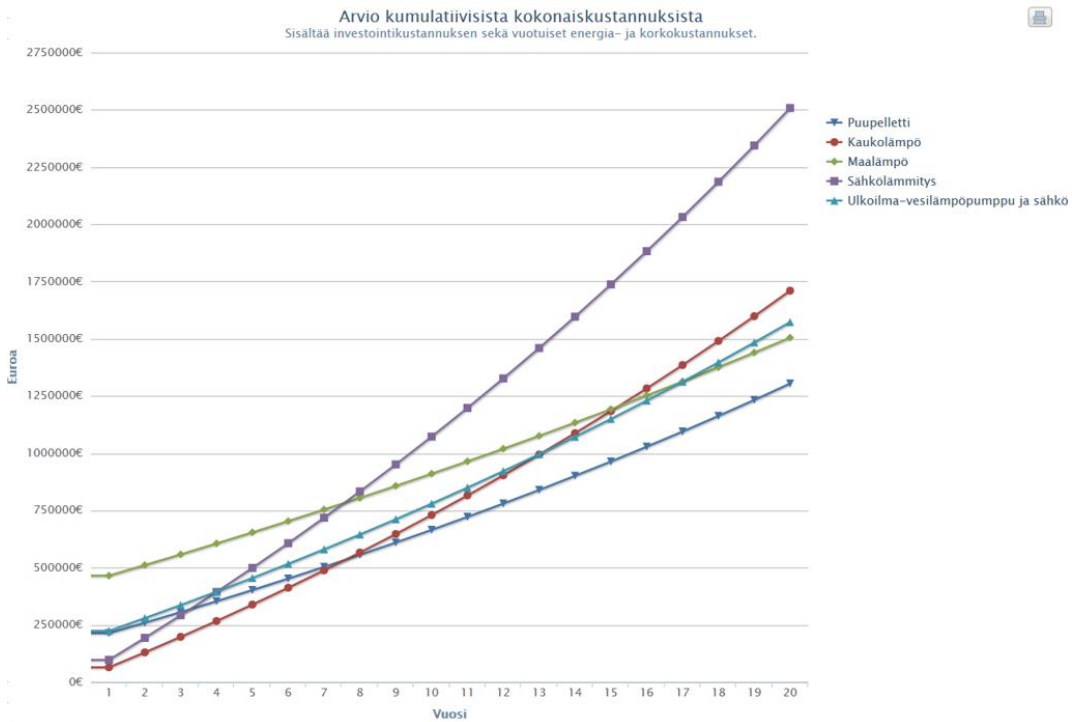
7.2.5 S5 – toimistokerrostalo, vanha



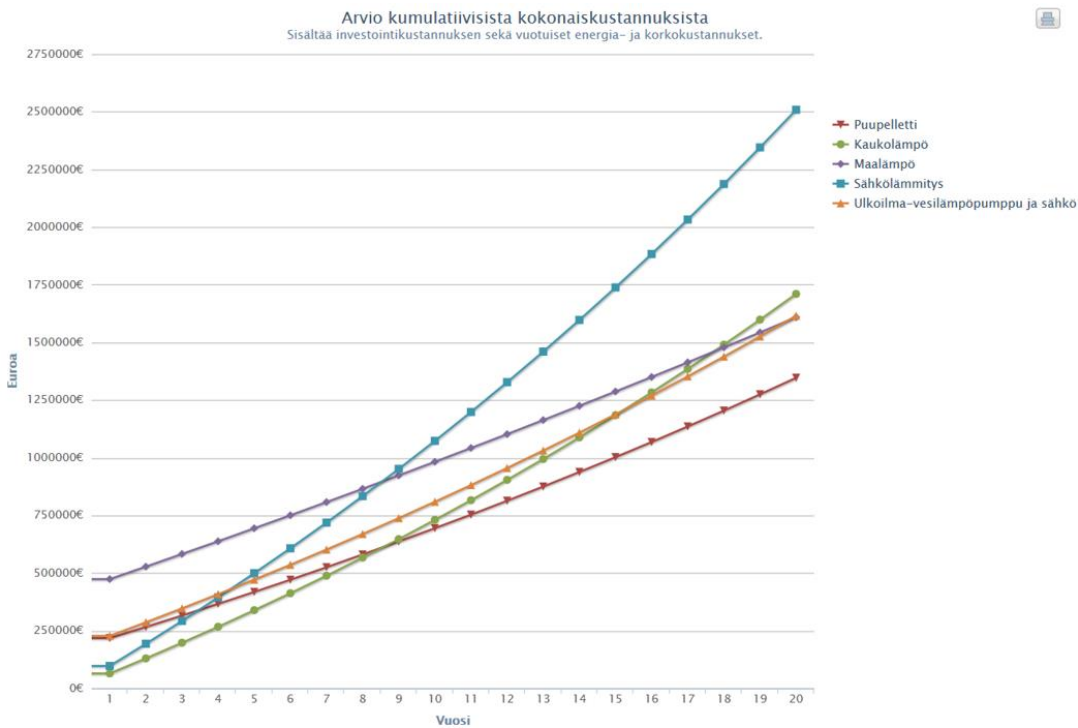
Kuva 46 S5, E1, K2



Kuva 47 S5, E1, K4



Kuva 48 S5, E3, K2



Kuva 49 S5, E3, K4

- 1: <https://www.lansimetro.fi/>
- 2: <https://www.flickr.com/photos/lansimetro/albums/72157623601551263>
- 3: <https://www.lansimetro.fi/tietoa-hankkeesta/turvallisuus/>
- 4: <https://www.fortum.fi/kotiasiakkaille/lammitys/kaukolampo/liita-kotisi-kaukolampoon/laske-kustannusarvio-mita-kaukolampo>
- 5: <https://www.energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>
- 6: Tilastokeskus, Helsingin ja Espoon Rakennuskanta
- 7: <https://docplayer.fi/40443333-Kaukolampo-ja-kaukojaahdytysverkon-tyomaiden-tyomaaoppaan-kehittaminen.html>
- 8: lampokartta.fortum.com
- 9: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- 10:
http://www.energiatehokaskoti.fi/files/380/Maapiirilla_lisaa_energiatehokkuutta_ja_asumismukavuutta.pdf
https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/kaikki_julkaisut/hanki_hallitusti_maalampojarjestelma.9236.shtml; http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaistu/YO_2013_Energiakaivo%2824946%29
http://www.gtk.fi/export/sites/fi/_system/PressReleases/kuvat/2016/Geoenergiakartta.jpg
- 11: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B10A732A6-EA2F-45F9-869C-6F909138CB26%7D/30757>
- 12:
https://www.kotka.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/kotka/embeds/kotkawwwstructure/23306_EtelaKymenlaakso_Geoenergiapotentiaali_Raportti_GTK_2014_12_17.pdf
- 13: https://www.keskisuomi.fi/filebank/24387-Keski-Suomen_geoenergiapotentiaali_4162018_loppuraportti.pdf
- 14:
http://www.lempaala.fi/site/assets/files/19787/gtk_tampereen_kangasalan_ja_lemp_l_n_geoenergiapotentiaali.pdf
- 15: https://www.lansimetro.fi/wp/wp-content/uploads/2017/03/3_hankesuunnitelman_selostus_140308_f.pdf
- 16: <https://kartat.espoo.fi/ims>
- 17: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/ilma-vesilampopumppu;
https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/kaikki_julkaisut/hanki_hallitusti_ilma-vesilampopumppu.9236.shtml; http://www.energiatehokaskoti.fi/files/384/Tutkittua_saastoa_ilma-vesilampopumpulla.pdf

18:

https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/pellettilammitys

19: <http://docplayer.fi/1155236-Kaukolammon-hinnoittelun-nykytila-ja-tulevaisuuden-mahdollisuudet.html>

20: <https://www.fortum.fi/kotiasiakkaille/lammitys/kaukolampo/kaukolammon-hinnat-pientaloille>

21: <https://www.fortum.fi/kotiasiakkaille/lammitys/kaukolampo/liita-kotisi-kaukolampon/laskekustannusarvio-mita-kaukolampo>

22: <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/lammitys/kaukolampo-0/kaukolammon-hinnat-taloyhtioidelle-ja-yrityksille>.

23 : <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/lammitys/kaukolampo-0/fortum-liisi>

24: [http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/YO_2013_Energiakaivo\(24946\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/YO_2013_Energiakaivo(24946))

25: Tilastokeskus (kuluttajahintaindeksi); Suomen Pankki

(https://www.suomenpankki.fi/fi/Tilastot/korot/taulukot2/korot_taulukot/euribor_korot_long_fi/)