



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Jami Lehti

Asuinkerrostalojen hybridikytkentöjen energia- ja elinkaarilaskenta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

14.05.2020

Tekijä Otsikko	Jami Lehti Asuinkerrostalojen hybridikytkentöjen energia- ja elinkaarilas- kenta
Sivumäärä Aika	39 sivua 14.05.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	yliopettaja Aki Valkeapää energiapäällikkö Juuso Uotila
<p>Insinööriyön tavoite oli laskea kerrostalokohteen energia- ja elinkaarikustannusten perusteella hybridilämmityksen kannattavuus Suomessa. Hybridilämmitys on melko tuore innovaatio Suomessa, joten vertailukohteita ei ole paljon. Insinööriyö tehtiin Hepacon Oy:lle, jonka yksi suunnittelusuuntautuminen on energia- ja elinkaarilaskenta. Eri taulukot ja kuvaajat on tehty yhdessä Hepacon Oy:n energiapäällikön kanssa.</p> <p>Työssä on laskettu uudiskerrostalon energia- ja elinkaarikustannukset eri lämmitysmuodoilla. Hybridilämmityksen vertailukohteena käytettiin maalämmitystä ja kaukolämmitystä. Henkilö-, sähkö- ja laitekuormat laskettiin standardien avulla. Laskennassa selvisi, että hybridilämmitys on energiatehokkain ratkaisu.</p> <p>Työssä on pohdittu kerrostalojen lämmitysmuotoratkaisuja eri näkökulmista. Kustannuslaskennassa on käytetty erilaisia kustannusarvioita, eikä näin ollen tiedetä rahan arvon nousuista tai laskuista. Tarkasteluissa on laskettu hintatiedot standardin omaisille eskalaatioille.</p>	
Avainsanat	hybridilämmitys, lämmitys, energialaskenta, elinkaarilaskenta

Author Title	Jami Lehti Energy and Life Cycle Calculations for Hybrid Heating for Apartment Buildings
Number of Pages Date	39 pages 14 May 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Juuso Uotila, Energy and Life Cycle Project Manager Aki Valkeapää, Principal Lecturer
<p>The aim of the final year project was to establish whether if heating is cost-effective to heat apartment buildings with hybrid heating in Finland, compared to only using either district heating or geothermal heating, the constituents of hybrid heating.</p> <p>The final year project was done by calculating the energy and life-cycle costs for a new apartment building with the three heating solutions. Study data about hybrid heating was not readily available because the system is still in its infancy. The occupant, electricity and equipment loads were calculated with standard values. The calculations were done with MS Excel and IDA ICE, with energy and life cycle calculations so efficiency was not calculated.</p> <p>The thesis established that geothermal heating system was always the best option. However, it was also established that hybrid heating was a better solution for apartment buildings than district heating.</p>	
Keywords	heating, hybrid heating, energy and life cycle calculations

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn taustaa	1
1.2	Työn tavoitteet	1
1.3	Työn rajaukset	2
1.4	Työn tilaaja	2
2	Teoriaa	3
2.1	E-luku	3
2.2	Elinkaarikustannus	4
2.3	Maalämpö	7
2.3.1	Yleistä	7
2.3.2	Maalämmön mitoituserusteet	7
2.3.3	Maalämmön komponentit	8
2.4	Kaukolämpö	8
2.4.1	Yleistä	8
2.4.2	Kaukolämmön mitoitus kiinteistössä	10
2.5	Yhdistelmälämmitys	11
2.5.1	Yleistä	11
2.5.2	Hyödyt ja haitat	12
2.6	Kustannukset	13
3	Laskenta	16
3.1	Kohde	16
3.1.1	Lähtötiedot kohteesta.	16
3.1.2	Simulaatio	17
3.2	Vertailtavat järjestelmät	18
3.2.1	Kaukolämpö	18
3.2.2	Maalämpö	20
3.2.3	Maakaukolämpöhybridi	22
3.3	Energialaskenta	24
3.4	Elinkaarikustannukset	26

3.5 Tulokset	35
4 Johtopäätökset	37
Lähteet	39

Lyhenteet

€/a	Euroa vuodessa
€/MWh	Euroa megawattituntia kohden
KL	Kaukolämpö
KL+MLP	Kaukolämpö ja maalämpöpumppu hybridi
kWh _€ /(m ² a)	Kilowattituntia energiaa neliometriä kohden vuodessa
m ³ /h	Kuutiometriä tunnissa
LVI	Lämmitys-, vesi- ja ilmanvaihtotekniikka
MLP	Maalämpöpumppu
MWh/a	Megawattituntia vuodessa
RakMk	Suomen rakentamismääräyskokoelma, ympäristöministeriön ohjeet ja säädökset rakentamiselle

1 Johdanto

1.1 Työn taustaa

Rakentamisessa on yhä useammin kiinnitetty huomiota rakennuksen energiatehokkuuteen. Energia- ja elinkaarilaskenta ovat isossa roolissa uudiskohteiden rakentamisessa ja suunnittelussa. Myös saneerauskohteisiin pyritään selvittämään ja toteuttamaan energiatehokkuudeltaan paras ratkaisu.

Uusissa ympäristöministeriön määräyksissä ja ohjeissa on annettu entistä tiukemmat raja-arvot energialuvuille ja vanhat tehokkaat, mutta energiakulutukseltaan huonoimmat vaihtoehdot ovat vähenemässä ja viimeisetkin ratkaisut pyritään saneeraamaan ja korvaamaan uusilla järjestelmillä.

E-luku on standardi määräysarvo, jolla pidetään uudiskohteet, saneerauskohteet ja korjauskohteet energiatehokkaina. E-luku tarkoittaa energian kulutusta rakennuksen pinta-alaa kohden. Eri rakennukset ovat jaettu useaan eri luokkaan, joilla on omat raja-arvonsa.

Työssä lasketaan asuinkerrostalon lämmitysjärjestelmän elinkaari ja energiatehokkuus. Järjestelminä työssä käytetään kaukolämmitystä, maalämmitystä ja maa-kaukolämpöhybridiä. Teoriaosuudessa on esitetty laskentaan tarvittavat kaavat, sekä selitetty eri järjestelmät perusteellisesti ja lyhyesti.

1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on laskea eri lämmitysjärjestelmien investointi, käyttö, huolto ja ylläpito kustannukset. Näitä vertailemalla saadaan aina valittua paras mahdollinen lämmitysjärjestelmä kohteelle. Tästä on myös mahdollista selvittää vaihtoehtoinen lämmitysjärjestelmä, mikäli primäärivaihtoehdon käyttäminen on mahdotonta.

Erilaisten vaihtoehtojen vertailu suunnitteluvaiheessa on tulevaisuudessa pakollinen vaihe, jotta voidaan heti alussa sulkea pois huonoimmat vaihtoehdot ja saadaan tietoa siitä, mikä järjestelmä sopii kohteelle parhaiten.

Hybridilämmitys on kerrostalokohteissa vielä uusi ja tuntematon järjestelmä. Työssä esitetään mahdolliset kustannusarviot, hyödyt, haitat ja elinkaari maa-kaukolämpöhybridille.

1.3 Työn rajaukset

Työ on rajattu asuinkerrostalojen lämmitysmuotojen energia- ja elinkaarilaskentaan. Vertailun kohteena olevat lämmitysjärjestelmät on rajattu kolmeen; kaukolämpö, maalämpö ja maa-kaukolämpöhybridi. Hybridi tarkoittaa kahden tai useamman lämmitysjärjestelmän yhdistämistä, joten esimerkiksi sähkö-, aurinko- tai öljylämmitys ei ole mainittu työssä.

Teoriaosuus on rajattu lyhyeksi perustiedoksi aiheista. Aiheiden esittelyt ovat periaate- tasolla ja laskentakaavat ovat laskentaosuutta palvelevia. Mahdolliset poikkeusjärjestelmät ja muut vaihtoehtoratkaisut on jätetty pois työstä.

Kohteen esittely on myös rajattu. Kohteesta on mainittu työssä nimi, osoite ja lähtötiedot. Rakennuttaja ja tilaaja on jätetty ulos työstä.

1.4 Työn tilaaja

Työn on tilannut Hepacon Oy. Työ on tehty yhteistyössä Hepacon Oy:n energiapäällikön ja LVI-projektipäällikön kanssa.

Simuloinnissa on käytetty IDA ICE -sovellusta ja siinä käytetyt arvot ovat salattuja. Myös mahdolliset kaavioiden arvojen laskentakaavat ovat salattuja.

2 Teoriaa

2.1 E-luku

E-luvulla tarkoitetaan laskennallisen energiatehokkuuden vertailulukua. Yksikkönä on $\text{kWh}_E/(\text{m}^2 \text{ a})$, eli energian kulutus neliometriä kohden vuotuisesti. Rakennuksen käyttö-tarkoitukseluokan mukaan on jaettu E-luvun raja-arvoja, joita ei saa ylittää nykysäädännön mukaan. Asuinkerrostalot kuuluvat luokkaan 2, jolloin raja-arvo on $90 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2 \text{ a})$. E-luku perustuu standardienergiankulutuksen laskentamenetelmään, jossa rakennuksen käyttö on rakennusluokakohtaisesti standardoitu. Näin eri laatutason ratkaisut esim. tuoilman määrässä eivät vaikuta E-lukuun. [1]

E-luku lasketaan kaavalla

$$E = \frac{f_{\text{kaukolämpö}} Q_{\text{kaukolämpö}} + f_{\text{kaukojäähdytys}} Q_{\text{kaukojäähdytys}} + \sum_i f_{\text{polttoaine}} Q_{\text{polttoaine}} + f_{\text{sähkö}} W_{\text{sähkö}}}{A_{\text{netto}}}$$

jossa

E	energiatehokkuuden vertailuluku, $\text{kWh}_E/(\text{m}^2 \text{ a})$
$Q_{\text{kaukolämpö}}$	kaukolämmön kulutus vuodessa kWh/a
$Q_{\text{kaukojäähdytys}}$	kaukojäähdytyksen kulutus vuodessa kWh/a
$Q_{\text{polttoaine}}$	polttoaineen sisältämän energian kulutus vuodessa kWh/a
$W_{\text{sähkö}}$	sähkön kulutus vuodessa kWh/a
$f_{\text{kaukolämpö}}$	kaukolämmön energiamuodon kerroin
$f_{\text{kaukojäähdytys}}$	kaukojäähdytyksen energiamuodon kerroin
$f_{\text{polttoaine}}$	polttoaineen energiamuodon kerroin
$f_{\text{sähkö}}$	sähkön energiamuodon kerroin
A_{netto}	rakennuksen lämmitetty nettoala, m^2

2.2 Elinkaarikustannus

Hankesuunnitteluvaiheessa tehtävässä elinkaarikustannuslaskelmassa voidaan määrittää parhaiten sopiva ja kestävä lämmöntuottojärjestelmä. Samalla saadaan luotua tavoitteet järjestelmän rakentamisen ja käytön aikaisille kustannuksille. Lämmöntuottojärjestelmien tekninen käyttöikä on yleensä 10–30 vuotta. Hankkeen edetessä tulisi päivittää, tarkastaa ja tarvittaessa muuttaa laskelmia vastaamaan suunnitelmia. [2]

Elinkaarikustannuksella tarkoitetaan tarkasteltavan kohteen 10–30 vuoden aikana kerryntyneitä kustannuksia. Elinkaarikustannukset koostuvat investointikustannuksista, joihin kuuluu laitteen hankintakustannukset ja asennuskustannukset, sekä käyttökustannuksista, jotka koostuvat käytön aiheuttamista kustannuksista, huoltokustannuksista ja ylläpitokustannuksista. Käyttökustannuksia laskiessa käytetään kertoimena haluttua käyttöikää. Tässä työssä käytetään 20 vuoden käyttöikää elinkaarikustannusten tarkastelussa. [3]

Elinkaarikustannuksia tarkastellessa otetaan huomioon yleensä myös korkolaskenta. Investointi johonkin tuotteeseen on sijoitus, johon tarvitaan pääomaa. Sijoituksessa on maksettava korkoa rahoittajalle. [3]

Elinkaarikustannukset korottomana lasketaan kaavalla

$$H + q$$

jossa

H investointikustannukset
q vuotuiset käyttökustannukset

Vuosikustannuslaskenta lasketaan seuraavalla kaavalla [13]

$$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} * H + q$$

jossa

i	laskentakorko
n	käyttöikä
H	investointikustannukset
q	vuotuiset käyttökustannukset

Diskonttaustekijä kertoo rahan aika-arvon. Reaaliarvoltaan samansuuruinen maksusuoritus on saajalleen arvokkaampi heti saatuna, kuin että hän saa sen vasta vuosien päästä. Tämän takia lasketaan rahalle diskonttaustekijä, jolla saadaan selville, paljonko tulisi olla rahan arvo sillä hetkellä, kun se maksetaan, jotta rahan arvo olisi sama vuosien päästä. [13]

$$dis = 1/(1 + r/100)^i$$

jossa

dis	diskonttaustekijä
r	korko (%)
i	aikajänne nykyhetkestä kustannuksen toteutumavuoteen

Investoinnin nykyarvo kertoo, kuinka paljon investoinnista jää nettotuloja, kun siitä on vähennetty investointikustannukset ja vuotuisten kustannusten summa. Ennen nykyarvon laskemista tulee tuotot ja investointikustannukset diskontata arviointihetkeen. [13]

$$K_{NA} = \sum [K_i * dis_i]$$

jossa

K_{NA}	kustannuksen nykyarvo
K_i	kustannus vuonna i
dis_i	diskonttaustekijä vuonna i

Annuiteetti kertoo, kuinka paljon investoinnista jää vuosittain tuloja, kun tuotoista on vähennetty vuosittaiset kustannukset ja investointikustannusten vuosiosuus eli annuiteetti.

Annuiteetti saadaan jaksottamalla investointikustannukset tasan tarkastelujakson ajalle. Myös korko tulee ottaa huomioon annuiteettia tarkastellessa. [13]

$$K_{ANN} = K_{NA} * \frac{r}{100} * \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n / \left[\left(1 + \frac{r}{100}\right)^n - 1\right]$$

jossa

K_{ANN}	kustannuksen annuiteetti eli vuosikustannus
K_{NA}	kustannuksen nykyarvo
r	korko (%)
n	laskenta-ajanjakso

Elinkaaritaloudellisissa laskelmissa pyritään ennustamaan usein kauemmas tulevaisuuteen. Tästä johtuen laskelmissa on aina epävarmuutta. Herkkyysanalyysi selvittää, kuinka herkkä laskelman lopputulos on laskennassa käytettyjen lähtötietojen muuttumiselle. Parhaiten havainnollistava tapa huomata herkkyysaste laskelmissa on ottaa kriittiset arvot laskelmissa ja tarkastella niiden muutosta kannattavuuden kannalta. Energian hinnan eskalaatiota muuttamalla huomataan helposti järjestelmän reaktio hintojen ja kulutuksen epävarmuuteen. [13]

Takaisinmaksuaika kertoo ajan, jolloin investointi maksaa itsensä takaisin. Takaisinmaksuaika saadaan jakamalla investointikustannukset vuotuisilla nettotuloilla. Myös diskontattuja nettotuloja voidaan käyttää laskennassa, jotta saadaan korot huomioitua. [13]

2.3 Maalämpö

2.3.1 Yleistä

Maalämpö on auringon säteilystä ja maapallon ytimeistä tulevan lämpövirran aiheuttamaa lämpöenergiaa. Lämpö kerätään maaperistä, kallioista ja vesistöistä talteen lämmönkeruuputkistoilla ja lämpöpumpulla. Maalämmöllä voi myös lämmittää käyttöveden ja kesällä viilentää. [5]

Suomessa on vaihtelevuutta kivilajien lämmönjohtavuuden välillä. Kallioperän lämpöominaisuuksiin vaikuttavat eniten sen koostumus, rikkonaisuus ja pohjaveden liikkeet. Rikkonaisuus ja pohjaveden liike tehostavat lämmön siirtymistä. Rikkonaisuus toisaalta myös hankaloittaa porausta. [5]

2.3.2 Maalämmön mitoituserusteet

Maalämpö voidaan mitoittaa energia ja elinkaarikustannus painotteisesti. Tällöin simuloidaan vuotuiset energiankulutukset ja näistä lasketaan energiakustannukset (€/a). Energiankulutus riippuu useista tekijöistä. Suurimpia tekijöitä kulutukselle ovat lämpöpumpun ja porakaivojen mitoitus, rakennuksen koko sekä ulkoilman lämpötila. Yleisesti energiankulutus on suurinta talvisin ja pienintä kesäisin.

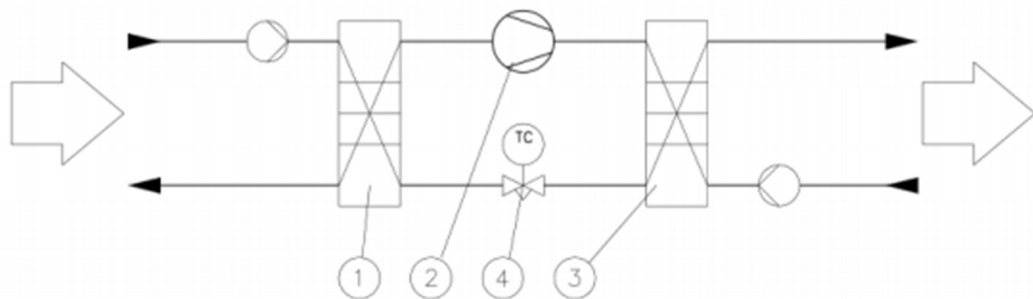
Lämpöpumppu ja porakaivot mitoitetaan tässä tapauksessa yksikkökohtaisten hintojen perusteella. Tämä tarkoittaa, että lämpöpumpun ja porakaivon hinnat määräytyvät niiden energiankulutuksien perusteella. Lämpöpumpun tehot ja kokoluokat vaihtelevat asuin-kerrostaloissa yleensä 24–90 kW. Hinnan lämpöpumpuille asettavat laitevalmistaja. Porakaivojen hinta määräytyy porakaivon syvyydestä. Yhden tai kahden porakaivon poraaminen keskimääräinen metrihinta on 30–35 euroa. Hinta sisältää porauksen, keruuputkiston sekä maadoitusletkun tekniseen tilaan. Suuremmat energiakentät, kuten asuin-kerrostalot, kustantaa enemmän johtuen rakennustöiden laajuudesta. Näiden porauskaivojen metrihinta on 35–40 euroa. [7]

Huoltokulut arvioidaan tässä työssä. Vuotuiset huoltokustannukset ovat 2,5 % investointikustannuksista.

2.3.3 Maalämmön komponentit

Lämmönkeruuputkisto eli keruupiiri on maahan asennettava lämmönkeräysputkisto. Se voidaan kaivaa maahan vaakasuoraan, upottaa vesistöön tai upottaa maaperään porattuun reikään eli porakaivoon. Porakaivo on tapana yleisin. Se sopii pienellekin tontille ja on tehokkaampi energiansaannin kannalta kuin vaakapiirit. Lämmönkeruuputkistoissa kiertää jäätymätön nesteliuos eli lämmönkeruuliuos, johon maaperän lämpö sitoutuu. [6]

Lämpöpumpun toiminta periaate on, että se siirtää maaperästä lämpöä talon lämmitysjärjestelmään ja lämpimään käyttöveteen. Lämpöpumppu koostuu eri lämmönvaihtimista: höyrystin ja lauhdutin. Lämmönkeräysputkistossa kiertää neste, joka kerää energiaa maaperästä. Lämmönkeruuneste siirtyy pumppuun, jossa se kohtaa pumpun kylmäaineen. Höyrystimessä kylmäaine lämpenee yleensä 3–6 K ja höyrystyy. Kompressor puristaa höyryn korkeaan paineeseen, jolloin kaasu lämpenee. Lämpö johdetaan lämmönjohtimen kautta rakennuksen lämmitysjärjestelmään, jolloin pumpun kylmäaine jäähtyy ja muuttuu nesteeksi. Kylmäaineen lämpötila ja paine laskee paisuntaventtiilissä ja lopulta on jääkylmää. Samaan aikaan osa kylmäaineesta jo höyrystyy. Tämän jälkeen prosessi alkaa uudestaan. (Kuva 1.) [6; 12.]



Kuva 1. Maalämpöpumpun periaatekaavio

2.4 Kaukolämpö

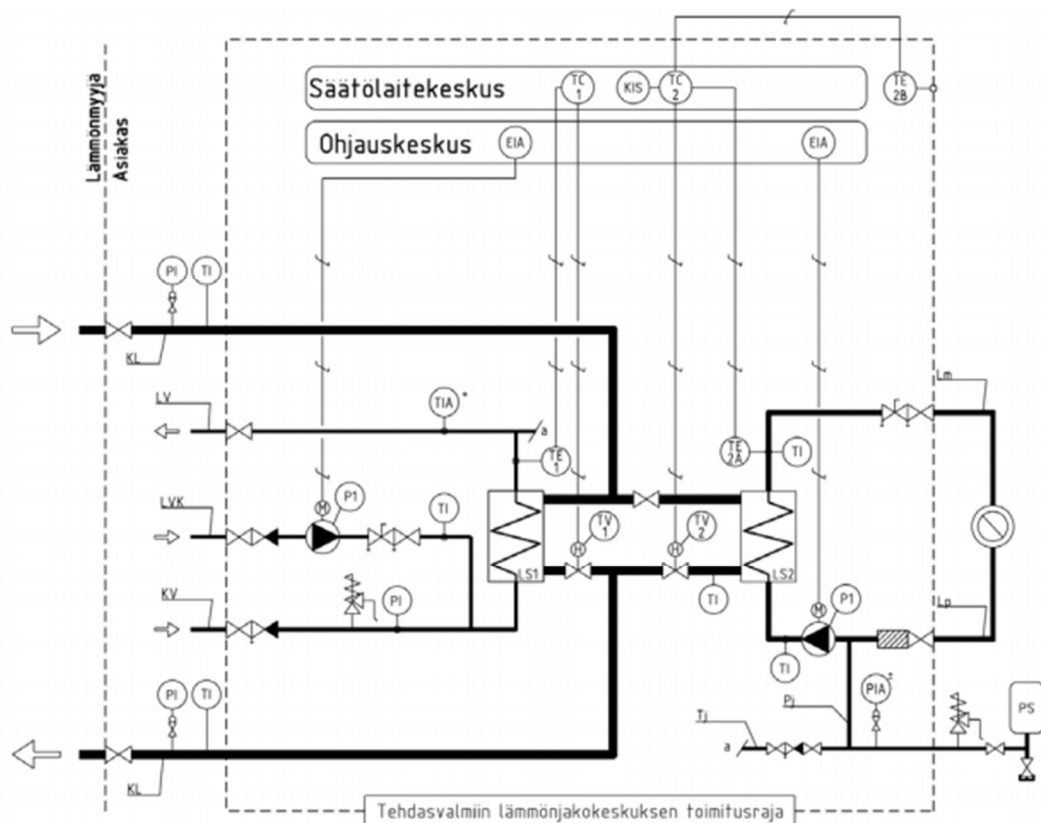
2.4.1 Yleistä

Kaukolämpö on yleisin lämmitysmuoto Suomessa kaupungeissa ja taajama-alueella. Kaukolämmitys on edullisinta tiheimmin rakennetun alueen ja isoimpien rakennusten

ympäristössä. Kaukolämpöä tuotetaan voimalaitoksissa, josta se kuljetetaan verkostoa pitkin rakennukselle kiertävän veden avulla. Alimmillaan verkoston lämpötila on kesällä, jolloin kaukolämpöä tarvitsee vain lämpimän käyttöveden lämmitykseen. [8]

Kaukolämpö tulee rakennuksen lämmönjakosiirtimelle, jossa siirretään tarpeen mukaan käyttöveden lämmitykseen, patteri verkostoon ja ilmanvaihtoon. Itse kaukolämpövesi ei kierrä rakennuksen verkostossa. Jäähdytynyt kaukolämpövesi palaa paluuputkea pitkin kaukolämpölaitokselle. (Kuva 2.) [8; 9.]

Kaukolämmön polttoaineena käytetään tyypillisesti maakaasua, kivihiiltä, turvetta ja öljyä. Nykyään uusiutuvien energiamuotojen kuten puu ja biokaasu on lisääntymässä. Suomessa suurin osa kaukolämmöstä saadaan sähköä ja lämpöä tuottavista voimalaitoksista, kaatopaikkojen biokaasujen poltosta tai teollisuuden ylijäämälämpönä. [8]



Kuva 2. Kaukolämmityksen peruskytkentä (K1)

2.4.2 Kaukolämmön mitoitus kiinteistössä

Mitoitus tehdään aina rakennuksen lämmitystarpeen mukaan. Kaukolämpöverkoston mitoituksessa tärkeitä muuttuvia tekijöitä ovat teho, lämmönsiirtimen vesivirta ja lämpötilaerot. Kaukolämmityksen lämmitysteho on ilmanvaihdon lämmitystehon, lämpimän käyttöveden lämmitystehon ja lämmityspattereiden käyttämän lämmitystehon summa. [10]

$$\Phi_{KL} = \Phi_{IV} + \Phi_{LKV} + \Phi_L$$

jossa

Φ_{KL}	kaukolämmön lämmitysteho (kW)
Φ_{IV}	ilmanvaihdon lämmitysteho (kW)
Φ_{LKV}	lämpimän käyttöveden lämmitysteho (kW)
Φ_L	lämmityspattereiden lämmitysteho (kW)

Lämmönsiirtimen vesivirta voidaan laskea, kun tiedetään ensiöpuolen lämpötilaero. Radiaattorilämmityksen ja ilmanvaihdon lämmityksen lämmönsiirtimen mitoituslämpötilat ovat K1:n mukaan menopuolella 115 °C ja paluupuolella 30 °C. Lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen mitoituslämpötilat ovat K1:n mukaan menopuolella 70 °C ja paluupuolella 20 °C. [10]

Vesivirran kaava:

$$qv = \frac{\Phi_{KL}}{c * \rho * \Delta T}$$

jossa

qv	lämmönsiirtimen vesivirta (dm ³ /s)
Φ_{KL}	kaukolämmön lämmitysteho
c	veden ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg*K)
ρ	veden tiheys (kg/dm ³)

ΔT lämpötilaero (K)

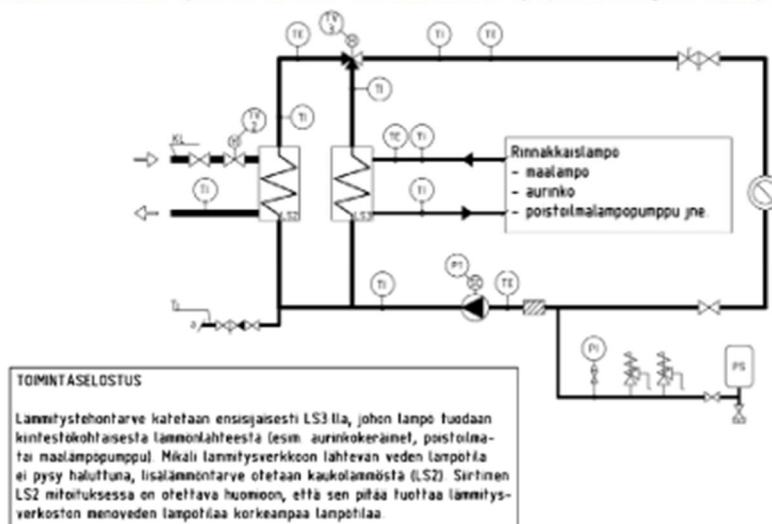
2.5 Yhdistelmälämmitys

2.5.1 Yleistä

Hybridijärjestelmällä tarkoitetaan kahden tai useamman lämmönlähteen yhteislämmön-
tuotantojärjestelmää. Lämpöpumpun höyrystipuolella voidaan yhdistää esimerkiksi jä-
teveden lämmöntalteenotto, aurinkokeräimet, porakaivot ja ilmanvaihdon lämmöntal-
teenotto. Hybridijärjestelmällä voidaan vuorotella esimerkiksi vuodenajan mukaan, jotta
saadaan paras energiatehokkuus ja hyötysuhde lämmitysjärjestelmälle. Tässä työssä
tarkastellaan hybridijärjestelmää, jossa maalämmitys kytketään kaukolämmityksen
kanssa rinnan. [11]

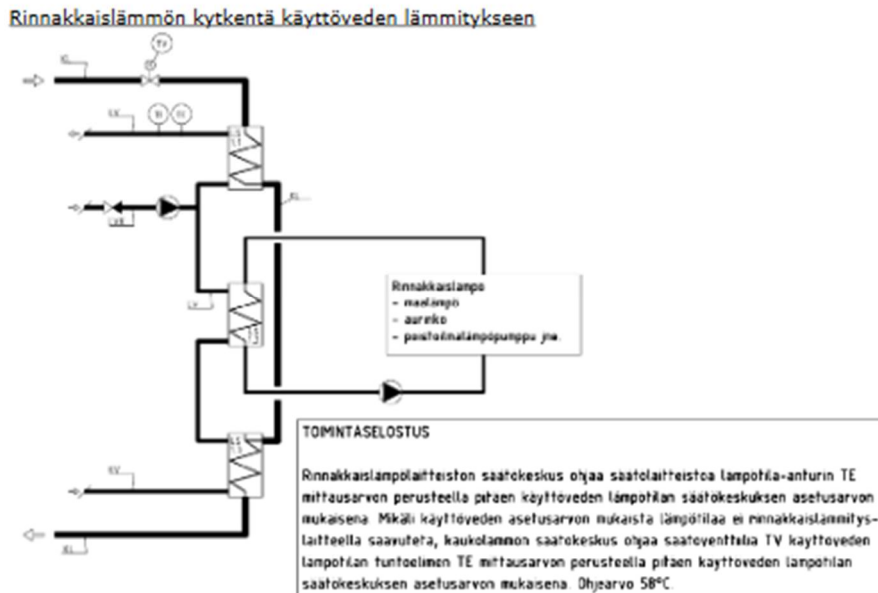
Rinnakkaiskytkentä toimii lämmitystehontarpeen mukaan. Mikäli lämpötila-anturi (TI) ha-
vaitsee veden lämpötilan olevan alhainen lämmönsiirtimellä (LS3), otetaan lisälämmön-
tarve käyttöön toiselta lämmönsiirtimeltä (LS2). Siirtimen LS2 pitää tuottaa lämmitysver-
koston menoveden lämpötilaa korkeampaa lämpötilaa. (Kuva 3.) [9]

Rinnakkaislämmön (rakennuskohtaisen lämmönlähteen) kytkentä tilojen lämmitykseen



Kuva 3. Rinnakkaiskytkentä lämmitysverkoston hybridistä

Lämpimän käyttöveden verkoston lämpötila-anturi mittaa lämpimän menoveden lämpötilaa. Mikäli anturi havaitsee, että rinnakkaislämmönsiirtimeltä ei saada haluttua ohjearvolämpötilaa, lämmityskeskuksen säätökeskus ohjaa säätöventtiiliä käyttöveden tuntoelimen mittausarvon perusteella kohti ohjearvoa. Ohjearvona pidetään 58 °C:ta. (Kuva 4.) [9]



Kuva 4. Rinnakkaiskytkentä käyttöveden lämmityksen hybridistä

2.5.2 Hyödyt ja haitat

Energiatohokkuus ja käytön edullisuus ovat tärkeitä hybridijärjestelmän valinnan kriteereitä. Tarkoituksena olisi, että hybridijärjestelmä valitaan käyttökustannusten perusteella, että käyttökustannukset olisivat mahdollisimman pienet ympäri vuoden. Investointikustannukset ovat yleisesti suurempia kuin yksittäisen järjestelmän. Vuotuiset energiakustannukset maksavat investointikustannuksista tulleen hintaeron nopeasti, sillä hybridijärjestelmän energiankulutus on vuotuisesti paljon pienempi kuin yksittäisen järjestelmän.

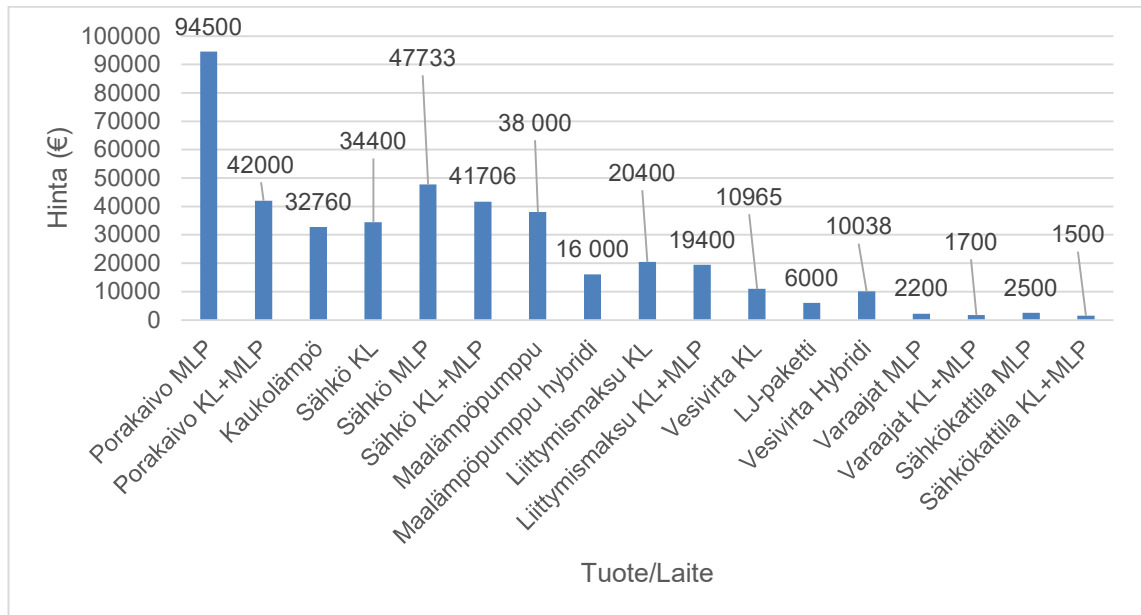
Suurempien kohteiden, kuten asuinkerrostalojen hybridiratkaisut ovat harvinaisempia kuin pientalojen ratkaisut. Suurissa kohteissa hybridijärjestelmä on yleensä monimutkaisempi. Lisäksi suurien kohteiden investointikustannukset ovat suurempia kuin pientalojen. Suurien kohteiden hybridijärjestelmistä ei ole vielä niin paljon kokemusta, että voitaisiin todeta varmaksi energiatehokkuus, mutta olettamuksena on, että mitä suurempi on kohde, sitä suurempi säästö tapahtuu energiakustannusten kohdalla.

Hybridilämmityksen suurimpia haasteita on, kuinka valita sopivimmat järjestelmät, jotka täydentävät toisiaan vuoden ympäri ja samalla on mahdollisimman edullinen käyttää. Kahden järjestelmän yhteensovitus ohjelmoinnin avulla on myös vaikeaa ja suunnittelussa täytyy heti alussa kartoittaa mahdollisimman hyvä yhdistelmä ratkaisu ja se, miten niitä käytetään. [11]

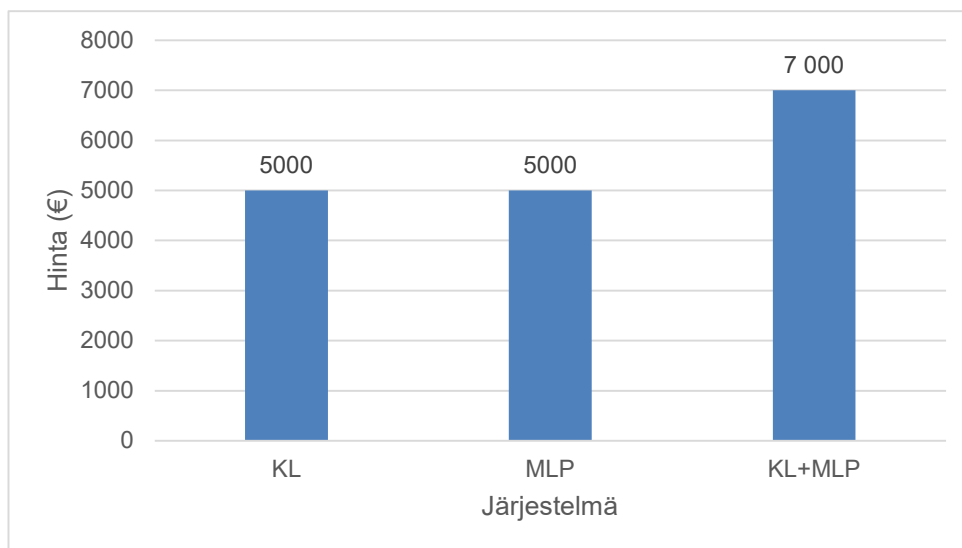
2.6 Kustannukset

Kustannuksissa tässä työssä on käytetty hintaoletuksia ja kohteeseen valittuja laitteita. Hintooletuksena voidaan pitää kaukolämmölle 63 €/MWh ja sähkölle 135 €/MWh (sisältää sähkönsiirron). Liittymismaksu kaukolämmölle on valittu Helen Oy:n kaukolämmön liittymismaksulistasta. Kaukolämmölle liittymismaksu on 20 400 €, ja hybridille liittymismaksu on 19 400 €. Kaukolämmölle tulee lämmönjakokeskus kolmella lämmönsiirtimellä. Siirtimien hinnaksi on oletettu 6 000 €. Maalämpöpumpun hinnaksi muodostui 95 kW:n lämpöpumpulla 38 000 € ja 40 kW:n lämpöpumpulla 16 000 €. Porakaivojen mitoituksessa käytetään arvoa 25 W/m. Porakaivot porataan 300 m:n syvyyteen. 95 kW:n pumpun porakaivojen syvyys on 2700 m, eli 9 porakaivoa ja 40 kW:n pumpun porakaivojen syvyys on 1200 m, eli 4 porakaivoa. Hintaluokan 35 €/m 95 kW:n lämpöpumpun porakaivon hinnaksi tulee 94 500 € ja 40 kW:n lämpöpumpun porakaivon hinnaksi tulee 42 000 €. Lämminvesivaraajat on valittu 1 m³:n ja 2 m³:n säiliöiksi. Hinnat on katsottu tukkuhinnastosta, josta 1 m³ säiliön hinnaksi tulee 1 700 € ja 2 m³ säiliön hinnaksi 2 200 €. Huoltojen hinnat oletetaan olevan 2,5 % maalämpöpumpun hinnasta. Vesivirtamaksut tulee sopimuksien mukaan virtausten koon mukaan. Helenin vesivirtamaksu 4,0 m³/h (kaukolämpö) vesivirralla on 10 965 €/a ja 3,6 m³/h (hybridi) vesivirralla 10 038 €/a. Työmaksut oletetaan kaukolämmölle 5 000 €, maalämmölle 5 000 € ja hybridille 7 000 €. Ylläpitomaksut oletetaan olevan maalämpöpumpun hinnasta 5 %. Laskenta tapahtuu 20 vuoden elinkaarikustannuksella, ja koska maalämpöpumpun kompressorit tulevat vaihtaa

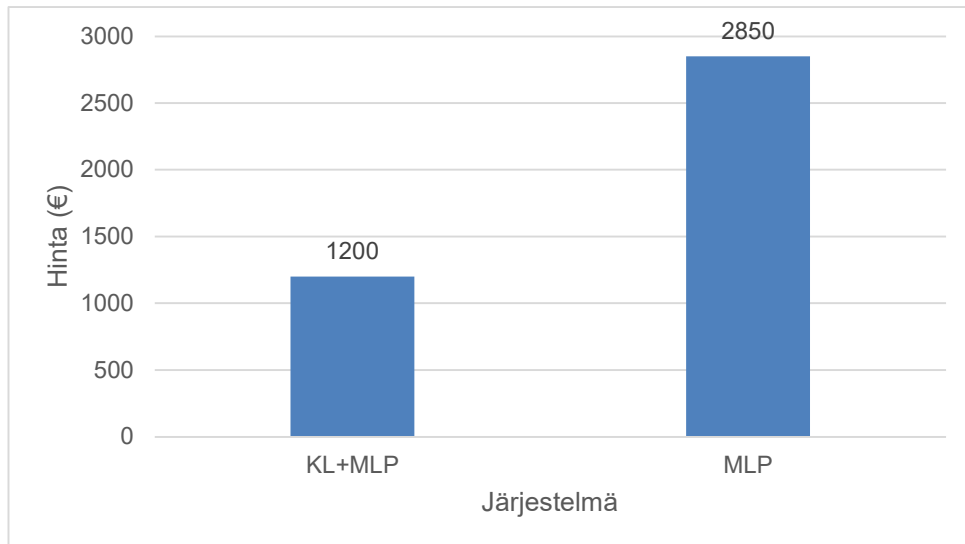
15 vuoden välein on oletettu sen hinnaksi 25 % maalämpöpumpun hinnasta. (Kuvat 5, 6, 7, 8, 9.)



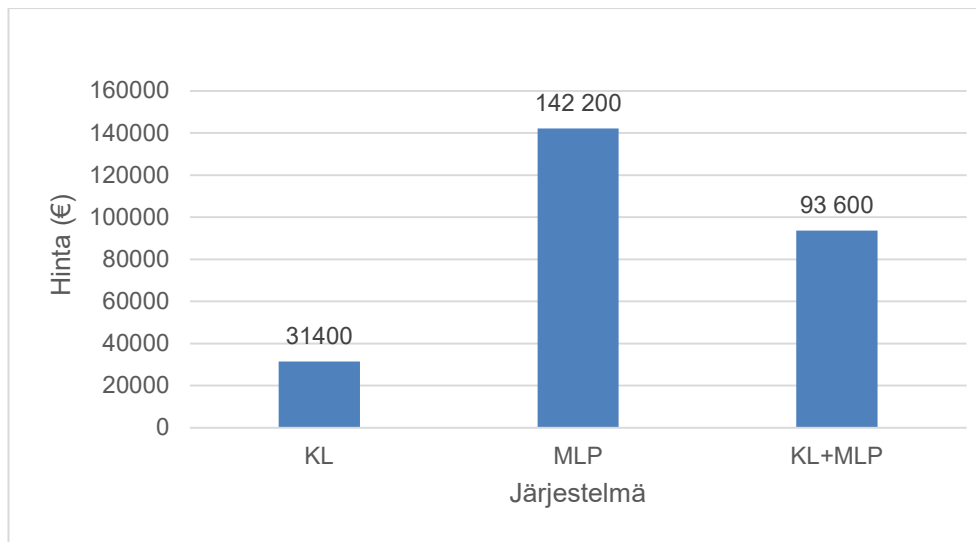
Kuva 5. Hintaoletukset eri laitteille ja tuotteille.



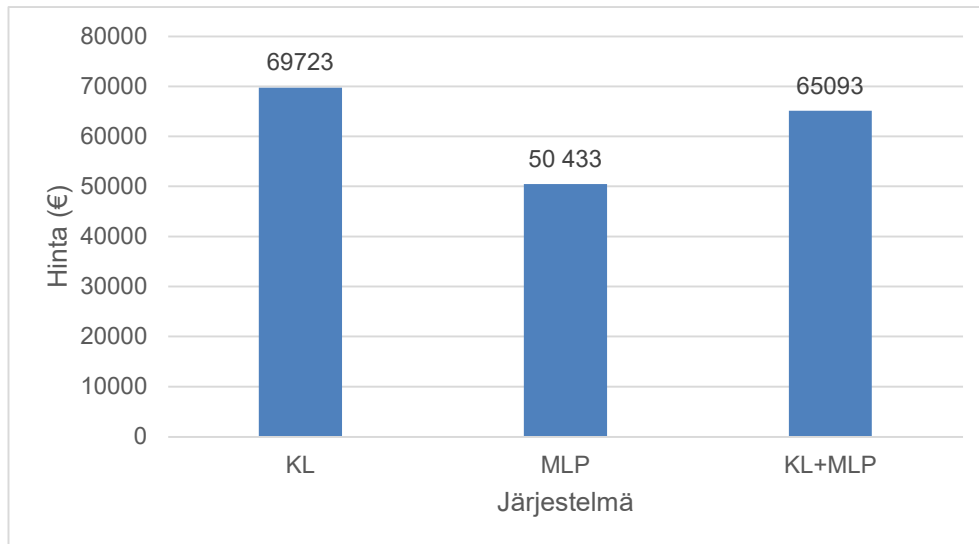
Kuva 6. Asennuskustannusoletukset eri järjestelmille.



Kuva 7. Huolto ja ylläpitomaksujen oletukset perustuen hintaoletuksiin.



Kuva 8. Investointihintaoletukset.



Kuva 9. Vuosimaksuoletukset.

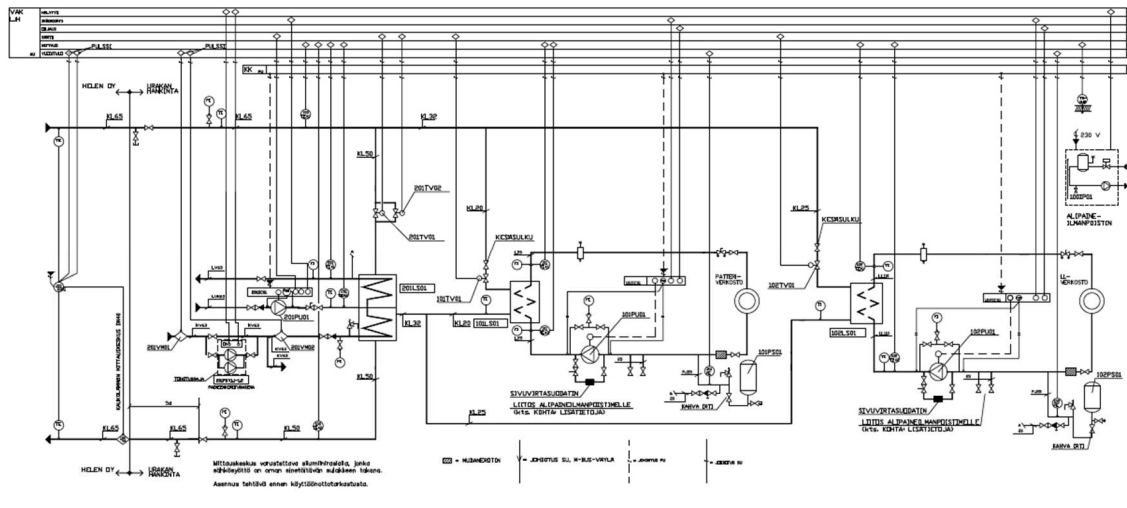
3 Laskenta

3.1 Kohde

Kohteeksi valitsin Bonava Suomi Oy:n asuinkerrostalon Postinkantaja 3. Kohde on valittu yhdessä Lauri Jussilan kanssa, joka oli kohteen pääsuunnittelija. Kohteeseen on valittu kaukolämmitysjärjestelmä, joten työn tarkoituksena on verrata valittua järjestelmää maalämmitykseen ja maalämpöhybridiin.

3.1.1 Lähtötiedot kohteesta.

Kohde on 7-kerroksinen Helsingissä, Pakettikatu 3:ssa sijaitseva asuinkerrostalo. Kohteessa on 96 asuntoa ja pinta-alaa rakennuksella on 5 257 m². Kohde on uudisrakennus. Kohteessa käytetään huonekohtaista ilmanvaihtoa. Kohteessa lämmitystuotantona toimii kaukolämpö, toisiopuolen lämmitysverkostona toimii lattialämmitys, patterilämmitys ja käyttövesilämmitys. (Kuva 10.)

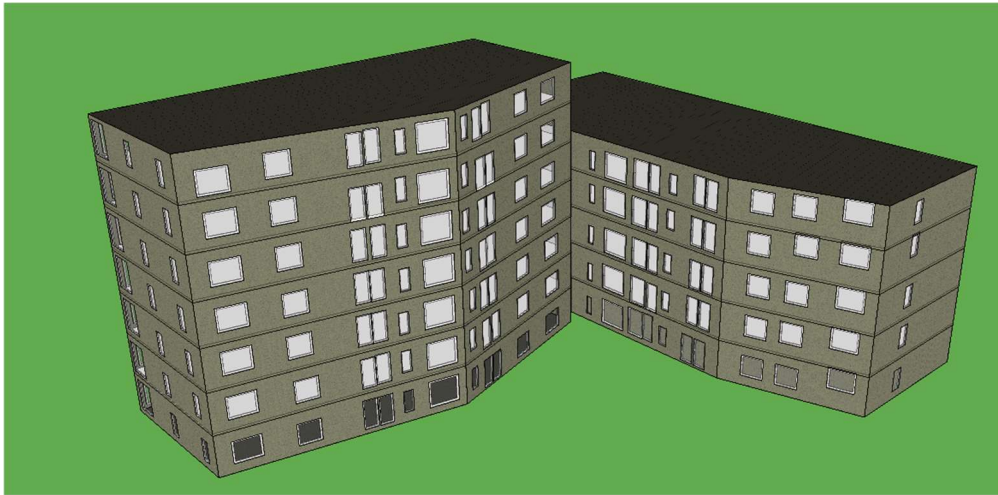


Kuva 10. Bonava Suomi Oy Postinkantaja 3, lämmönjakokeskuksen kytkentäkaavio

3.1.2 Simulaatio

Vuosittaisten kulutusten simulointiin käytin IDA ICE -ohjelmistoa. Simuloinnissa tarkastelen lämmityskulutuksia. Simulaation asetusarvot, kuten ikkunoiden ja ovien U-arvot, ovat oletuksia, joten niitä en mainitse tässä työssä. Valaistuksen, henkilöiden ja laitteiden kuormitukset ovat Suomen säädöskokoelman 1010/2017 asetuksesta uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Huoneistoja ei ole eritelty, vaan jokainen kerros on oma alueensa. Ikkunat on sijoitettu jokaiseen kerrokseen identtisesti, joten kellarikerros ja ullakokerros on jätetty pois työstä. Huonetilojen lämpötila on asetettu 21 °C ja lämmönlähteenoton hyötysuhde on 70 %.

Kaukolämmön simulointi tapahtuu IDA ICE -ohjelmalla. Maalämpöjärjestelmä ja hybridijärjestelmän mitoitus on laskettu Excelin ratkaisinta käyttäen ja näin saatu oikeat maalämpöpumput ja porakaivojen syvyydet. Maalämpöpumppujen ja porakaivojen syvyyksien selvittyä arvot syötettiin IDA ICE -ohjelmaan ja sillä simuloitiin myös maalämpö- ja maakaukolämpöhybridijärjestelmää. (Kuvat 11 ja 12.)



Kuva 11. 3D-simulaatiokuva kohteesta.

3.2 Vertailtavat järjestelmät

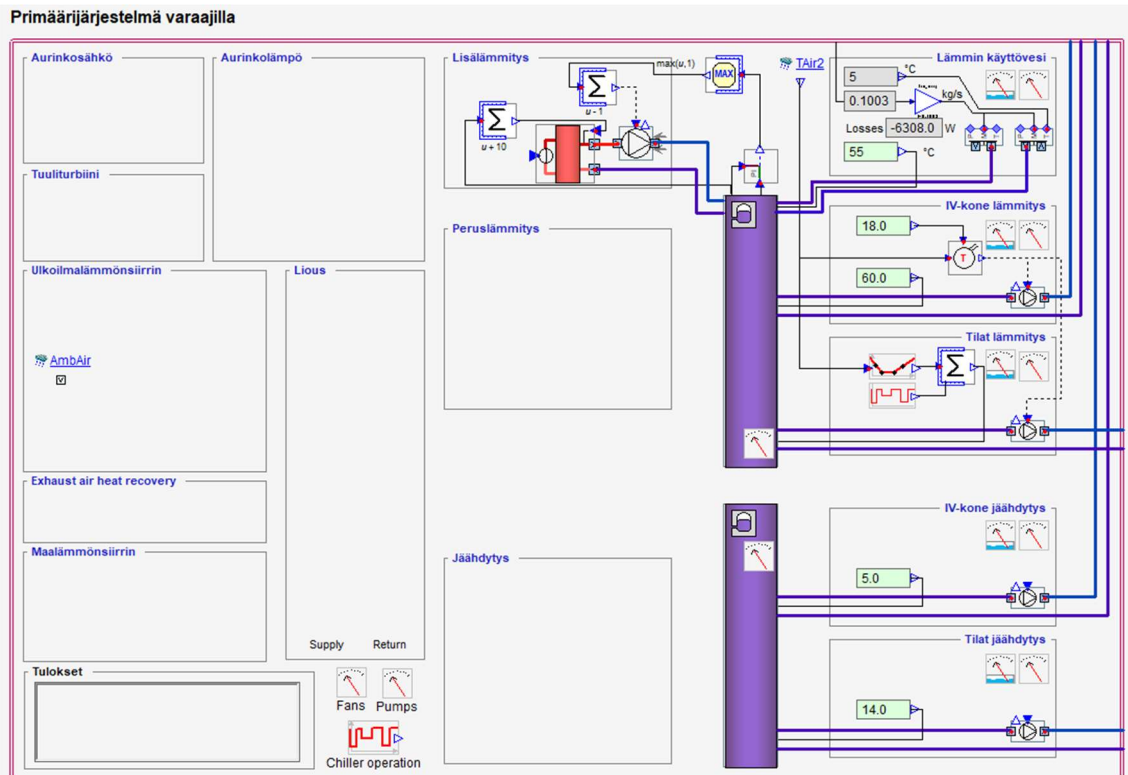
Työssä on vertailtu ja simuloitu kolmea järjestelmää. Järjestelmien valintaa ei ole sidottu tähän työhön, vaan tarkoituksena on verrata kolmea järjestelmää toisiinsa ja tutkia hybridijärjestelmän kannattavuutta asuinkerrostalokohteessa.

3.2.1 Kaukolämpö

Kaukolämmön energiankulutukset kohteelle laskettiin simuloimalla IDA ICE -ohjelmalla. Kohteen tilat yksinkertaistettiin kerroskohtaisiksi ja ikkunat sijoitettiin identtisesti jokaiseen kerrokseen. Vyöhykkeitä kohteessa oli 12, koska rakennus on kaksiosainen. Toisella lohkolla on 7 kerrosta ja toisella lohkolla 5 kerrosta. Jokainen kerros on oma vyöhyke. (Kuva 13.)

Nimi	Ryhmä	Lattiala- korkeus, m	Huonekor- keus, m	Lattia-ala, netto, m ²	Lämmityk- sen °C	Jäähdytyk- sen °C	IV-kone	Järjestel- mä	Tuloilma, L/(s·m ³)	Poistoilm, L/(s·m ³)	Ihm. lkm./m ² , hlo./m ²	Valaistus, W/m ²	Valaistus, kWh/m ²	Laitteet, W/m ²	Laitteet, kWh/m ²	Ulkokuukunoiden ala, m ²
Zone 1		12.0	3.0	396.0	21.0	27.0	IV-kone	VV	0.5	0.5	0.0357	9.0	7.884	4.0	21.02	76.41
Zone 2		18.0	3.0	395.5	21.0	27.0	IV-kone	VV	0.5	0.5	0.0357	9.0	7.884	4.0	21.02	76.41
Zone 3		9.0	3.0	396.0	21.0	27.0	IV-kone	VV	0.5	0.5	0.0357	9.0	7.884	4.0	21.02	76.41
Zone 4		6.0	3.0	396.0	21.0	27.0	IV-kone	VV	0.5	0.5	0.0357	9.0	7.884	4.0	21.02	76.41
Zone 5		3.0	3.0	396.0	21.0	27.0	IV-kone	VV	0.5	0.5	0.0357	9.0	7.884	4.0	21.02	76.41
Zone 6		0.0	3.0	397.4	21.0	27.0	IV-kone	VV	0.5	0.5	0.0357	9.0	7.884	4.0	21.02	76.41
Zone 7		12.8	3.0	496.9	21.0	27.0	IV-kone	VV	0.5	0.5	0.03569	9.0	7.884	4.0	21.02	94.5
Zone 8		6.8	3.0	496.9	21.0	27.0	IV-kone	VV	0.5	0.5	0.03569	9.0	7.884	4.0	21.02	94.58
Zone 9		3.8	3.0	496.9	21.0	27.0	IV-kone	VV	0.5	0.5	0.03569	9.0	7.884	4.0	21.02	94.58
Zone 10		0.8	3.0	496.9	21.0	27.0	IV-kone	VV	0.5	0.5	0.03569	9.0	7.884	4.0	21.02	94.58
Zone 11		9.8	3.0	496.9	21.0	27.0	IV-kone	VV	0.5	0.5	0.03569	9.0	7.884	4.0	21.02	94.58
Zone 12		15.0	3.0	395.6	21.0	27.0	IV-kone	VV	0.5	0.5	0.0357	9.0	7.884	4.0	21.02	76.92
Yhteensä/m ²									0.5	0.5	0.0357	9.0	7.884	4.0	21.02	85.03

Kuva 12. Lähtöarvot IDA ICE -simulaatioon.



Kuva 13. IDA ICE, primäärijärjestelmän kytkentäkaavio kaukolämmölle.

Simulaatiossa käytin arvoja, jotka vastaavat RakMk:n säädöstä 1010/2017 uusista energiamääräyksistä. Käyttöasteet, U-arvot ja heijastukset ovat määritellyt säädöksessä.

Vertailussa on sähkön kulutus vuodessa, kaukolämmönkulutus vuodessa ja investointikustannukset. Kaukolämpömitoituksen sähkön kulutus on paljon pienempi kuin muiden vertailtavien järjestelmien. Kaukolämmön tuotanto on pelkän kaukolämpöjärjestelmän kohdalla vastaavasti suurin. Investointikustannuksiltaan kaukolämpö on halvin järjestelmä, sillä sen ainoat investoinnit ovat liittymiseen kuuluvat työt ja kustannukset, sekä

lämmönjakopakettien hinnat. Lyhyellä tarkastusvälillä kaukolämpö olisi elinkaaritarkastelussa paras, mutta 20 vuoden tarkastelussa kaukolämpöjärjestelmä on huonoin.

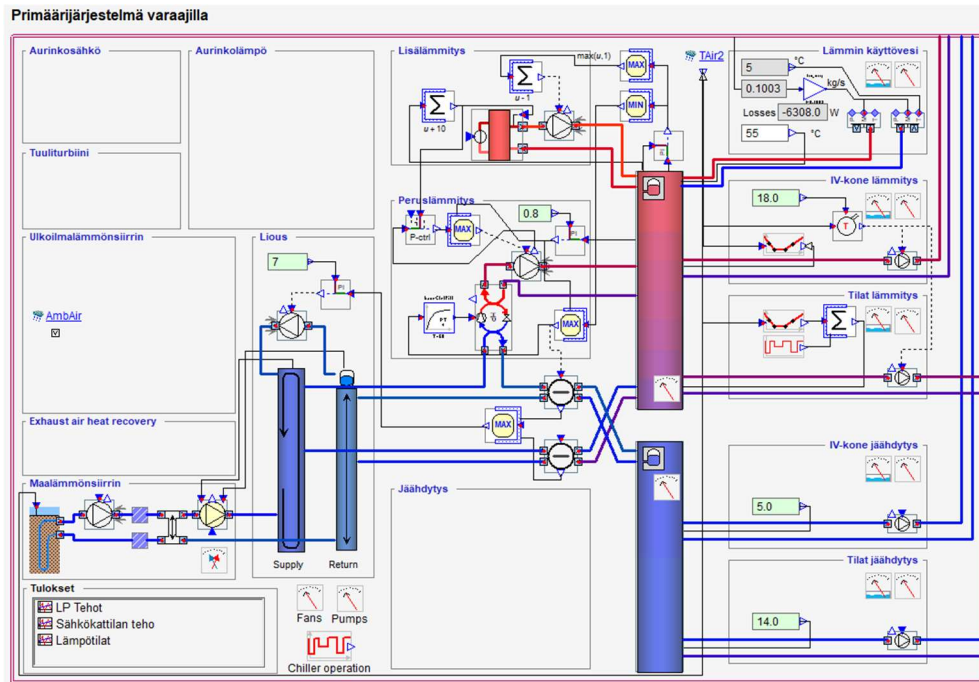
3.2.2 Maalämpö

Maalämpöjärjestelmän maalämpöpumppu ja porakaivojen syvyys mitoitettiin Excelin laskentataulukolla. Sopiva lämpöpumppu ja porakaivosyvyys saatiin syöttämällä kohteen lähtötiedot ja haluttu järjestelmä laskentataulukoon. Lähtötietojen syöttämisen jälkeen käytettiin ratkaisinta, joka laskee elinkaarikustannuksien kannalta parhaan järjestelmän. Laskennasta selvisi, että 95 kW olisi tarvittava teho lämpöpumpulle ja 2 650 m sopiva syvyys porakaivoille. (Kuva 14.)

Lämpöpumppu ja höyrystin puoli		
	Lämpöpumpun teho (L35/H:0 kW)	Porakaivon pituus (m)
Valittu	95,1	2632,2

Kuva 14. Valitun maalämpöjärjestelmän teho ja porakaivon syvyys.

Kun lämpöpumppu oli valittu, simuloitiin halutulla järjestelmällä IDA ICE -simulaatio vuodelle. Lähtöarvoina jokaiselle järjestelmälle tuli samat RakMk:n arvot. Primäärijärjestelmää muutettiin, jotta saadaan simuloitua maalämmitysjärjestelmän energiankulutus vuodelta. (Kuva 15.)

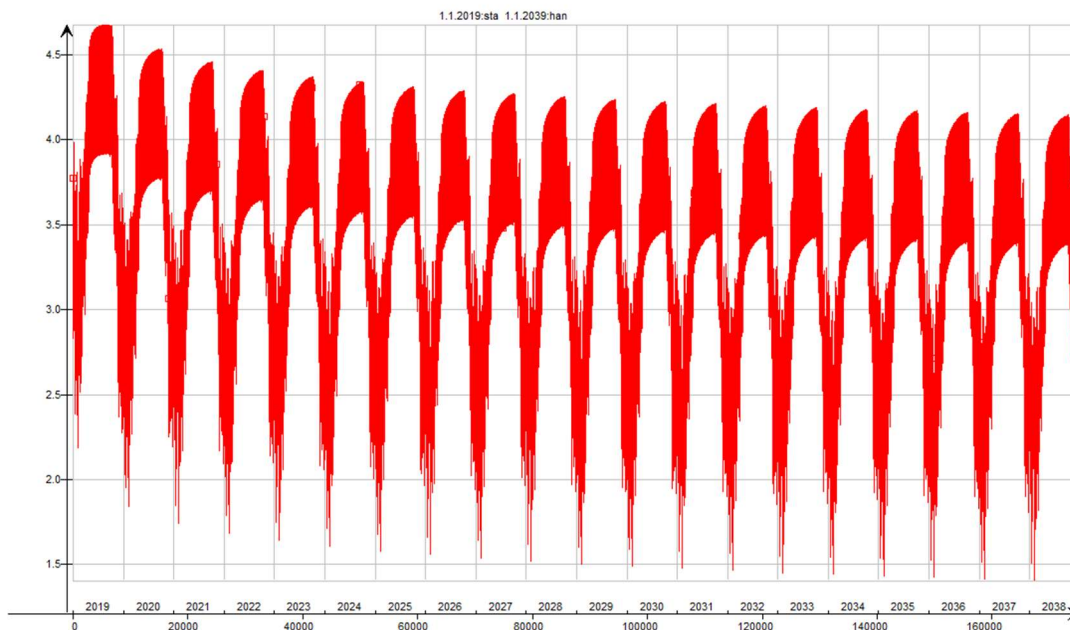


Kuva 15. IDA ICE, primäärijärjestelmän laskentakaavio maalämmölle.

Maalämpöjärjestelmän energiankulutus on vuosittain hyvin alhainen verrattuna muihin järjestelmiin. Sähkönkulutus on maalämpöjärjestelmän ainoa energiankulutus. Isoimpana ongelmana maalämmön valinnassa on porakaivojen määrä. Kohteeseen, johon energiantarve on suuri, vaaditaan useita porakaivoja, jolloin tontin käyttö tulee vastaan. Myös mahdolliset pintavesijärjestelmät haittaavat porakaivojen poraamista. Lähes jokaiseen uudiskohteeseen tällä hetkellä olisi maalämpöjärjestelmä itsenään paras ratkaisu.

Porakaivoja mitoittaessa, tulee porakaivojen jäätyminen ottaa huomioon. IDA ICE:llä tämä tapahtuu simuloimalla järjestelmän energiankulutus kokonaisuudessaan mitattavalle ajanjaksolle. Tässä työssä simulointi tapahtui 20 vuodelle.

Työssä huomattiin, ettei porakaivon lämpötila laske missään vaiheessa alle 0 °C, jolloin porakaivon jäätymistä ei tapahdu. Tämä on syytä ottaa huomioon mitoituksessa, jotta nähdään, onko porakaivoja mahdollista sijoittaa. Ylin lämpötila on noin 4,8 °C ja alin lämpötila on noin 1,2 °C. (Kuva 16.)



Kuva 16. Maalämpöpumpun porakaivojen lämpötilat 20 vuoden simuloinnin aikana.

3.2.3 Maakaukolämpöhybridi

Kuten maalämpöjärjestelmässäkin, hybridijärjestelmässä mitoitettiin Excelillä ensin maalämpöpumpun tehontarve ja porakaivojen syvyys. Erona maalämpöjärjestelmään ilmoitettiin myös lähtötiedoissa kaukolämpö osaksi lämmitystä. Kaukolämmön osuus kulutuksesta oli 40 %. Tämän tuloksena saatiin lämpöpumpun tehoksi 40 kW ja porakaivojen syvyydeksi 1 200 m. (Kuva 17.)

Lisälämmitysmuoto

Kaukolämpö

Lämpöpumppu ja höyrystin puoli

Valittu

Lämpöpumpun teho (L:35/H:0 kW)

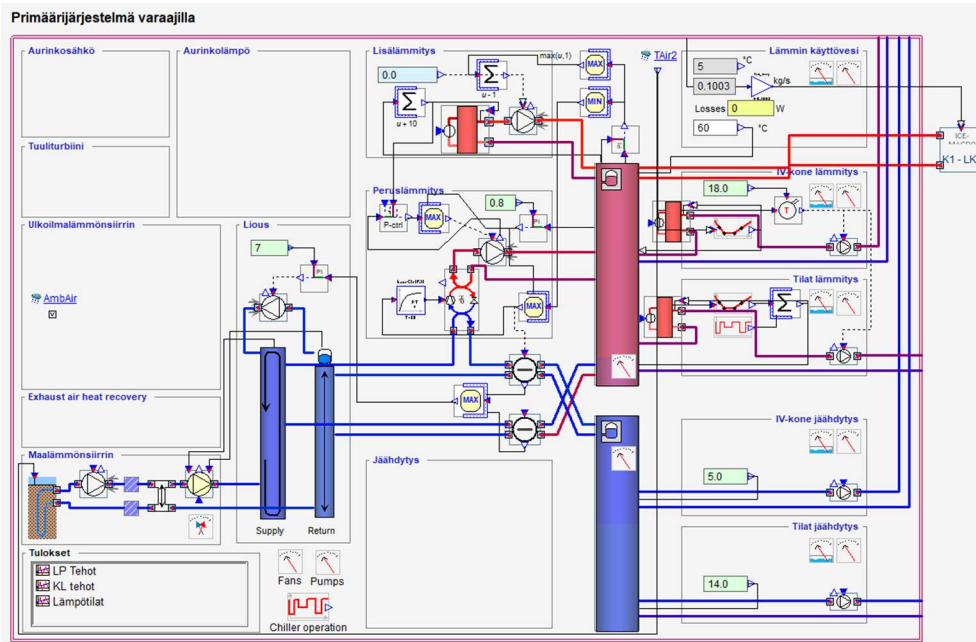
38,9

Porakaivon pituus (m)

1125,0

Kuva 17. Excelliin syötetty lisälämmitysmuoto ja maalämpöjärjestelmän tiedot

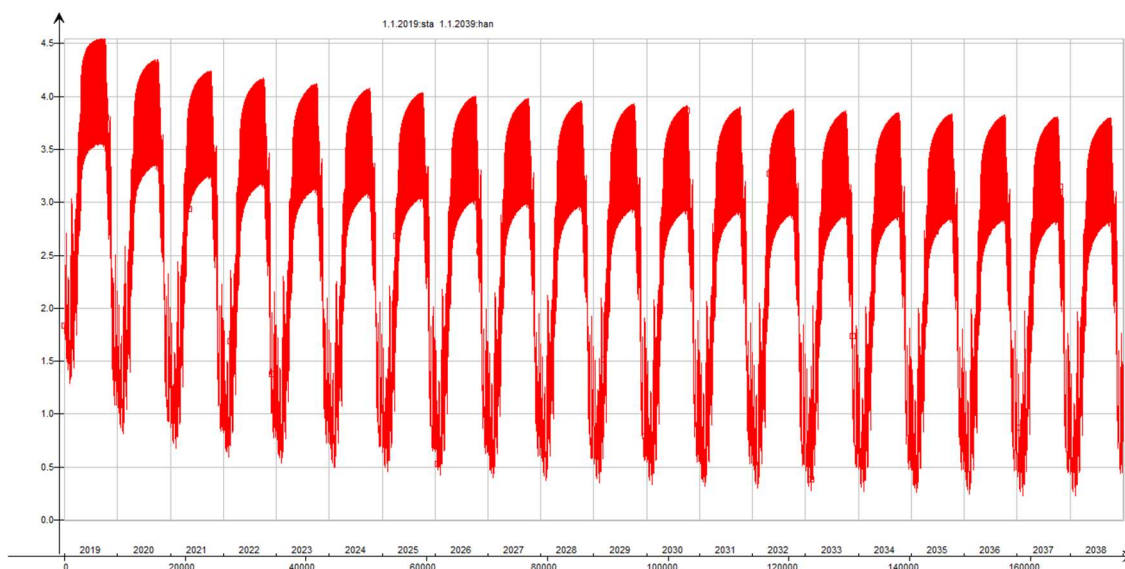
Simulaatio tehtiin IDA ICE -ohjelmalla. Teho ja energia simulaatio tehtiin vuoden simulaatiolla. Primäärijärjestelmään lisättiin maalämmön lisäksi myös kaukolämpö, jotta ohjelma simuloisi molempien järjestelmien energiankulutuksen parhaalla mahdollisella hyötysteella. (Kuva18.)



Kuva 18. IDA ICE, primäärijärjestelmän laskentakaavio hybridille.

Investointikustannukset ovat kaukolämpöä korkeammat, sillä maalämpöpumppu, porakaivot ja varaajasäiliö kustantaa kaukolämmön liittymisen lisäksi. Maalämpöpumppu, porakaivot ja varaajasäiliö on kuitenkin pienempiä kuin pelkän maalämpöjärjestelmän. Energian kulutus on myös hiukan pienempi kuin kaukolämmön, mutta suurempi kuin maalämmön.

Maakaukolämphybridissä olevan porakaivon lämpötilojen mitoitus jäätymisen varalta suoritettiin samalla tavalla kuin maalämpöpumpun porakaivojen lämpötilojen mitoitus. Hybridissä on pienemmät energiankulutukset porakaivoilla, joten lämpötilat ovat alhaisemmat kuin maalämpöpumpun porakaivoilla. Ylin lämpötila on 4,6 °C ja alin lämpötila on 0,3 °C. Porakaivot eivät jäädy 20 vuoden aikana, eikä lisälämmitystä tarvita kohteen porakaivoille. (Kuva 19.)



Kuva 19. Maakaukolämpöhybridin porakaivojen lämpötilat 20 vuoden simuloinnin aikana.

3.3 Energialaskenta

E-lukutarkastelussa huomattiin, että jokainen järjestelmä on standardien mukainen. E-luvun laskennassa käytettiin IDA ICE -sovelluksen simulaatiosta saatua arvoa. Kaukolämmölle E-luvuksi saatiin 74 kWh/m^2 , maalämmölle 60 kWh/m^2 ja hybridille 68 kWh/m^2 . Laskennassa käytetyt kertoimet ovat lämmitykselle 0,5 ja sähkölle 1,2.

Kohteen simulaatiosta saadut energiankulutukset lämmitykseen olivat 375 MWh, joista tilalämmitykseen kuluu 48 MWh, IV-koneiden lämmitykseen kuluu 88 MWh ja lämpimään käyttöveteen kuluu 239 MWh. (Taulukko 1.)

Taulukko 1. Lämmityksen energiankulutus kuukausittain

Energiankulutus

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Tilalämmitys	Tilajäähdytys	Lämmitys IV-koneella	Jäähdytys IV-koneella	Lämmin käyttövesi
1	14637.0	0.0	17809.0	0.0	20316.0
2	10033.0	0.0	17020.0	0.0	18350.0
3	4097.0	0.0	15217.0	0.0	20316.0
4	48.1	0.0	4845.0	0.0	19660.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	20316.0
6	-0.0	0.0	0.0	0.0	19660.0
7	-0.0	0.0	0.0	0.0	20316.0
8	-0.0	0.0	0.0	0.0	20316.0
9	-0.0	0.0	145.5	0.0	19660.0
10	447.9	0.0	4660.0	0.0	20316.0
11	6742.0	0.0	12534.0	0.0	19660.0
12	12121.0	0.0	15438.0	0.0	20316.0
Yhteensä	48126.0	0.0	87668.5	0.0	239202.0

Ostoenergiakulutukset ovat järjestelmien kulutustarkastelussa erottava tekijä. Kaukolämmityksessä käytetään kaukolämpöverkostoa lämmitykseen, joten lämmityskulutusten kustannuksien ero tulee kaukolämmön hinnasta verrattuna sähkön hintaan. Maalämpöpumpun käyttökustannukset tulevat sähkönkulutuksesta. Hybridissä käytetään sekä kaukolämmitystä sekä sähkölämmitystä. Laitteiden, valaistuksen ja LVI:n sähkönkulutukseen käytettävä ostoenergia on kaikilla järjestelmillä sama. (Taulukko 2.)

Taulukko 2. Eri järjestelmien vuotuiset kulutukset.

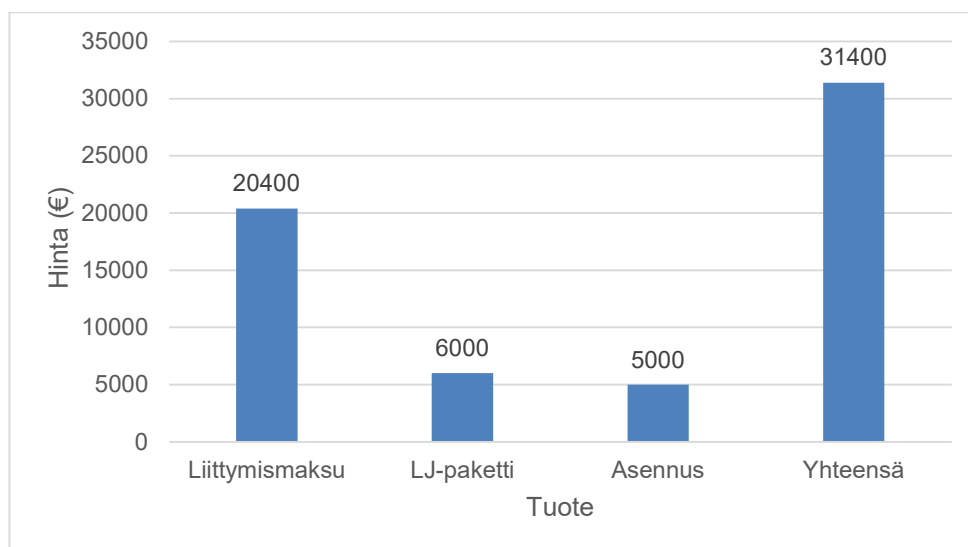
Kulutukset (MWh/a)	KL	MLP	MLP + KL
Sisävalaistus	41,4	41,4	41,4
Ulkovalaistus	0,0	0,0	0,0
LVI sähkö	102,3	102,3	102,3
Keittiön sähkö	0,0	0,0	0,0
Laitteet	110,5	110,5	110,5
Sähkölämmitys	0,0	99,3	54,6
Kaukolämpö	375	0,0	192,8
Yhteensä	640,8	353,6	501,8

Sähkön hintana on työssä käytetty arvoa 135 €/MWh ja kaukolämmön hintana käytetty 63 €/MWh. Kaukolämmitysverkoston kaukolämpökulutus vuodessa on 375 MWh/a, joten

kaukolämpöön kuluu vuodessa 23 625 €/a. Maalämmitys on täysin sähkönkulutuksella toimiva. Maalämpöjärjestelmä sähkölämmityksen kulutus vuodessa on 99,3 MWh, joten maalämpöön kuluu vuodessa 13 405 €/a. Hybridin lämmityksessä käytetään molempia joten, hybridin lämmitykseen kuluu vuosittain 55MWh sähkölämmitykseen ja 192,8 MWh kaukolämmitykseen. Kustannukset vuodessa siis 19 517 €/a.

3.4 Elinkaarikustannukset

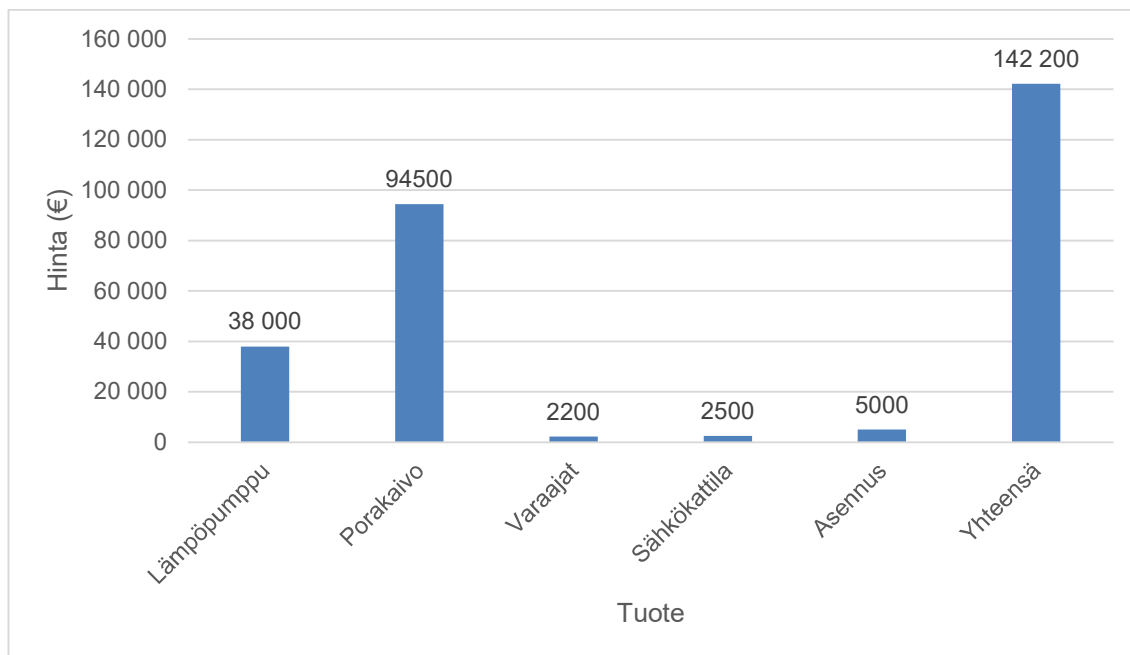
Elinkaarikustannukset lasketaan investointikustannuksista, huoltokustannuksista, ylläpitokustannuksista ja käyttökustannuksista. Kaukolämmön investointikustannukset koostuvat kaukolämpöverkoston liittymismaksusta, vesivirtamaksusta sopimuksen mukaan, siirtimistä sekä asennustöiden kustannuksista. Kohteen kaukolämpöverkoston liittymismaksuksi on laskettu mitoitusvirtaaman 4,0 m³/h mukaan 20 400 €. Lämmönjakopaketien hinnat on oletettu 2 000 €/kpl, joten hinnaksi muodostuu 6 000 €. Työmaksuiksi on kohteessa oletettu 5 000 €. (Kuva 20.)



Kuva 20. Kaukolämmön investointikustannukset

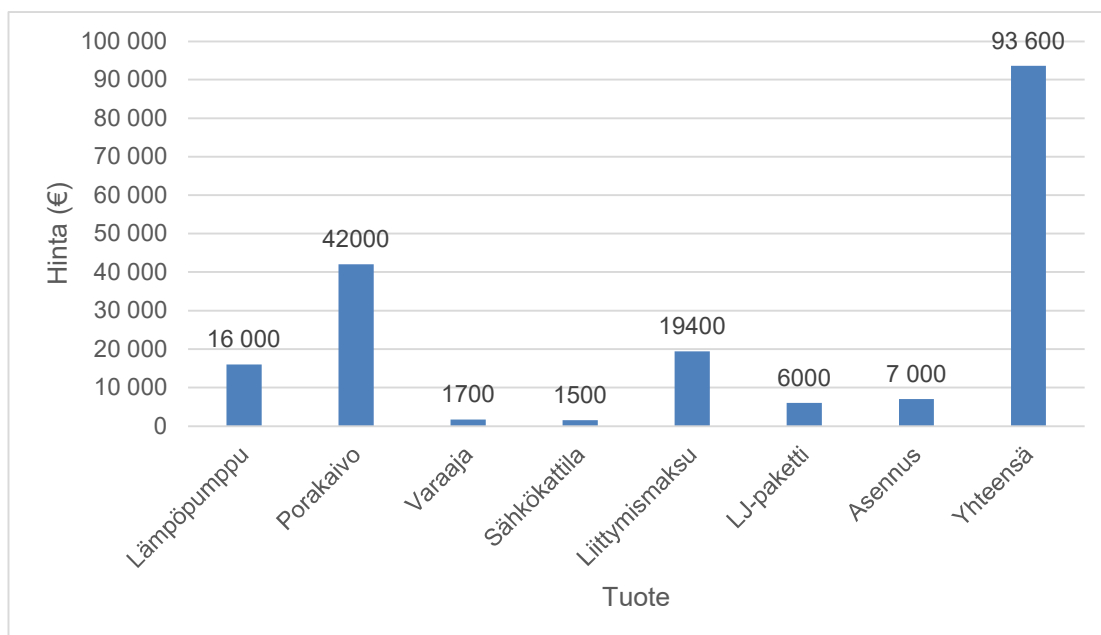
Maalämmössä investointikustannukset koostuvat maalämpöpumpusta, porakaivoista, varaajista, sähkökattilasta ja asennusmaksuista. Maalämpöpumppu on kohteessa mitoitettu 90 kW:n tehoiseksi. Hintaoletuksena on käytetty arvoa 400 €/kW, joten maalämpö-

pumpun hinnaksi on saatu 36 000 €. Porakaivojen syvyys on kohteessa 3 000 m. Hintaoletuksena on käytetty arvoa 35 €/m. Porakaivojen kustannukseksi saatiin 105 000 €. Varaaja on 2 m³ varaajasäiliö. Hinnaksi säiliölle tuli 2200 €. Sähkökattilan hinnan oletus on 50 €/kW ja kattilan teho kohteessa on 50 kW. Hinnaksi saatiin 2 500 €. Asennuskustannukset on oletettu 5 000 €. (Kuva 21.)



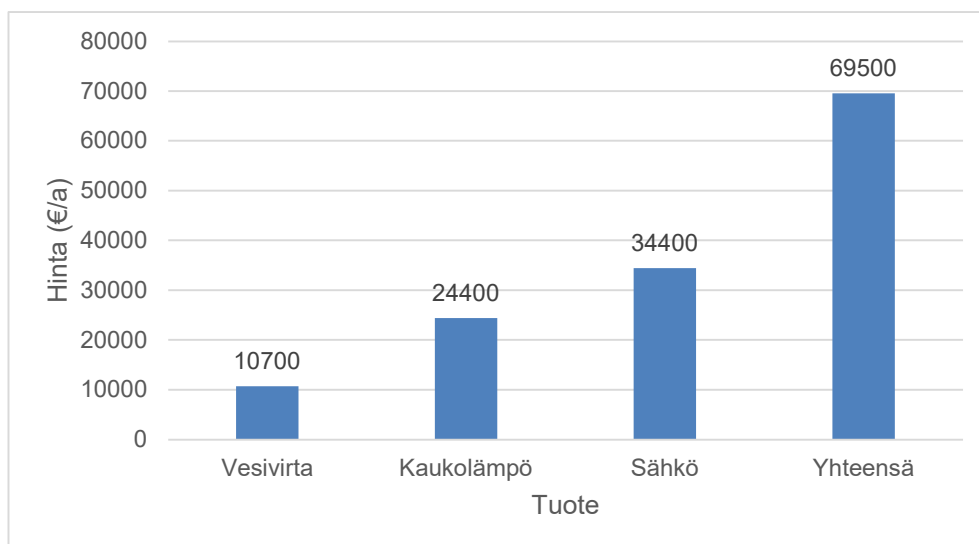
Kuva 21. Maalämmön investointikustannukset.

Hybridijärjestelmässä investointikustannukset koostuvat maalämpöpumpusta, porakaivoista, varaajasta, sähkökattilasta, kaukolämmön liittymismaksusta hybridiverkoston sopimusvirtaaman mukaan, siirtimistä ja työmaksuista. Maalämpöpumppu on kohteessa mitoitettu hybridiin 40 kW:n tehoiseksi. Hintaoletuksena on käytetty arvoa 400 €/kW. Lämpöpumpun hinnaksi saatiin 16 000 €. Porakaivojen syvyydeksi on kohteessa mitoitettu hybridille 1 200 m. Hintaoletuksena on käytetty arvoa 35 €/m. Porakaivojen hinnaksi saatiin 42 000 €. Varaajaksi on valittu 1 m³ varaajasäiliö. Hinnaksi säiliölle saatiin 1 700 €. Sähkökattila on kohteessa mitoitettu 30 kW:n tehoiseksi. Hintaoletuksena on käytetty 50 €/kW. Hinnaksi sähkökattilalle saatiin 1 500 €. Siirtimien hinnaksi saatiin 6 000 €. Kohteen kaukolämmön liittymismaksu hybridiverkoston sopimusvirtaaman 3,6 m³/h mukaan saatiin 19 400 €. Asennuskustannukset on oletettu hybridille olevan 7 000 €. (Kuva 22.)



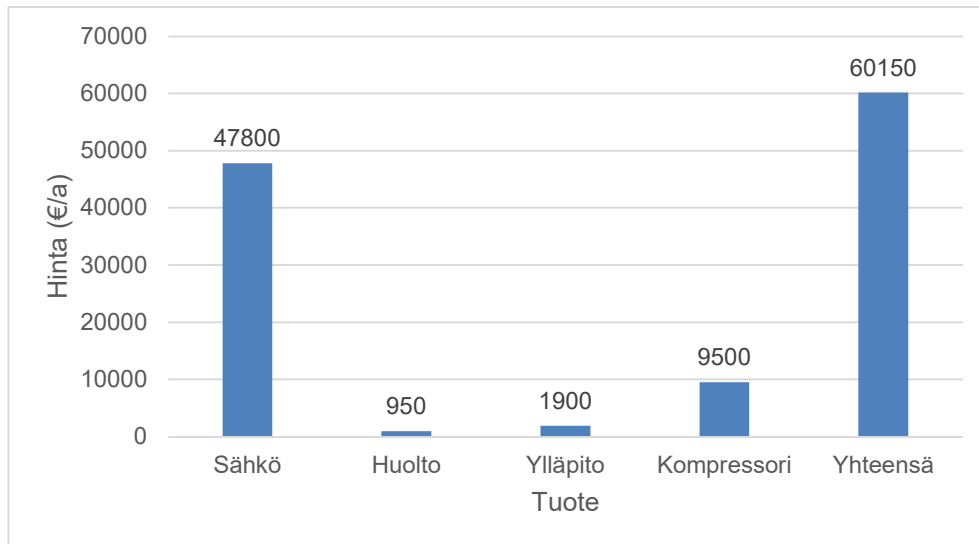
Kuva 22. Hybridijärjestelmän investointikustannukset.

Kaukolämmityksestä kuluvat vuosittaiset energiakulut ovat vesivirtamaksu kaukolämmölle sopimusvesivirran mukaan, kaukolämmönkulutus, sähkönkulutus. Kaukolämmön huolto ja ylläpitokustannukset eivät vaikuta tämän tarkastelun lopputulokseen, joten niitä ei lasketa tässä työssä. Kohteen kaukolämmön vesivirtamaksu sopimusvirtaaman mukaan 4,0 m³/h on 10 965 €. Kaukolämmitykseen kohteessa kuluu energiaa vuodessa 387 MWh/a. Kaukolämmön hinta on 63 €/MWh. Kaukolämmön hinnaksi saatiin 24 400€/a. Sähkön hinta oli 135 €/MWh. Sähkönkulutuksen kustannukseksi saatiin 34 400 €/a. (Kuva 23.)



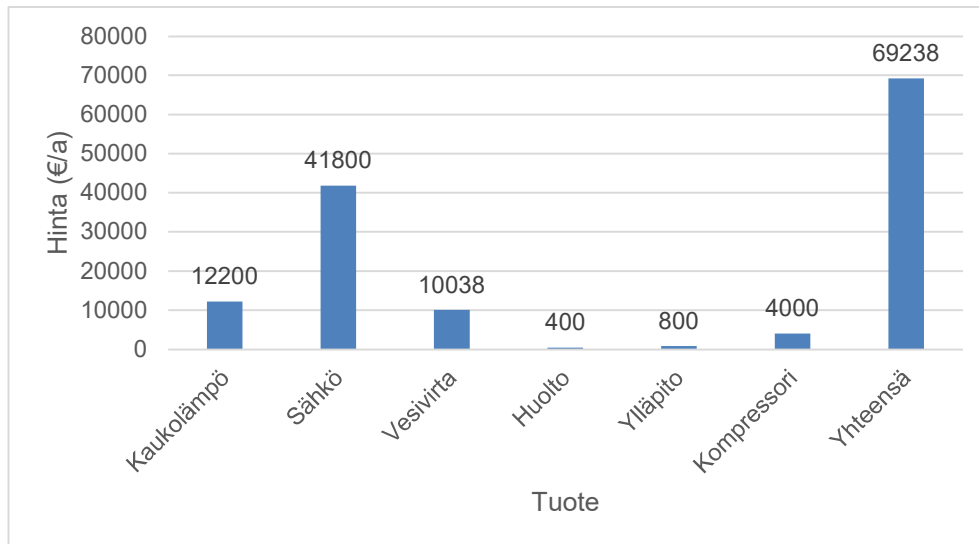
Kuva 23. Kaukolämmön vuotuiset kustannukset

Maalämmityksen vuotuiset kustannukset koostuvat sähkönkulutuksesta, huolloista, ylläpidosta ja kompressorin vaihdosta, joka vaihdetaan 15 vuoden välein. Maalämmön käyttämä sähkö koostuu laitteiden-, LVI:n-, valaisimien- ja sähkölämmityksen sähkönkulutuksista. Kohteen sähkönkulutus maalämpöverkostossa on 354 MWh/a, josta 99 MWh/a kuluu lämmitykseen. Sähkön hinta on 135 €/MWh. Sähkönkulutuksen kustannukseksi saatiin 47 800 €/a. Huoltokustannukset on maalämpöverkostolle olevan 2,5 % maalämpöpumpun investointikustannuksesta. Maalämpöpumpun investointikustannus on 36 000 €, joten huoltokustannukset ovat 900 €/a. Ylläpitokustannukset on oletettu 5 % maalämpöpumpun investointikustannuksista. Ylläpitokustannukseksi saatiin 1 800 €/a. Lisäksi kompressorin vaihto 15 vuoden välein on oletettu olevan 25 % maalämpöpumpun investointikustannuksesta. Kompressorinvaihdon kustannukset ovat 9 000 € / 15 v. (Kuva 24.)



Kuva 24. Maalämmön vuotuiset kustannukset

Hybridin vuotuiset kulutukset koostuvat osittain sekä maalämmön käytöstä, että kaukolämmön käytöstä. Vesivirtamaksu hybridille kohteessa saatiin sopimusvirran 3,6 m³/h mukaan 10 038 €/a. Kaukolämmitykseen hybridillä kuluu energiaa vuosittain 193 MWh/a. Kaukolämmityksen kustannuksiksi saatiin 12 200 €/a. Sähkönkulutus hybridillä vuodessa kohteessa on 309 MWh/a. Sähkönkulutuksen kustannukseksi saatiin 41 800 €/a. Huoltokuluiksi oletettiin 2,5 % maalämpöpumpun investointihinnasta, eli huoltojen kustannuksiksi saatiin 400 €/a. Ylläpidon kuluiksi oletettiin 5 % maalämpöpumpun investointikustannuksesta, eli ylläpidon kustannuksiksi saatiin 800 €/a. Kompressorin vaihto 15 vuoden välein oletettiin kustantavan 25 % maalämpöpumpun investointikustannuksesta, eli kompressorin vaihdon kustannukseksi tulee 4 000 € / 15 v. (Kuva 25.)



Kuva 25. Hybridilämmityksen vuotuiset kustannukset.

Elinkaarikustannuksien laskennassa ensimmäiselle vuodelle eli ”nollavuodelle” tulee ottaa huomioon investointikustannukset. Tämä on hankintavuosi, jolloin kulutuksia ei synny, vaan ainoat kustannukset syntyvät investoinneista. Elinkaarikustannuksien laskennassa käytettiin 20 vuoden aikahaarukkaa. Jokainen järjestelmä laskettiin 20 vuoden käytön mukaan. Eskalaatio otettiin työssä huomioon, jolloin vertailtavia elinkaarikustannuksia tulee kolme kappaletta. Ilman eskalaatiota laskettaessa ei huomioida inflaatiota tai deflaatiota, eli rahan arvo ei nouse eikä laske. Työssä on nolla-eskalaation lisäksi laskettu sähkön hinnan eskalaatioksi 2 % ja kaukolämmön hinnan eskalaatioksi 2 %, sekä sähkön hinnan eskalaatioksi 3,5 % ja kaukolämmön hinnan eskalaatioksi 5,5 %. Näin saadaan realistisia tuloksia tarkasteluun.

Taulukko 3. Elinkaarikustannukset 20 vuodelle ilman sähkön hinnan ja kaukolämmön hinnan eskalaatiota.

Vuosi	KL	MLP	MLP + KL
0	31400	142200	93600
1	99015	191309	156798
2	164661	238989	218155
3	228394	285279	277724
4	290272	330221	335559
5	350347	373854	391710
6	408672	416216	446224
7	465299	457345	499151
8	520276	497275	550537
9	573652	536043	600426
10	625473	573681	648861
11	675785	610223	695886
12	724632	645701	741542
13	772055	680145	785867
14	818098	713587	828902
15	862799	746054	870683
16	906199	777575	911247
17	948334	808179	950630
18	989243	837891	988865
19	1028959	866737	1025987
20	1067519	894744	1062028

Ilman eskalaatiota tarkastellessa maalämmityksen käyttö on paras ratkaisu ja kaukolämmityksen käyttö huonoin ratkaisu. Kaukolämmön ja hybridin välinen elinkaarikustannusten summa on erittäin pieni. (Taulukko 3.)

Taulukko 4. Elinkaarikustannukset 20 vuodelle sähkön hinnan eskalaatiolla 2 % ja kaukolämmön hinnan eskalaatiolla 2 %.

Vuosi	KL	MLP	MLP + KL
0	31400	142200	93600
1	100154	192236	157843
2	168035	241733	221251
3	235055	290697	283838
4	301230	339135	345617
5	366573	387054	406602
6	431099	434460	466808
7	494819	481359	526245
8	557748	527757	584929
9	619897	573662	642870
10	681281	619078	700082
11	741909	664013	756576
12	801796	708471	812363
13	860951	752459	867456
14	919387	795982	921866
15	977115	839045	975603
16	1034146	881656	1028678
17	1090491	923818	1081102
18	1146160	965537	1132885
19	1201163	1006818	1184037
20	1255511	1047668	1234568

Eskalaatiolla sähkön hinnalle 2 % ja kaukolämmön hinnalle 2 % on maalämpö paras ratkaisu. Huomio kiinnittyy tässä tarkastelussa siihen, kuinka hybridijärjestelmän ja kaukolämmityksen elinkaarikustannuksien välinen erotus kasvaa. (Taulukko 4.)

Taulukko 5. Elinkaarikustannukset 20 vuodelle sähkön hinnan eskalaatiolla 3,5 % ja kaukolämmön hinnan eskalaatiolla 5,5 %.

Vuosi	KL	MLP	MLP + KL
0	31400	142200	93600
1	101482	192931	158864
2	172026	243815	224315
3	243058	294855	289971
4	314601	346053	355851
5	386682	397414	421970
6	459323	448941	488347
7	532552	500637	554999
8	606392	552505	621943
9	680869	604548	689197
10	756008	656770	756776
11	831836	709174	824700
12	908379	761761	892985
13	985662	814536	961647
14	1063712	867502	1030706
15	1142557	920660	1100177
16	1222222	974014	1170078
17	1302736	1027567	1240427
18	1384126	1081321	1311241
19	1466420	1135280	1382537
20	1549647	1189445	1454335

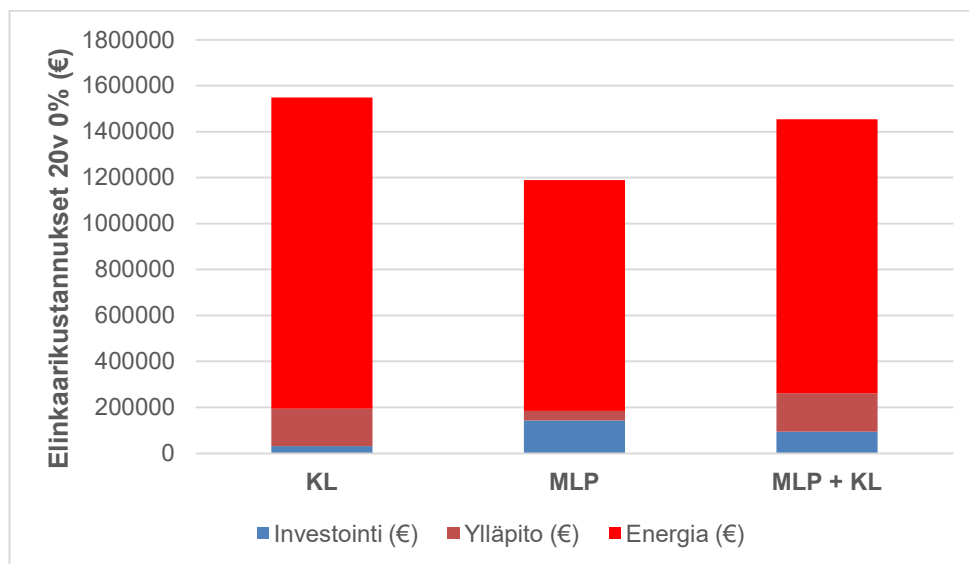
Eskalaatiolla sähkön hinnalle 3,5 % ja kaukolämmölle 5,5 % on maalämpö paras ratkaisu, mutta kaukolämmityksen elinkaarikustannukset ovat jo huomattavasti suuremmat. Hybridijärjestelmän ja kaukolämmityksen erotus on tällä eskalaatiolla jo hyvin suuri. (Taulukko 5.)

Taulukko 6. 20 vuoden elinkaarikustannusten herkkyytarkastelu eri energianhinnan eskalaatioilla

20 vuoden elinkaarikustannukset (€)	KL	MLP	MLP + KL
Laskentakorko 3 %			
Ei eskalaatiota	1067519	894744	1062028
Eskalaatio sähkö 2 %, kaukolämpö 2 %	1255511	1047668	1234568
Eskalaatio sähkö 3.5 %, kaukolämpö 5.5 %	1549647	1189445	1454335

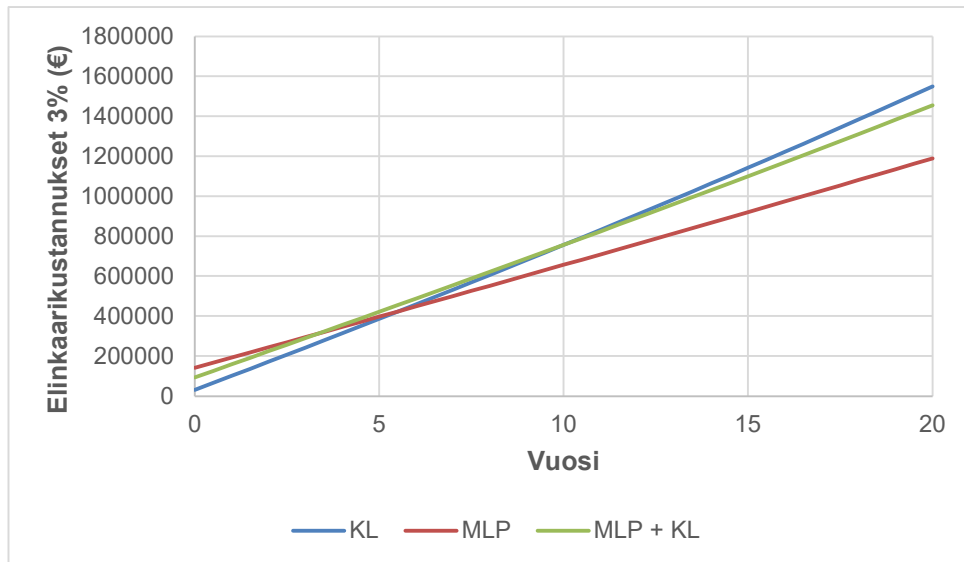
3.5 Tulokset

Tuloksia tarkastellessa huomataan, että maalämmitys on uudiskohteelle paras ratkaisu elinkaarikustannuksittain. Kaukolämmitys maksaa 20 vuoden aikana enemmän kuin hybridi ja maalämmitys. (Kuva 26.)



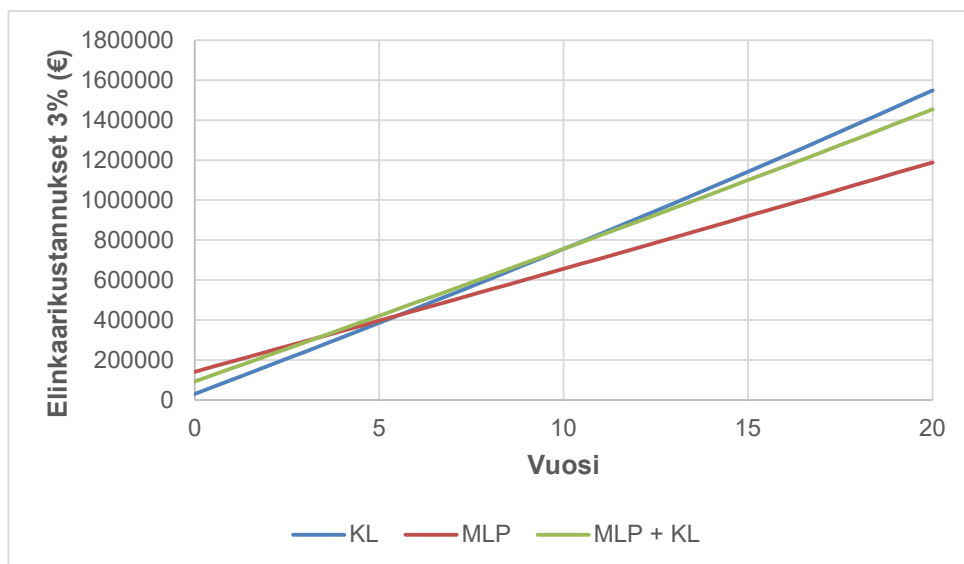
Kuva 26. Lämmitysjärjestelmien elinkaarikustannukset 20 vuodelle.

Taulukosta 6 voidaan nähdä, ettei herkkyytstarkastelulla ole vaikutusta lopputulokseen. Maalämmitys on elinkaarikustannukseltaan paras vaihtoehto hinnan muutoksista huolimatta. Kaukolämmön elinkaarikustannukset huononevat muihin järjestelmiin verrattuna hinnan eskalaation vaikutuksesta.



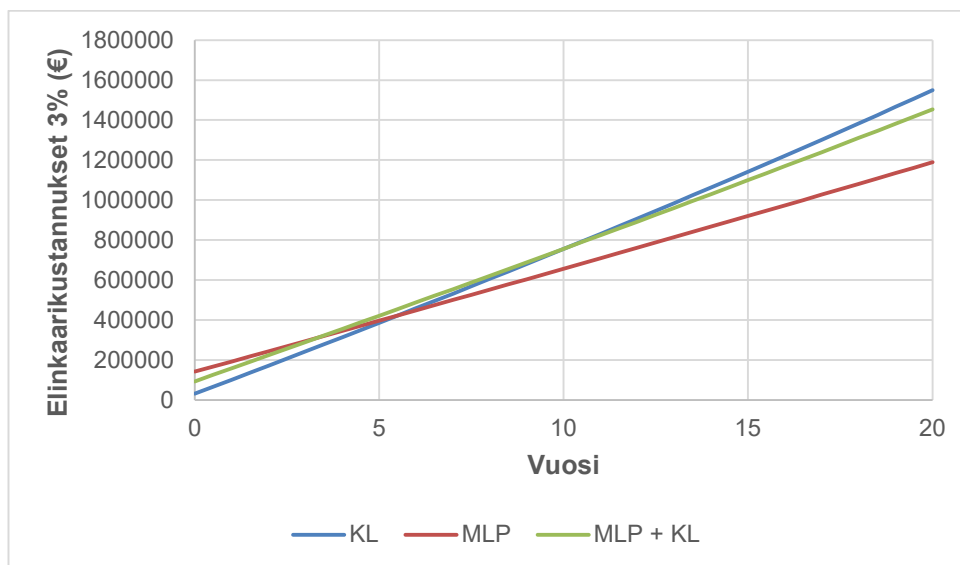
Kuva 27. Elinkaarikustannusten diagrammi ilman eskalaatiota

Ilman eskalaatiota järjestelmien elinkaarikustannusten vuosittaisten kustannusten suhdanne on laskeva. Työssä käytimme laskentakorkona 3 %:a, jolloin vuosikustannukset nousevat vuodessa vähemmän kuin edellisenä vuonna. (Kuva 27.)



Kuva 28. Elinkaarikustannusten diagrammi sähkön hinnan eskalaatiolla 2 % ja kaukolämmön hinnan eskalaatiolla 2 %.

Sähkön hinnan eskalaatiolla 2 % ja kaukolämmön eskalaatiolla 2 % on elinkaarikustannusten kasvu lähes suora. (Kuva 28.)



Kuva 29. Elinkaarikustannusten diagrammi sähkön hinnan eskalaatiolla 3,5 % ja kaukolämmön hinnan eskalaatiolla 5,5 %

Sähkön hinnan eskalaatiolla 3,5 % ja kaukolämmön hinnan eskalaatiolla 5,5 % on elinkaarikustannusten kasvu nouseva. (Kuva 29.)

4 Johtopäätökset

Maalämmitys on 20 vuoden elinkaarikustannusten perusteella paras ratkaisu. Sen takaisinmaksuaika on kaukolämmitykseen verrattuna 5,8 vuotta. Tämä johtuu siitä, että maalämmityksen vuotuiset kulutukset ovat paljon pienempiä kuin muiden järjestelmien. Maalämmityksen suurimmat kulut ovat juuri investoinnissa käytetyt maalämpöpumpun hankinta ja porakaivojen poraus. Herkkyystarkasteluiden jälkeen myös huomattiin maalämpöjärjestelmän olevan paras ratkaisu riippumatta hintojen eskalaatiosta.

Järjestelmistä huonoin vaihto ehto 20 vuoden elinkaarikustannusten perusteella on kaukolämpöjärjestelmä. Kaukolämmön vesivirtamaksut suuressa kohteessa ovat suuret. Lisäksi kaukolämpö joutuu käyttämään reilusti enemmän ostoenergiaa verrattuna muihin järjestelmiin.

Maa-kaukolämpöhybridin 20 vuoden elinkaarikustannukset ovat hyvät. Hybridin takaisinmaksuaika kaukolämmitykseen verrattuna on 13,7 vuotta. Tämä johtuu siitä, että hybridi käyttää kumpaakin järjestelmää energiatehokkaimmalla tavalla. Talviajan energiatehontarve on suuressa kohteessa liian suuri hybridin maalämpöpumpun tuottamalle energialle, joten silloin hybridi joutuu käyttämään usein lisälämmityksenä kaukolämpöä.

Maalämmitys ei ole aina paras vaihtoehto suuriin kohteisiin, varsinkaan kaupunkialueella. Suuret kohteet vaativat useamman porakaivon ja näiden poraus vaatii suuren pinta-alan tontista. Tästä syystä kaukolämmitys valitaan usein kohteille, elinkaarikustannuksista huolimatta, sillä kaukolämmityksen liittäminen kaukolämpöverkkoon ei vaadi suurta pinta-alaa tontilta. Lisäksi kaukolämpöverkosto on lähes koko kaupunkialueen laajuinen, joten kaukolämpöjohtoja ei tarvitse asentaa pitkälle kohteesta.

Hybridi on melko tuore järjestelmä, joka toimii hyvin kaupunkialueilla suurissa kohteissa. Porakaivoja on vähemmän kuin pelkässä maalämpöjärjestelmässä, joten pinta-alaa ei tarvitse niin paljoa kuin maalämpöjärjestelmässä pelkästään. Lisäksi hybridin elinkaarikustannukset ovat huomattavasti pienemmät kuin kaukolämmityksen. Hybriditä tutkitaan jatkuvasti, joten sen käyttö Suomessa on kasvamassa.

Lähteet

- 1 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta.1010/2017.
- 2 Elinkaarisuunnittelun tehtäväluettelo Elink12. 2014. RT-kortti 10-11170. Rakennustieto Oy.
- 3 Pulakka Sakari, Heimonen Ismo, Junnonen Juha-Matti, Vuolle Mika. 2007. Talotekniikan elinkaarikustannukset. Tiedote. Verkkoaineisto. VTT. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2409.pdf>. Luettu 13.12.2019.
- 4 Juvonen Janne. 2009. Lämpökaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöopas.
- 5 Mitä on maalämpö. Verkkoaineisto. Tom Allen Senera Oy. <https://www.tomallensenera.fi/maalampo>. Luettu 10.02.2020.
- 6 Maalämmön toimintaperiaate. Verkkoaineisto. Gebwell Oy. <https://gebwell.fi/maalampo/maalammon-toimintaperiaate/>. Luettu 13.12.2019.
- 7 Maalämpökaivo. Verkkoaineisto. Tec Heat Ab Oy. <https://www.techeat.fi/maalampo/maalampokaivo/>. Luettu 10.02.2020.
- 8 Kaukolämpö. Verkkoaineisto. <https://energiamailma.fi/mista-virtaa/kaukolampo/>. Luettu 15.02.2020.
- 9 K1/2013, Rakennustenkaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. 2013. Energiateollisuus. https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1_2013_20140509.pdf Luettu. 24.1.2020
- 10 Kaukolämmön käsikirja, Energiateollisuus Oy.
- 11 Uotila Juuso. 2020. Energiapäällikkö, Hepacon Oy. Haastattelu 21.1.2020, 14.2.2020.
- 12 Hakala, Pertti, Kaappola, Esko. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Tampere: Opetushallitus.
- 13 Saari Arto. Tekninen tohtori. 2004. Elinkaarikustannusten laskenta. Luonnos 23.8.2004.

