

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

BH10A0300 Ympäristötekniikan kandidaatintyö ja seminaari

**LÄMMITYSMUOTOJEN
HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET KYMÄLAHDEN
PIENTALOALUEELLA**

Potential forms of heating at small house region of Kymälähti

Työn tarkastaja: Professori, Risto Soukka

Työn ohjaaja: Tutkijaopettaja, Mika Luoranen

Lappeenrannassa 6.6.2011

Lauri Niskakangas

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO	2
1 JOHDANTO	3
2 RAKENNUSTEN LÄMMITYSTARPEEN MUODOSTUMINEN	4
2.1 Rakennuksen lämmitysenergian kulutus	5
2.2 Rakennuksen lämmityksen mitoitusteho	7
2.3 Lämmitysenergian tarve ja -kulutus sekä lämmityksen mitoitusteho Kymälähdessä .	8
3 MAHDOLLISET LÄMMÖNTUOTANTOMUODOT KYMÄLAHDEN PIENTALOALUEELLA	10
3.1 Talokohtaiset maalämpöpumput matalaenergiaverkossa	11
3.2 Maakaasu	14
3.4 Aurinkoenergia	15
4 LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN KUSTANNUSTEN LASKENTA JA TULOKSET	17
4.1 Menetelmät	17
4.2 Matalaenergia- ja passiivitalon kustannusero verrattuna normitaloon	19
4.3 Kustannukset matalaenergiaverkon ja maakaasuverkon rakennuttajalle	20
4.4 Kustannukset käyttäjälle	21
5 PRIMÄÄRIENERGIAN KULUTUKSEN JA HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖJEN LASKENTA SEKÄ TULOKSET	27
5.1 Menetelmät ja kertoimet	27
5.2 Tulokset	28
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	32
7 YHTEENVETO	34
LÄHTEET	36

LIITTEET

Liite 1. Annuiteetti- ja diskonttaustekijän kaavat

Liite 2. Pientalojen kuukausittaiset lämmitysenergian tarpeet

Liite 3. Kuva 5. Lämmitysmuotojen kustannusten kertyminen

SYMBOLILUETTELO

A	lämmitettävien tilojen pinta-ala	[m ²]
a _{n,i}	annuiteettitekijä	[-]
COP	lämpöpumpun vuositehokerroin	[-]
H _{km}	matalaenergiaverkon käyttömaksu	[€/m ²]
H _{maakaasu}	maakaasun kuluttajahinta	[€]
H _{sähkö}	sähkön kuluttajahinta	[€]
i	laskentakorko	[-]
I _{eristys}	eristämisen lisäkustannus	[€]
I _{lämmitysjärj}	lämmitysjärjestelmän investointikustannus	[€]
I _{mev}	matalaenergiaverkon investointikustannus	[€]
I _{mkv}	maakaasuverkon investointikustannus	[€]
I _{ominaisinv}	katuverkon ominaisinvestointikustannus	[€/m]
I _{talo}	talokohtainen investointikustannus	[€/talo]
K ₁₅	kustannukset 15 vuodelta	[€]
K ₂₅	kustannukset 25 vuodelta	[€]
K _{energia}	vuotuinen lämmitysenergiakustannus	[€/a]
l	rakennettavan verkon pituus	[m]
n _{talo}	verkkoon liitettävien talojen lkm	[-]
Q _{lämmitys}	vuotuinen lämmitysenergiankulutus	[kWh/a]
v _{n,i}	vuotuinen diskonttaustekijä	[-]
μ	hyötysuhde	[-]

Alaindeksit

mk	maakaasu
mev	matalaenergiaverkko
km	käyttömaksu
n	vuosi
i	korkokanta

1 JOHDANTO

Euroopan Unioni hyväksyi joulukuussa vuonna 2008 energia- ja ilmastopakettin, joka sitouttaa jäsenmaat vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä 20 % vuoden 1990 tasosta ja nostamaan EU:n uusiutuvan energian osuutta kaikista energianlähteistä 20 prosenttiin. Tämän lisäksi energiatehokkuutta on parannettava 20 % ja liikenteen biopolttoaineen osuus nostettava 10 prosenttiin. (Ympäristöministeriö 2010.)

Suomen valtionneuvosto on linjannut Euroopan komission Suomelle asettamien päästöjen vähentämistavoitteiden pohjalta ”Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategiassa” yksityiskohtaisesti ilmasto- ja energiapoliittiset tavoitteet vuoteen 2020 mennessä sekä viitteelliset tavoitteet vuoteen 2050 mennessä. Strategiasta on huomattavissa, ettei Euroopan komission asettamiin tavoitteisiin päästä ilman suuria ja merkittäviä poliittisia toimenpiteitä. Komission mukaan liikenteen, talojen lämmityksen ja maatalouden päästöjä on vähennettävä 16 % vuoden 2005 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Vastaavasti teollisuuden ja energiantuotannon päästöjä on pudotettava 21 %. Uusiutuvan energian osuus on nostettava 28 prosentista 38 prosenttiin. Energian loppukulutus tulee pysäyttää ja kääntää laskuun siten, että vuonna 2020 kokonaisenergiankulutus on 310 TWh eli 10 % vähemmän, mitä kulutus tulisi olemaan ilman toimenpiteitä. Sähkönkulutus tulisi olla 98 TWh kun se vuonna 2008 oli noin 90 TWh. (TEM 2008.)

Vuonna 2003 rakennustarvikkeiden valmistus, rakentaminen ja itse rakennukset kattoivat Suomen kokonaisenergiankulutuksesta 44 %. Osuus on jopa suurempi kuin teollisuuden osuus 39 %. Pelkästään asuin- ja palvelurakennusten lämmitys kattoi 22 % kokonaisenergiankulutuksesta. (Heljo, Nippala ja Nuutila 2005.) Vuonna 2009 noin 35 % Suomen rakennuskannan pinta-alasta muodostui erillisistä pientaloista (Tilastokeskus 2009). Osuuksista voidaan päätellä, että rakennuksissa ja erityisesti pientaloissa piilee merkittävä energiansäästöpotentiaali.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää edullisin ja ekologisin lämmöntuotantomuoto rakennusosaltaan noin 5200 m² kokoluokaltaan olevalla pientaloalueella. Työ tehtiin Imatran kaupungin tilaamana ja heidän toiveenaan oli vertailla

maakaasun, maakaasun ja auringon yhdistelmän sekä matalaenergiaverkon käyttöä normi-, matalaenergia- ja passiivitalon lämmittämisessä Kymälahauteen tulevalla pientaloalueella. Yhteistyössä tilaajan kanssa sovittiin, että työssä selvitetään maakaasu- ja matalaenergiaverkon investointikustannukset sekä takaisinmaksuajat, lämmitysmuotojen investointi- ja elinkaarikustannukset talon rakentajalle ja käyttäjälle sekä pientalojen lämmityksen vuotuiset primäärienergiankulutukset ja hiilidioksidipäästöt. Varsinainen vertailu suoritetaan kustannusten, takaisinmaksuaikojen, CO₂ päästöjen ja primäärienergiankulutuksen perusteella. CO₂ on kasvihuonekaasu, jolloin CO₂ päästöjen määrillä voidaan vertailla ratkaisujen ekologisuutta. Primäärienergiankulutukset on laskettu CO₂ päästöjen määrittämiseksi, mutta ko. kulutuksien avulla voidaan tehdä myös suuntaa antava vertailu siitä, millä lämmitysmuodolla saavutetaan parhaiten energiankulutuksen vähentämiseen liittyvät kansalliset tavoitteet. Työssä on laskettu vuotuiset CO₂ päästöt ja primäärienergiankulutus myös sähköllä lämmitettävässä pientalossa, jotta varsinaisten vertailussa olevien lämmitysmuotojen ekologisuudesta saadaan laajempi näkökulma. Sähkölämmitys valittiin tuomaan työille laajempaa näkökulmaa, koska se on yleisin lämmitysmuoto uusissa pientaloissa 40-60 % osuudella (Ojaniemi ja Penttinen 2008, 2).

2 RAKENNUSTEN LÄMMITYSTARPEEN MUODOSTUMINEN

Rakennusten lämmityksen tavoitteena on luoda edellytykset sisäilman terveellisyydelle ja viihtyisyydelle sekä tuottaa lämmityslaittein lämmintä käyttöväettä eri tarkoituksiin. Yleisin Suomessa käytössä oleva lämmitysjärjestelmä on keskuslämmitysjärjestelmä. Kyseisessä menetelmässä lämpö tuotetaan yhdessä tilassa, josta lämpö jaetaan muihin tiloihin käyttäen yleensä vesikiertoista lämmönjakelujärjestelmää. (Seppänen 2001, 1.)

Oikea huoneilman lämpötila asuinrakennuksissa riippuu hieman yksilöllisistä tekijöistä kuten aineenvaihdunnasta ja fysiologisista tekijöistä, vaatetuksesta sekä liikkumisesta. Liikkuessa ihminen tuottaa enemmän lämpöä, jolloin kasvaneen lämpömäärän siirtyminen ympäristöön vaatii alhaisemman huoneen lämpötilan. Vaatetus taas hidastaa lämmön siirtymistä ympäristöön, jolloin vaatetuksella voidaan vaikuttaa oikean lämpötilan tunteeseen. Kullekin henkilölle oikean huoneilman lämpötilan tunnistaa, kun henkilö ei

osaa sanoa, onko huoneilma liian lämmin vai liian kylmä. Oikea lämpötila parantaa vireyttä, pienentää sairauksiin viittaavien oireiden määrää ja säästää energiaa 5 % jokaista alennettua lämpötila-astetta kohden. Tutkimuksien mukaan optimilämpötila huonetiloissa on yleensä 21 °C. (Seppänen 2001, 7.)

Rakennuksen lämmitystarve muodostuu lämpöhäviöistä sekä käyttöveden lämmityksestä. Lämmitystarpeen suuruuteen vaikuttavat olennaisesti sisä- ja ulkolämpötila, rakennuksen muoto ja suuntaus, seinien, ikkunoiden ja ovien pinta-ala sekä lämmöneristyskyky. (Seppänen ja Seppänen 2007, 59.)

Rakennuksen lämpöhäviöt jaetaan usein johtumishäviöihin vaipan läpi, ilmanvaihdon ja vuotoilman lämpöhäviöihin. Rakennuksen vaipalla tarkoitetaan ulkoseiniä, yläpohjaa, alapohjaa, ikkunoita ja ovia. Lämpöhäviöitä muodostuu, kun lämpö siirtyy korkeammasta lämpötilasta matalampaan eli rakennuksen sisäpuolelta ulkoilmaan. Rakennuksissa lämmönsiirtyminen tapahtuu johtumalla, konvektiona ja säteilynä. (Seppänen ja Seppänen 2007, 60.)

Hetkellinen rakennuksen lämmöntarve vaihtelee pääasiassa ulkolämpötilan mukaan. Yleensä koneellisen ilmanvaihdon ilmavirta puolitetaan energian säästämiseksi, kun ulkolämpötila poikkeaa mitoituslämpötilasta vähemmän kuin 15°C. Tämä johtaa siihen, että rakennuksen lämmityksen tehontarpeen huippu on yleensä joko mitoituslämpötilassa tai alimmassa lämpötilassa, jossa ilmanvaihto käy vielä täydellä teholla. Käyttöveden lämmitys on kuitenkin ulkoilman lämpötilasta riippumaton tekijä, joka muodostaa lämmöntarpeelle pohjakuorman. Rakennuksen lämmöntarve tyydytetään pääasiassa lämmityslaitteistolla tuotetulla lämmöllä, mutta myös sisäisillä lämpökuormilla. Sisäiset lämpökuormat eivät kuitenkaan vaikuta lämmityslaitteiden tehon mitoittamiseen. (Seppänen 2001, 104.)

2.1 Rakennuksen lämmitysenergian kulutus

Rakennusten lämmitysenergian kulutusta käytetään mm. rakennusten energiatehokkuusluokitusten määrittämisessä ja lämmityksen kustannusten laskennassa.

Rakennusten energiatehokkuusluokitus määritellään ensisijaisesti tilojen lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutuksella, koska suurin osa rakennuksen energiankulutuksesta muodostuu lämmityksestä ja jäähdytyksestä. Lisäksi tilojen lämmitys on perustarve, jota ei voida välttää käyttötottumuksia mukauttamalla, mutta lämmityksen määrään voidaan olennaisesti vaikuttaa mm. rakenteellisilla ratkaisuilla. Matalaenergiataloiksi kutsutaan pientaloja, joiden tilojen lämmitys- ja jäähdytysenergian ostoenergian ominaiskulutus ja nettoenergian ominaistarve on 26 - 50 kWh/m²a. Passiivitaloiksi kutsutaan pientaloja, joiden tilojen lämmitys- ja jäähdytysenergian ostoenergian ominaiskulutus ja nettoenergian ominaistarve on korkeintaan 25 kWh/ m²a. (RIL249-2009 2010, 11-12.)

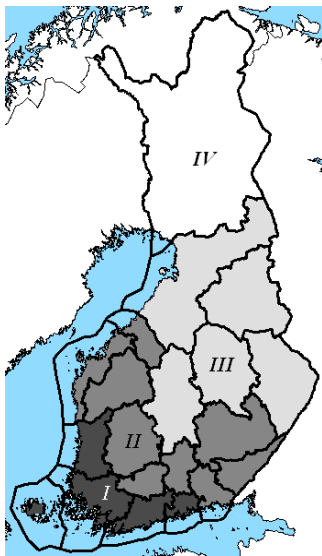
Rakennusten lämmitysenergiankulutus voidaan laskea ns. normimenetelmällä eli Rakentamismääräyskokoelma D5:n mukaan, jossa lämmitysenergiankulutus lasketaan kullekin kuukaudelle erikseen. Toinen tapa laskea lämmitysenergiankulutus on ns. astepäivälukumenetelmä. (Seppänen 2001, 114.) Nykyisin astepäiväluvun sijaan käytetään termiä lämmitystarveluku.

Lämmitysenergiankulutuksen suuruuteen vaikuttaa olennaisesti lämmityskauden pituus. Normitalo2012:n lämmityskausi määräytyy ulkolämpötilan mukaan siten, että syksyllä lämmityskausi alkaa, kun ulkolämpötila putoaa alle 12 °C ja päättyy keväällä, kun lämpötila nousee yli 10 °C (Ilmatieteenlaitos 2010). Matalaenergiatalon lämmityskauden pituus on 6 kk ja passiivitalon 3 kk (RIL249-2009 2010, 144).

Sisäisiä lämpökuormia muodostavat kotitaloussähkö 25 kWh/m²a, valaistus 7 kWh/m²a ja ihmiset (RIL249-2009 2010, 188). Ihmisen aineenvaihdunnan lämpöteho on noin 100 W (Aalto 2009). Lämpökuormia voidaan osittain hyödyntää rakennuksen lämmityksessä sillä edellytyksellä, että samanaikaisesti esiintyy lämmitystarvetta ja että säätölaitteet vähentävät muuta lämmöntuottoa lämpökuormia vastaavalla määrällä. Lämmityksessä hyödyksi saatavat lämpökuormat lasketaan Rakentamismääräyskokoelma D5 mukaan, jossa lämpökuormista hyödyksi saatavaan energiaan vaikuttaa kuukausittainen hyödyntämisaste. (Rakentamismääräyskokoelma D5 2007, 47.) Myös auringon säteily vähentää lämmitysenergiankulutusta lämmittämällä rakennuksen vaippaa ja sisäilmaa ikkunoiden kautta (Seppänen 2001, 411).

2.2 Rakennuksen lämmityksen mitoitusteho

Rakennuksen lämmityksen mitoitustehon tarve lasketaan Rakentamismääräyskokoelma D5 ohjeiden mukaan. Mitoitusteho muodostuu rakennuksen johtumislämpövirtojen summasta, ilmanvaihdon, vuotoilman ja lämpimän käyttöveden lämmitystehontarpeista. Sisälämpötilana laskennassa käytetään yleensä asuintiloissa +20 °C ja ulkolämpötila määräytyy sijainnin perusteella (kts. kuva 1 ja taulukko 1). Alueen mitoituksessa käytetty ulkolämpötila on korkeampi kuin alueen minimilämpötila, koska mitoitukslämpötilaa alemmat lämpötilat toistuvat harvoin eivätkä ne lyhytaikaisuutensa vuoksi ehdi juurikaan vaikuttamaan rakennuksen sisälämpötilaan. (Seppänen 2001, 102) Käyttöveden lämmityksen tarvitsema teho lasketaan rakennuskohtaisella lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamalla. Tehoon lisätään käyttöveden kiertojohton lämpöhäviöteho. (Rakentamismääräyskokoelma D5 2007, 55.) Lasketun lämmitystehon tarpeen avulla mitoitetaan rakennuksen lämmityslaitteet (Seppänen 2001, 104).



Kuva 1. Säävyöhykkeet.

(Rakentamismääräyskokoelma D5.)

Taulukko 1. Mitoittavat ulkolämpötilat eri säävyöhykkeillä. (Rakentamismääräyskokoelma D5.)

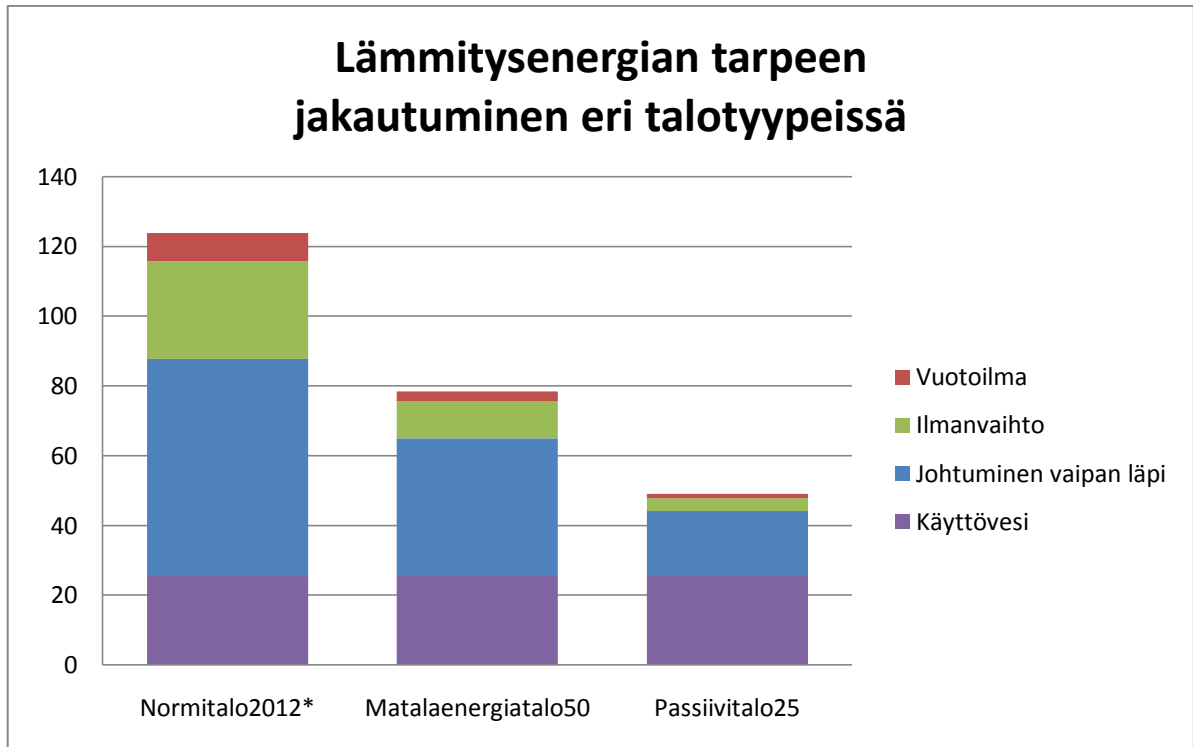
Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C
I	-26
II	-29
III	-32
IV	-38

2.3 Lämmitysenergian tarve ja -kulutus sekä lämmityksen mitoitusteho Kymälähdessä

Laskenta on suoritettu rakentamismääräyskokoelma D5 mukaan Lappeenrannan kuukausien keskilämpötiloilla ja taulukon 2 rakenteellisilla ominaisuuksilla käyttäen sisälämpötilana 20 °C. Normitalo2012 ominaisuuksina ja rakenteiden U-arvoina on käytetty 28.9.2010 päivätyn Suomen Rakentamismääräyskokoelma D3 luonnoksen minimiarvoja. Matalaenergiatalon ja passiivitalon ominaisuudet mukailevat RIL 249-2009 ohjeellisia arvoja. Lämpimän käyttöveden energiankulutuksen laskennassa on käytetty D5 ohjeen arvoa 0,06 m³/henk.,vrk lämpimän käyttöveden kulutukselle ja asukkaita oletetaan olevan 4 henkilöä 200 m² kokoisessa pientalossa. Ikkunoiden pinta-alana on käytetty 15 % koko rakennuksen pinta-alasta ja ulko-ovia on oletettu olevan 2 kappaletta. Ilmanvaihdon ilmavirran puolittumista alle -14 °C lämpötiloissa ei ole huomioitu. Taulukkoon 2 ja kuvaan 1 on kirjattu laskennan tulokset lämmitysenergiantarpeiden osalta.

Taulukko 2. Rakenteiden U-arvoja ja lämmitysenergian tarpeita.

	Normitalo2012	Matalaenergiatalo50	Passiivitalo25
Yläpohja	0,09	0,08	0,07
Alapohja	0,16	0,12	0,1
Seinä	0,17	0,12	0,08
Ikkuna	1	0,8	0,8
Ovi	1	0,6	0,5
Vuotoilmakerroin	0,08	0,032	0,024
LTO vuosihyötysuhde	0,45	0,75	0,85
Tilojen lämmitys kWh/m ² ,a	98,29	52,84	23,48
Käyttöveden lämmitys kWh/m ² ,a	25,55	25,55	25,55



Kuva 2. Normitalo2012, matalaenergiatalo50:n ja passiivitalo25:n lämmitysenergian tarve kWh/m²,a.
*Laskettu D3 luonnoksen U-arvoilla.

Oletetaan, että kukin talossa asuva henkilö viettää sisätiloissa puolet lämmityskaudesta. Tällöin 4 henkilön tuottama lämmitysenergia lämmityskauden aikana on normitalossa 1162 kWh, matalaenergiatalossa 944 kWh ja passiivitalossa 432 kWh. Erot talokonseptien välillä johtuvat eri pituisista lämmityskausista. Lämmitysenergiankulutus saadaan vähentämällä lämmitysenergian tarpeesta sisäiset lämpökuormat. Lämmityksessä hyödyksi saatavat lämpökuormat ja lämmitysenergiankulutus on esitetty taulukossa 3. Auringon säteilyn vaikutusta lämmitysenergian kulutukseen ei ole otettu huomioon, koska auringon säteily lämmityskaudella on pientä ja hyödyksi saatavaan auringon säteilyenergiaan liittyy paljon epävarmuustekijöitä kuten pientalon rakenteelliset ratkaisut, rakennuksen sijainti ja ympäristön puusto.

Taulukko 3. Lämmitysenergian kulutuksen muodostuminen vuoden 2012 normitalossa, matalaenergiatalo50:ssä ja passiivitalo25:ssä.

Käyttäjä	normitalo	matalaenergiatalo	passiivitalo	
Pinta-ala	200,00	200,00	200,00	m ²
Ominaisenergiankulutus	123,84	78,39	49,03	kWh/m ² ,a
Lämmitysenergian tarve	24768	15678	9806	kWh/a
Hyödyksi saatavat lämpökuormat	5354	4037	2007	kWh/a
-Keskimääräinen hyödyntämisaste	99,05	99,54	99,85	%
-ihmiset 4 henkilöä	1162	944	432	kWh/a
-kotitaloussähkö	16,67	12,5	6,25	kWh/m ² ,a
-valaistus	4,67	3,50	1,75	kWh/m ² ,a
Lämmitysenergiankulutus	19414	11641	7799	kWh/a

Taulukkoon 4 on laskettu pientalojen lämmityksen mitoituslaskelmat säävyöhyke II:n ulkoilman mitoituslämpötilassa Rakentamismääräyskokoelma D5 mukaisesti. Ilmanvaihdon mitoitusvirtaamana on käytetty 0,4 dm³/s ja lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamana 0,36 dm³/s.

Taulukko 4. Lämmityksen mitoituslaskelmat.

	Neliöperusteinen			200m ² pientalo		
	Tilat	Käyttövesi		Tilat	Käyttövesi	
Normitalo2012	45,33	506	W/m ²	9,1	76,0	kW
Matalaenergiatalo50	32,94	506	W/m ²	6,6	76,0	kW
Passiivitalo25	27,88	506	W/m ²	5,6	76,0	kW

3 MAHDOLLISET LÄMMÖNTUOTANTOMUODOT KYMÄLAHDEN PIENTALOALUEELLA

Kymälahteen tuleva pientaloalue sijaitsee noin 10 kilometrin päässä Imatrankoskelta koilliseen Jäppilänniementien varrella. Alueella on voimassa oleva yleiskaava, jossa suunnitellulle alueelle on varaus pientaloalueelle. Tämän opinnäytetyön kirjoittamisen aikana asemakaava-luonnoksessa oli suunnitelma 26 pientalon rakentamiselle. Tonttien rakennusoikeus on maksimissaan 300 m², mutta kaikissa laskelmissa pientalojen oletetaan

olevan keskimäärin 200 m² kokoisia, jolloin alueen kokonaisrakennusalaksi muodostuu 5200 m².

Suunnitellun pientaloalueen välittömässä läheisyydessä ja Jäppilänniementien vieressä kulkee maakaasun jakeluputki sekä alueen pohjoispuolella sijaitsee Immalanjärvi. Edellä mainittujen kahden elementin hyödyntäminen pientalojen lämmityksessä selvitetään tässä osiossa.

3.1 Talokohtaiset maalämpöpumput matalaenergiaverkossa

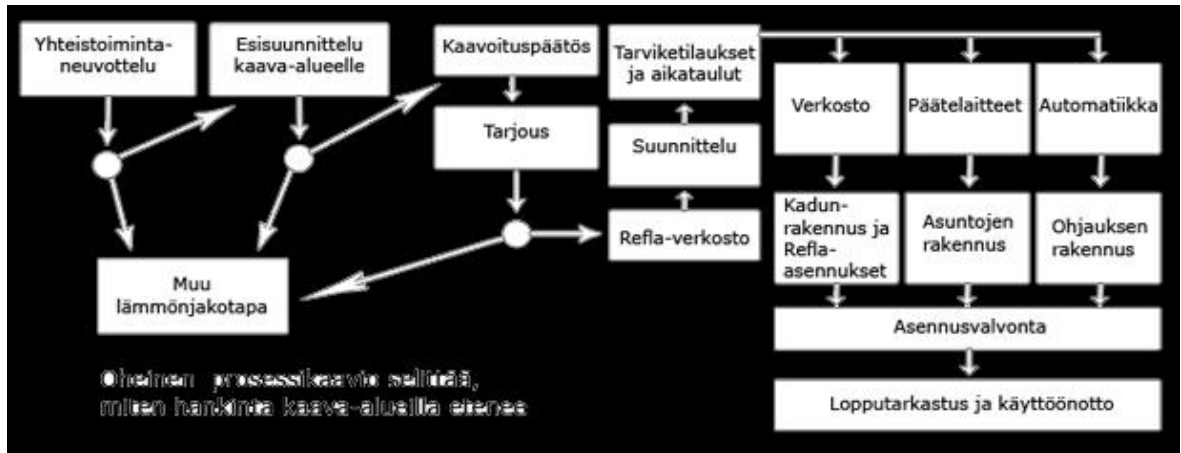
Matalaenergiaverkon hyödyntäminen rakennusten lämmityksessä tarkoittaa käytännössä talokohtaisia maalämpöpumppuja, joiden lämmönkeruupiirinä toimii matalaenergiaverkko.

Lämpöpumpun toimintaidea perustuu Carnot-kiertoprosessiin. Lämpöpumppu kierrättää kylmäainetta suljetussa piirissä siten, että kylmäaine vuoroin lämpiää höyrystimessä ja viilenee lauhduttimessa. Höyrystimeltä tulevan kylmäaineen painetta korotetaan kompressorilla, jolloin kylmäaineen lämpötila nousee. Lauhduttimesta hyödyksi saatava lämpö muodostuu näin ollen höyrystimessä sitoutuneesta lämmöstä ja kompressorin työn summasta. Kylmäaineen paine laskee lauhduttimen jälkeisessä paisuntaventtiilissä, jolloin myös kylmäaineen lämpötila laskee. (Seppänen 2001, 377.)

Matalaenergiaverkko kerää lämpöä keruuputkistolla lämmönlähteestä, joka voi olla esimerkiksi vesistö, järven pohja, kallioperä tai maanpinta. Lämmönlähteessä lämmennyt lämmönsiirtoneste siirretään runkoputkea pitkin asuinalueelle, jossa se jaetaan jakokaivojen välityksellä loppukäyttäjien maalämpöpumpuille. Maalämpöpumpulta tuleva viilennyt lämmönsiirtoneste palautetaan jakokaivoon ja paluuputkeen, josta se kulkeutuu takaisin lämmönlähteeseen lämpiämään. Matalaenergiaverkon ja normaalin maalämmön erona on se, että normaalissa maalämmössä jokaisella maalämpöpumpulla on oma lämpökaivo tai muu lämmönlähde. Matalaenergiaverkossa taas kaikilla maalämpöpumpuilla on sama lämmönlähde tai lämmönlähteet. Matalaenergiaverkon käyttö mahdollistaa myös tilojen viilentämisen. (Mateve 2011.)

Lämpöpumpun tehokerroin eli saatavan lämmön ja lämpöpumpun käyttämän tehon suhde määräytyy useista tekijöistä, joihin voidaan vaikuttaa hyvällä suunnittelulla. Tärkeimpänä tekijänä voidaan pitää höyrystimen ja lauhduttimen lämpötiloja. Lauhduttimen lämpötila tulisi olla mahdollisimman alhainen, jolloin kompressorin tekemä työ pienenee. Usein käytettyjä vaihtoehtoja ovat lattialämmitys ja suora ilmalämmitys. Perinteisten pattereiden käyttö vaatisi suurempaa lämpötilaa pienen lämmönluovutuspinna-ala vuoksi. Lämmönlähteen lämpötila tulisi olla mahdollisimman korkea ja höyrystimen pinta-ala niin suuri, että höyrystimen lämpötila on lähellä lämmönlähteen lämpötilaa. Hyviä lämmönlähteitä ovat näin ollen jätevedet, poistoilma, maaperä ja vesistöt. (Seppänen 2001, 279 ja 389.) Esimerkiksi Vaasan asuntomessualueelle vuonna 2008 rakennetun 234 m² kokoisen omakotitalon laskettu lämpöpumpun tehokerroin on 3,4. Kyseinen kohde on liitetty matalaenergiaverkkoon, jossa lämmönkeruu on toteutettu Refla-keräinputkilla ja lämmönlähteenä toimii Suvilahden pohjasedimentti. (Mateve 2010.)

Kymälahden kohteessa matalaenergiaverkon lämmönlähteenä toimisi Immalanjärven pohjakerros. Lämmönkeruu järven pohjasta voitaisiin toteuttaa Mateve Oy:n Refla keruuputkistolla. Vastaavanlainen toteutus on tehty Vaasan Suvilahteen, jossa rakennuttajana toimi Vaasan Ekolämpö Oy. Keruuputket porattaisiin rannalta järven pohjakerrokseen usean metrin syvyyteen rinnakkain siten, että ylhäältä katsottuna keruuputket muodostavat viuhkamaisen kuvion. Putkien välinen kulma ylhäältä katsottuna olisi noin 10°. Vaasan Ekolämmöstä ehdotettiin, että putket voisi porata eri syvyyksiin esimerkiksi siten, että osa keruuputkien päistä olisi 5 m pohjan alapuolella osa 7 metriä jne. Todellinen asennussyvyys mitoitetaan kuitenkin siten, että järven pohja ehtii lämmitä kesäisin normaaliin lämpötilaan. Lisäksi Ekolämmöstä ehdotettiin, että osa keruuputkista voidaan asentaa pystykaivoina kallioon, jolloin saadaan hajautettua lämmönlähteitä. Poraus kustannukset ovat likimain samat pystykaivossa ja vaakaporauksessa. Rannalta lähtevät verkoston meno- ja paluuputket sekä talojen väliin tulevat jakokaivot asennetaan yhdessä muun kunnallistekniikan kanssa. Lisäksi verkosto kannattaa rakentaa hieman paineellisena, jolloin ilmaongelmia esiintyy harvemmin. (Ekolämpö 2010.) Tässä esitelty tapa on periaatteellinen toteutustapa matalaenergiaverkolle ja ratkaisun todellinen tapa tulee selvittää tapauskohtaisesti matalaenergiaverkon suunnittelijan kanssa.



Kuva 3. Mateve Oy:n prosessikaavio hankinnasta kaava-alueilla.

Vaasan Suvilahdessa keruuputkia on noin 8 km ja lämmitettävää pinta-alaa noin 10 000 m² eli keruuputkien ja lämmitettävän pinta-alan suhteeksi muodostuu 0,8 m/m². Samalla keruuputkien ja lämmitettävän pinta-alan suhteella Kymälahdessa keruuputkiston pituudeksi muodostuisi noin 4,2 km. Keruuputket voivat olla jopa 300 metriä pitkiä, jolloin pohjaan asennettaisiin 13-14 keruuputkea. Oletuksena on, että alueella on 26 kpl niin sanottuja normitaloja, joiden keskimääräinen pinta-ala on 200m². Luvut ovat suuntaa antavia, joten tarkat mittaukset ja mitoitus tulee tehdä matalaenergiaverkon suunnittelijan kanssa.

Matalaenergiaverkon lämmön keruu ja jakopiiri on suljettu eli sama neste ei kierrä rakennuksen sisällä ja järven pohjassa. Matalaenergiaverkkoon liitetyissä maalämpöpumpuissa on kiertopumput, jotka kierrättävät lämmönsiirtonestettä matalaenergiaverkossa. Näin verkon rakennuttajan ei tarvitse investoida omia pumppuja kierrättämään lämmönsiirtonestettä ja lämmönsiirtonesteen kierrättämisestä aiheutuvat kustannukset siirtyvät käyttäjälle.

Keräinputkien asentaminen järven pohjaan voi vaikuttaa rannan virkistyskäyttöön, mikäli putket joudutaan asentamaan lähelle pohjan pintaa. Asennussyvyys riippuu taas mitoituksesta ja olosuhteista, joten tässä vaiheessa on vaikea arvioida keruuputkiston vaikutuksia rannan virkistyskäyttöön. Vaasan Suvilahdessa ei ole vielä tutkittu keruuputkiston vaikutuksia pohjan kasvustoon ja eliöstöön, mutta lämpötilanmuutokset keruuputkien ympärillä ovat kuitenkin melko pieniä ja rajoittuvat pienelle alueelle

(Ekolämpö, 2010). Pienet lämpötilaerot ja rajoittuminen pienelle alueelle viittaisivat siihen, että keruuputket eivät olennaisesti vaikuta pohjan ekosysteemiin.

3.2 Maakaasu

Suomessa käytettävä maakaasu sisältää 98 % metaania (CH₄), 1 % muita hiilivetyjä ja vajaa 1 % typpeä. Maakaasu on lähes rikitön polttoaine, jonka suuresta vetypitoisuudesta johtuen sen savukaasuissa on enemmän vettä ja vähemmän hiilidioksidia kuin muiden fossiilisten polttoaineiden savukaasuissa. Maakaasua voidaankin pitää ympäristöystävällisenä polttoaineena, jolla on korkea lämpöarvo 36 MJ/m³ eli 10 kWh/m³. (Seppänen 2001, 321.)

Maakaasun käyttö rakennusten lämmityksessä perustuu Suomessa yleensä kattilapolttoon, jossa kuumat savukaasut lämmittävät lämmönsiirtimen välityksellä sekundaaripiirin kiertovettä, jota taas voidaan käyttää tilojen ja käyttöveden lämmitykseen. Etuna muihin polttokattiloihin verrattuna on se, että maakaasua voidaan polttaa kondenssikattiloissa, jolloin savukaasujen lämpötila laskee niin alas, että savukaasun sisältämä vesihöyry kondensoituu. Tällä menetelmällä päästään jopa 105 % hyötysuhteisiin. Muilla polttoaineilla, esimerkiksi öljyllä, savukaasun kondensoituminen aiheuttaisi syöpymisriskin polttoaineen sisältämän rikin vuoksi. Lisäksi maakaasukattiloista voidaan helposti erottaa oma laitteisto käyttöveden lämmitykselle. (Seppänen 2001, 323-324 ja 326-327.)

Kondenssikattilan käyttöä kuitenkin rajoittaa se, että kondenssiosalle tulevan paluuv veden lämpötila tulee olla alle 40 °C. Joissain tilanteissa lämmitysverkoston paluuveteen ei voida siirtää kondenssiosan lämpöä, mutta tällöinkin kondenssiosan lämpöä voidaan hyödyntää käyttöveden lämmityksessä ja palamisilman esilämmityksessä. (Seppänen 2001, 326-327.) Kondenssikattilasta on kehitetty myös malli, johon on mahdollista liittää aurinkokeräimiä käyttöveden lämmitystä varten (Imatran Lämpö 2010).

Moduulikattiloissa on 150-200 litran säiliö, jota pidetään 70-80 °C lämpötilassa. Lämmitysverkoston menoveden lämpötilaa säädetään sekoittamalla kattilan- ja

paluuverkoston vettä keskenään. Käyttöveden lämmitykselle on oma lämmityskierukkansa. Koska kattila lämmittää myös käyttövettä, on sen käyttö jatkuvaa myös lämmityskauden ulkopuolella, mikä laskee kattilan hyötysuhteen noin 85 %:iin. Omakotitaloihin soveltuvat moduulikattilat ovat kooltaan jääkaappi-pakastimen kokoisia ja ne voidaan sijoittaa sisätiloihin, mikäli niiden teho on alle 20 kW. (Seppänen 2001, 326.)

Matalalämpötilakattiloissa kattilavesi lämmitetään vain 50-55 °C:een. Alhaiset savukaasujen lämpötilat ja pienemmät säteily- sekä johtumishäviöt parantavat hyötysuhdetta, jolloin hyötysuhteeksi muodostuu noin 90 %. Kattilaveden lämpötilaa säädetään lämmitysverkoston menolämpötilan mukaan. Alhainen kattilaveden lämpötila johtaa siihen, että käyttöveden lämmittäminen vaatii lisälämmittimen tai lämminvesivaraajan. Matalalämpötilakattilat ovat kokoluokaltaan astianpesukoneen kokoisia. (Seppänen 2001, 326.)

Maakaasun käytölle Kymälähdessä on hyvät edellytykset jo olemassa olevan maakaasun jakeluputken vuoksi. Jotta kaikki uuden asuinalueen pientalot saadaan liitettyä maakaasuverkkoon, tarvitsee uusia katujohdot rakentaa vain 500 – 600 metriä (kts s. 22).

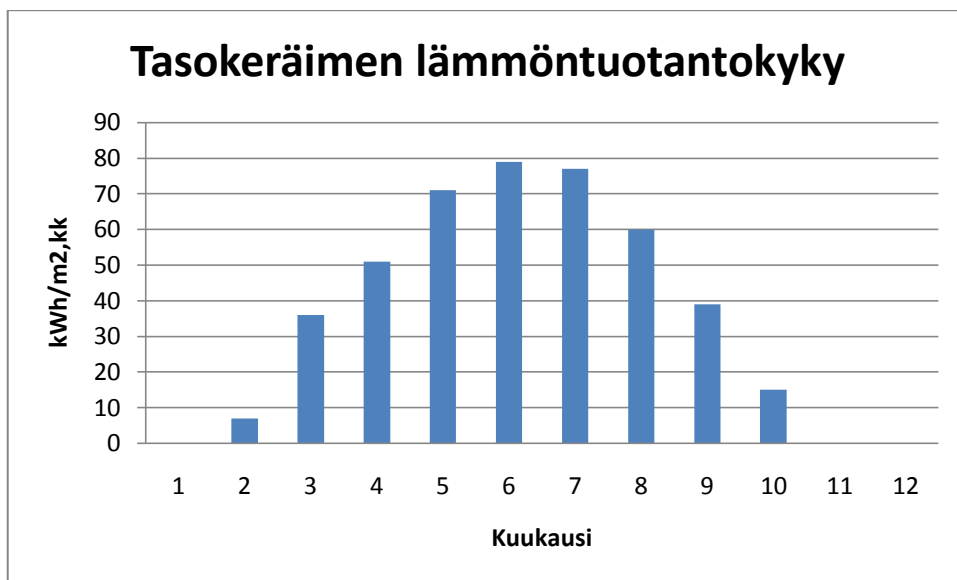
3.4 Aurinkoenergia

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää kiinteistöjen lämmityksessä passiivisesti ja aktiivisesti. Passiivinen hyödyntäminen tarkoittaa käytännössä tilojen lämmittämistä rakennusteknisillä ratkaisuilla, kuten ikkunoiden suuntaamisella. Aktiivinen lämmittäminen tarkoittaa käytännössä auringon säteilyn hyödyntämistä lisälaitteilla kuten aurinkokeräijällä. Ongelmallista aurinkoenergian hyödyntämisessä on se, että lämmitysenergiaa tarvitaan silloin, kun aurinko paistaa vähiten. Lisäksi Suomen kylmä ilmasto aiheuttaa aktiivisen lämmityksen osalta helposti yhtä paljon lämpöhäviöitä kuin on saatu talteen auringon säteilyenergiaa. (Seppänen 2001, 335.)

Erilaisia aktiivisia aurinkokeräijiä ovat mm. nestekiertoinen tasokeräin, ilmakiertoinen tasokeräin ja tyhjiöputkikeräijät. Yleisin käytössä oleva aurinkokeräin on nestekiertoinen tasokeräin, jossa auringonsäteily lämmittää mustaa absorptiolevyä, joka on pinnoitettu

esimerkiksi selektiivisellä lasilla. Absorptiolevyn ja katteen välissä voi olla myös teflon kalvo ja keräin on lämpöeristetty absorptiolevyn alapuolelta. Keräimen sisällä olevien putkien sisällä kiertää vesi tai vesi-glykoliseos, johon lämpö siirtyy. Aurinkokerääjässä lämpiävä kiertoneste siirretään suoraan lämmitysjärjestelmään tai lämpövarastoon. Talteen saatu energia riippuu kerääjän pinta-alasta, joka tulee olla myös oikeassa suhteessa lämmöntarpeeseen. (Seppänen 2001, 338-339.)

Tasokerääjän hyötysuhde on parhaimmillaan, kun keräajaan tulevan lämmönsiirtonesteen lämpötila on alhainen. Tämän vuoksi taloudellisimmat kerääjät ovatkin tarkoitettu käyttöveden lämmittämiseen. (Seppänen 2001, 343.)



Kuva 4. Selektiivisen etelään suunnatun nestekiertoisen tasokeräimen lämmöntuotto Helsingissä. Luvut eivät sisällä putkiston ja varaajan häviöitä. (Seppänen, 2001, 342.)

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää Kymälahdessa lähinnä käyttöveden lämmitykseen tasokerääjillä tai tyhjiöputkikerääjillä. Jos oletetaan Kymälahdessa auringosta saatavan lämmitysenergian olevan likimain samaa luokkaa kuin Helsingissä (kuva 1) ja putkiston sekä varaajan lämpöhäviöitä ei oteta huomioon, niin 200 m² kokoisessa omakotitalossa voidaan noin 7 m² kokoisella selektiivisellä tasokerääjällä tuottaa 50 % koko vuoden käyttöveden lämmityksen energiantarpeesta.

4 LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN KUSTANNUSTEN LASKENTA JA TULOKSET

Käyttäjälle lämmitysjärjestelmien kustannuksien vertailussa tarkasteluajanjaksoksi on valittu 15 ja 25 vuotta. 15 vuotta oletetaan laina-ajaksi, jonka korko on 3 %. 25 vuoden aikana oletetaan huolto- ja uusimiskustannukset merkityksettömiksi. Investointikustannuksissa on otettu huomioon eri talokonseptien kustannuserot sekä lämmitysjärjestelmän kustannukset lukuun ottamatta lämmönjakotapaa, joka oletetaan olevan kaikissa ratkaisuissa sama. Maakaasukattiloiksi valittiin vertailuun kondenssikattilat Imatran kaupungin ohjeistuksen mukaan. Lämmitysenergian kustannukset on laskettu kahdella eri hinnalla 25 vuoden tarkastelujaksolle. Korkeampi energian hinta on maltillinen arvio energian hinnan noususta ja tällä arviolla pyritään osoittamaan, mihin lämmitysmuotoon energian hinnan nousulla on pienin vaikutus. Maakaasu- ja matalaenergiaverkoille on selvitetty investointikustannukset ja investointien takaisinmaksuajat.

4.1 Menetelmät

Lämmitysjärjestelmien kustannusvertailussa käytetään kullekin rakennuskonseptille ominaista lämmitysenergiankulutusta, joka on saatu vähentämällä lämmitysenergian tarpeesta lämmityskauden aikana hyväksi saatavat ilmaisenergiat (kts. kappale 2.3).

Vuotuiset maakaasun käytöstä aiheutuvat lämmitysenergiakustannukset on laskettu yhtälön (1) avulla.

$$K_{energia,mk} = \frac{Q_{lämmitys}}{\mu_{kattila}} H_{maakaasu} \quad (1)$$

missä	$K_{energia, mk}$	vuotuinen lämmitysenergiakustannus	[€/a]
	$Q_{lämmitys}$	vuotuinen lämmitysenergiankulutus	[kWh/a]
	$\mu_{kattila}$	kattilan hyötysuhde	[-]
	$H_{maakaasu}$	maakaasun kuluttajahinta	[€/kWh]

Vuotuisen matalaenergiaverkon käytöstä aiheutuvat lämmityskustannukset on laskettu yhtälön (2) avulla.

$$K_{energia,mev} = \frac{Q_{lämmitys}}{COP} H_{sähkö} + A H_{em} \quad (2)$$

missä	$K_{energia, mev}$	vuotuinen lämmitysenergiakustannus	[€/a]
	$Q_{lämmitys}$	vuotuinen lämmitysenergiankulutus	[kWh/a]
	COP	lämpöpumpun vuositehokerroin	[-]
	$H_{sähkö}$	sähkön kuluttajahinta	[€/kWh]
	A	lämmitettävien tilojen pinta-ala	[m ²]
	H_{em}	matalaenergiaverkon käyttömaksu	[€/m ²]

Kustannukset 15 vuoden ajalta on laskettu yhtälön (3) avulla.

$$K_{15} = (I_{eristys} + I_{lämmitysjärj}) a_{15,0.03}^{15} + K_{energia} 15 \quad (3)$$

missä	K_{15}	kustannukset 15 vuodelta	[€]
	$I_{eristys}$	eristämisen lisäkustannus	[€]
	$I_{lämmitysjärj}$	lämmitysjärjestelmän investointikustannus	[€]
	$a_{n,i}$	annuiteettitekijä	[-]
	$K_{energia}$	vuotuinen lämmitysenergiakustannus	[€/a]

Kustannukset 25 vuoden ajalta on laskettu yhtälön (4) avulla.

$$K_{25} = (I_{eristys} + I_{lämmitysjärj}) a_{15,0.03}^{25} + K_{energia} 25 \quad (4)$$

missä	K_{25}	kustannukset 25 vuodelta	[€]
	$I_{eristys}$	eristämisen lisäkustannus	[€]
	$I_{lämmitysjärj}$	lämmitysjärjestelmän investointikustannus	[€]
	$a_{n,i}$	annuiteettitekijä	[-]
	$K_{energia}$	vuotuinen lämmitysenergiakustannus	[€/a]

Matalaenergiaverkon rakentamisen investointikustannukset on laskettu yhtälön (5) avulla.

$$I_{mev} = I_{talo} n_{talo} \quad (5)$$

missä	I_{mev}	matalaenergiaverkon investointikustannus	[€]
	I_{talo}	talokohtainen investointikustannus	[€/talo]
	n_{talo}	verkkoon liitettävien talojen lkm	[-]

Matalaenergiaverkon takaisinmaksuaika on laskettu nykyarvomenetelmällä. Vuosittaiset tulot kerrotaan kunkin vuoden diskonttaustekijällä, jonka jälkeen diskonttatut tulot lisätään kumulatiiviseen summaan. Vuosi, jolloin kumulatiivinen summa on yhtä suuri investoinnin kanssa, on takaisinmaksuaika. Nykyarvomenetelmää on käytetty myös tasokerääjien lukumäärän optimoinnissa, jossa lyhimmän takaisinmaksuajan saanut tasokeräinlukumäärä on taloudellisesti optimaalisin. Laskelmissa on huomioitu, että kesäisin tasokeräimien tuotto on suurempi kuin lämmitysenergian tarve. Tämä tarkoittaa sitä, että kesäisin kaikkea tasokeräimien tuottamaa lämpöä ei saada hyödyksi, jolloin suurin mahdollinen kuukaudessa hyödyksi saatu lämmitysenergia on yhtä suuri kuin käyttöveden lämmityksen energiankulutus.

4.2 Matalaenergia- ja passiivitalon kustannusero verrattuna normitaloon

Matalaenergia- ja passiivitalon lisäkustannukset verrattuna normitaloon johtuvat pääasiassa paksummista eristeistä sekä kalliimmista LTO-laitteista. RIL 249-2009 julkaisussa sivulla 77 on arvioitu matalaenergiatalon lisäkustannukseksi 2-3 % ja passiivitalon 3-4 % verrattuna normitalo2008. Oletetaan lisäkustannusten olevan 200 m² kokoisessa pientalossa samaa luokkaa verrattuna normitalo2012:een, jonka hinnaksi arvioidaan 300 000 €. Tällöin lisäkustannus matalaenergiatalolle olisi 6 000 – 9 000 € ja passiivitalolle 9 000 – 12 000 € verrattuna normitaloon. Saman julkaisun sivulla 269 on kuitenkin esitelty passiivitalo kohde, jonka lisäkustannukseksi on laskettu 5 %. Tämä tarkoittaisi 15 000 € lisäkustannusta. Laskelmissa käytetään matalaenergiatalolle lisäkustannuksena 9 000 € ja passiivitalolle 15 000 €.

4.3 Kustannukset matalaenergiaverkon ja maakaasuverkon rakennuttajalle

Matalaenergiaverkon rakentamiskustannukset muodostuvat pääasiassa keruuputkiston ja jakokaivojen rakentamisesta. Mateve Oy:n arvion mukaan investointi on noin 6000-7000 €/talo asunnoille, joiden lämmitystehontarve on 7,5-8 kW. Teho vastaa alle 200 m² kokoista omakotitaloa, joka on rakennettu vuoden 2010 rakentamismääräyskokoelman mukaisesti (Mateve 2010a). Vaasan Suvilahteen toteutettu matalaenergiaverkosto maksoi enemmän kuin Mateve Oy:n arvio, mutta Vaasan Ekolämpö Oy:n mukaan kohteessa tehdyt virheet välttämällä investointikustannukset olisivat olleet arviolta yhteensä noin 350 000€. Kohteessa oli alun perin 43 pientaloa, joten virheet välttämällä talokohtaiset investointikustannukset olisivat olleet noin 8100 €.

Suvilahdessa arvonlisäveroton talokohtainen liittymismaksu on 1500 € ja energiamaksu 2,5 €/m². Samanlaisen käytännön toteuttaminen Kymälahdessa tarkoittaisi 26 pientalon kohdalla noin 210 000 € investointia, jonka koroton takaisinmaksuaika olisi noin 13 vuotta. Vastaavasti 3 % laskentakorolla takaisinmaksuajaksi muodostuu noin 17 vuotta. Oletuksena on, että puolet pientaloista liittyy verkkoon 1. vuonna ja loput 2. vuonna sekä talojen keskimääräisen pinta-alan oletetaan olevan 200 m². Verkon ylläpitäjälle ei muodostu käytön aikaisia kustannuksia tarkastuskäyntejä lukuun ottamatta, mikäli verkko on huolellisesti suunniteltu, mitoitettu ja rakennettu.

Suuremmalla 5 % laskentakorolla takaisinmaksuaika nousee yli 22 vuoteen. 10 % arvioitua suuremmalla investointikustannuksella eli 8910 €/talo ja 3 % laskentakorolla takaisinmaksuajaksi muodostuu noin 20 vuotta.

Maakaasuverkon rakentamiskustannuksista ei ole tarkkoja tilastoja kuten esimerkiksi kaukolämpöverkosta, mutta tässä kohteessa katujohdosten investointikustannuksena voidaan käyttää 27 €/m. Kaikki katujohdot asennetaan yhdessä muun kunnallistekniikan kanssa. (Imatran Lämpö 2010.)

Maakaasuverkon pituus riippuu hyvin voimakkaasti katujen ja tonttien sijoituksesta alueelle, joten tässä vaiheessa voidaan tehdä alustava arvio investoinnille kaavojen luonnosten perusteella. Arvioidaan tarvittavien katujohtojen yhteenlasketuksi pituudeksi 500 – 600 metriä, jolloin katujohtojen investointikustannus on 13 500 – 16 200 €. Yhteensä investointikustannukset maakaasuverkolle Kymälähdessä ovat noin 55 000 € (Imatran Lämpö 2011).

Käytön aikaisia kustannuksia maakaasuverkossa muodostuu mm. tarkastuskäynneistä, mittausyksiköiden uusimisesta ja asiakkaiden häiriöilmoituksista. Käytön aikaiset kustannukset ovat kuitenkin vain noin 0,7 €/m (Imatran Lämpö 2010) vuodessa, jolloin 500 – 600 metrin verkoston vuosittaisiksi käyttökustannuksiksi muodostuu 350 – 420 €.

Maakaasuverkon takaisinmaksuaika 4,5 % tuotto-odotuksella on noin 6 vuotta olettaen, että kaikki Kymälähden 26 pientaloa liitetään maakaasuverkkoon ja maakaasun myynti alkaa toisena laskentavuotena. (Imatran Lämpö 2011.)

Alueellisesta näkökulmasta maakaasuverkon rakentaminen on Kymälähteen kannattavampaa lyhyemmän takaisinmaksuajan perusteella. Lisäksi maakaasuverkon investointikustannukset ovat matalaenergiaverkkoa huomattavasti pienemmät, noin neljäsosa matalaenergiaverkon investointikustannuksista.

4.4 Kustannukset käyttäjälle

Talon rakentaja eli käyttäjä säästää matalaenergiaverkon ansiosta investointikustannuksissa verrattuna normaaliin esimerkiksi lämpökaivoa lämmönlähteenä käyttävän lämpöpumpun valinneeseen henkilöön keruupiirin investoinnin verran. Käyttäjä maksaa keruupiirin investoinnin ns. energiamaksuna, joka määräytyy asunnon lämmitettävien neliöiden määrän perusteella. Näin keruupiirin investointi siirtyy käytön aikaisiin kustannuksiin.

Käyttäjälle muodostuu investointikustannukset matalaenergiaverkkoon soveltuvan lämpöpumppuyksikön hankinnasta ja asennuksesta aiheutuvista kuluista. Vaasan Ekolämmöstä suositeltiin, että kaikilla käyttäjillä olisi saman valmistajan

maalämpöpumput tai ainakin tarkat kriteerit maalämpöpumpun valinnalle, jolloin verkoston säätäminen on helpompaa. Maalämpöpumpuiksi Ekolämpö suositteli Suomen Lämpöpumpputekniikka Oy:n valmistamia Lämpöässä-maalämpöpumppuja. Edellä mainitun maalämpöpumpun hankintahinta on 200 m² kokoisessa normitalossa noin 7000 – 9500 € riippuen mallista ja asennustyö aiheuttaa arviolta noin 1000 – 2000 € kustannukset (Lämpötalo 2011). Liittymismaksu matalaenergiaverkkoon on 1845 € (sis. alv 23 %). Todellisuudessa on mahdollista, että matalaenergia- ja passiivitaloon voidaan asentaa pienempitehoiset ja halvemmat lämpöpumput.

Käytön aikaisia kustannuksia käyttäjälle muodostuu lämpöpumpun kuluttamasta sähköenergiasta ja matalaenergiaverkon ylläpitäjälle maksettavasta energiamaksusta. Huoltokustannukset on oletettu tarkasteluajanjaksolla pieniksi eikä niitä ole huomioitu laskelmissa. Lämpöässä-maalämpöpumpuissa käyttöveden lämmitys toteutetaan lämpöpumpun tulistuslämmöllä, jolloin erillistä sähkövastusta käyttöveden lämmitykseen ei tarvita. Vaasan Suvilahden matalaenergiaverkon käyttäjän kulutuksista lasketuksi tehokertoimeksi Lämpöässä-maalämpöpumpulle on saatu 3,4. Kustannusten muodostuminen käyttäjälle on esitelty taulukoissa 4 ja 5.

Taulukko 4. Lämmityskustannukset; maalämpöpumppu matalaenergiaverkossa.

Käyttäjä	normitalo	matalaenergiatalo	passiivitalo	
Tehokerroin	3,40	3,40	3,40	
Lämmitysenergiankulutus	19414	11641	7799	kWh/a
LP:n käyttämä sähkö	5710	3424	2294	kWh
Sähkön hinta (1)	0,13	0,13	0,13	€/kWh
Sähkö kustannus(1)	742	445	298	€/a
Sähkön hinta (2)	0,16	0,16	0,16	€/kWh
Sähkö kustannus(2)	928	556	373	€/a
Energiamaksu	500,00	500,00	500,00	€/a (alv0')
Alv23	615,00	615,00	615,00	€/a (alv23)
Yhteensä (1)	1357	1060	913	€/a (alv23)
Yhteensä (2)	1543	1171	988	€/a (alv23)

Taulukko 5. Kokonaiskustannukset; maalämpöpumppu matalaenergiaverkossa.

Kuluttajan näkökulma 200m ² kokoisessa pientalossa. Ei sisällä lämmönjakotapaa. Investoinnit rahoitettu annuiteettilainalla. Korko 3% ja laina-aika 15 vuotta.						
	Eristämisen lisäinvestointi	Maalämpöpumppu matalaenergiaverkossa Investointi	Käyttö €/a*	€/15v*	€/25v*	€/25v**
Normitalo2012	0	11345	1357	34615	48188	52827
Matalaenergiatalo50	9000	11345	1060	41465	52066	54848
Passiivitalo25	15000	11345	913	46801	55933	57797

*Energiankulutuksen kustannukset nykyhinnalla, sähkö 13 snt/kWh.
**Energiankulutuksen ja investointien kustannukset 25% energian hinnankorotuksella

Maakaasuverkon liittymismaksu on 1200 – 1500 € sisältäen johdot, mittaus- ja paineensäätöyksikön tarvikkeineen asennettuina (Imatran Lämpö, 2010). Oertli Optimat GVR 140-25 kondenssikattilan hinta on noin 5000 € ja asennustyö 1500 € (Gasum 2010; Ekp-Pekkarinen 2010). Maakaasua ja aurinkolämpöä hyväksi käyttävän kondenssikattilan hinta on noin 8000 € ilman aurinkokerääjiä. JVT-Energian SX 2.51-mallin tasokerääjien lukumääräksi optimoitiin 3 kpl. Kerääjien yhteenlaskettu absorptioala on noin 7 m². Kerääjien ja niiden telineiden hinnaksi muodostui yhteensä 1810 €. Kerääjien asennustyön kustannuksia ei ole huomioitu. Kuten maalämpöpumpuissa myös maakaasukattiloissa on olemassa mahdollisuus, että matalaenergiataloon ja passiivitaloon voidaan asentaa pienempitehoiset ja halvemmat vaihtoehdot.

Käytön aikaisia kustannuksia muodostuu pääasiassa maakaasun kulutuksesta. Huoltokustannukset on oletettu tarkasteluajavälillä pieniksi eikä niitä ole otettu laskelmissa huomioon. Kustannusten muodostuminen käyttäjälle on esitelty taulukoissa 6, 7 ja 8.

Taulukko 6. Lämmityskustannukset; maakaasulämmitys ja maakaasu- ja aurinkolämmityksen yhdistelmä.

Käyttäjä	normitalo	matalaenergiatalo	passiivitalo	
Hyötysuhde	1,06	1,06	1,06	
Lämmitysenergiankulutus	19414	11641	7799	kWh/a
Lämmityksen kuluttama kaasu	18315	10982	7358	kWh/a
-condens+aurinko	15750	8417	4793	kWh/a
Maakaasun hinta(1)	0,074	0,074	0,074	€/kWh
Maakaasun kustannus(1)	1355	813	544	€/a
-condens+aurinko(1)	1166	623	355	€/a
Maakaasun hinta(2)	0,093	0,093	0,093	€/kWh
Maakaasun kustannus(2)	1694	1016	681	€/a
-condens+aurinko(2)	1457	779	443	€/a

Taulukko 7. Kokonaiskustannukset; maakaasulämmitys.

Kuluttajan näkökulma 200m ² kokoisessa pientalossa. Ei sisällä lämmönjakotapaa. Investoinnit rahoitettu annuiteettilainalla. Korke 3% ja laina-aika 15 vuotta.						
	Eristämisen lisäinvestointi	Maakaasulämmitys Investointi	Käyttö €/a*	€/15v*	€/25v*	€/25v**
Normitalo2012	0	8000	1355	30382	43935	52406
Matalaenergiatalo50	9000	8000	813	33551	41678	46757
Passiivitalo25	15000	8000	544	37067	42512	45915

*Energiankulutuksen kustannukset nykyhinnalla, maakaasu 7,4 snt/kWh
**Energiankulutuksen ja investointien kustannukset 25% energian hinnankorotuksella

Taulukko 8. Kokonaiskustannukset; maakaasun- ja aurinkolämmön yhdistelmä.

Kuluttajan näkökulma 200m ² kokoisessa pientalossa. Ei sisällä lämmönjakotapaa. Investoinnit rahoitettu annuiteettilainalla. Korke 3% ja laina-aika 15 vuotta.						
	Eristämisen lisäinvestointi	Maakaasun ja aurinkolämmön yhdistelmä Investointi	Käyttö €/a*	€/15v*	€/25v*	€/25v**
Normitalo2012	0	12810	1166	33579	45234	52518
Matalaenergiatalo50	9000	12810	623	36747	42976	46869
Passiivitalo25	15000	12810	355	40263	43810	46027

*Energiankulutuksen kustannukset nykyhinnalla, maakaasu 7,4 snt/kWh
**Energiankulutuksen ja investointien kustannukset 25% energian hinnankorotuksella

Laskelmat osoittavat, että edullisin ratkaisu nykyisellä energianhinnalla ja 15 vuoden aikajaksolla on normitalo maakaasulämmityksellä. Nykyhinnalla ja 25 vuoden laskentajaksolla edullisin ratkaisu on matalaenergiatalo maakaasulämmityksellä. Korkeammalla energian hinnalla ja 25 vuoden laskentajaksolla edullisimmaksi ratkaisuksi muodostuu passiivitalo maakaasulämmityksellä. Kustannusten valossa on maakaasu lämmitysmuotona tällä tarkastelumenetelmällä edullisin ratkaisu vertailtavista

lämmitysmuodoista. Vuosittainen kustannusten kertyminen kullekin lämmitysmuodolle eri talokonsepteissa on havainnoitu kuvaan 5.

Aurinkokeräimien liittäminen maakaasulämmitykseen pienentää vuosittaisia lämmityskustannuksia, mutta suurempi investointi aiheuttaa suuremmat lainanhoitokulut verrattuna pelkkään maakaasulämmitykseen. Tämä johtaa siihen, että nykyhinnalla aurinko- ja maakaasulämmityksen yhdistelmä on kalliimpi kuin pelkkä maakaasulämmitys. Korkeammalla energian hinnalla ja 25 vuoden laskentajaksolla erot näiden kahden lämmitysmuodon kustannuksissa ovat olemattomat.

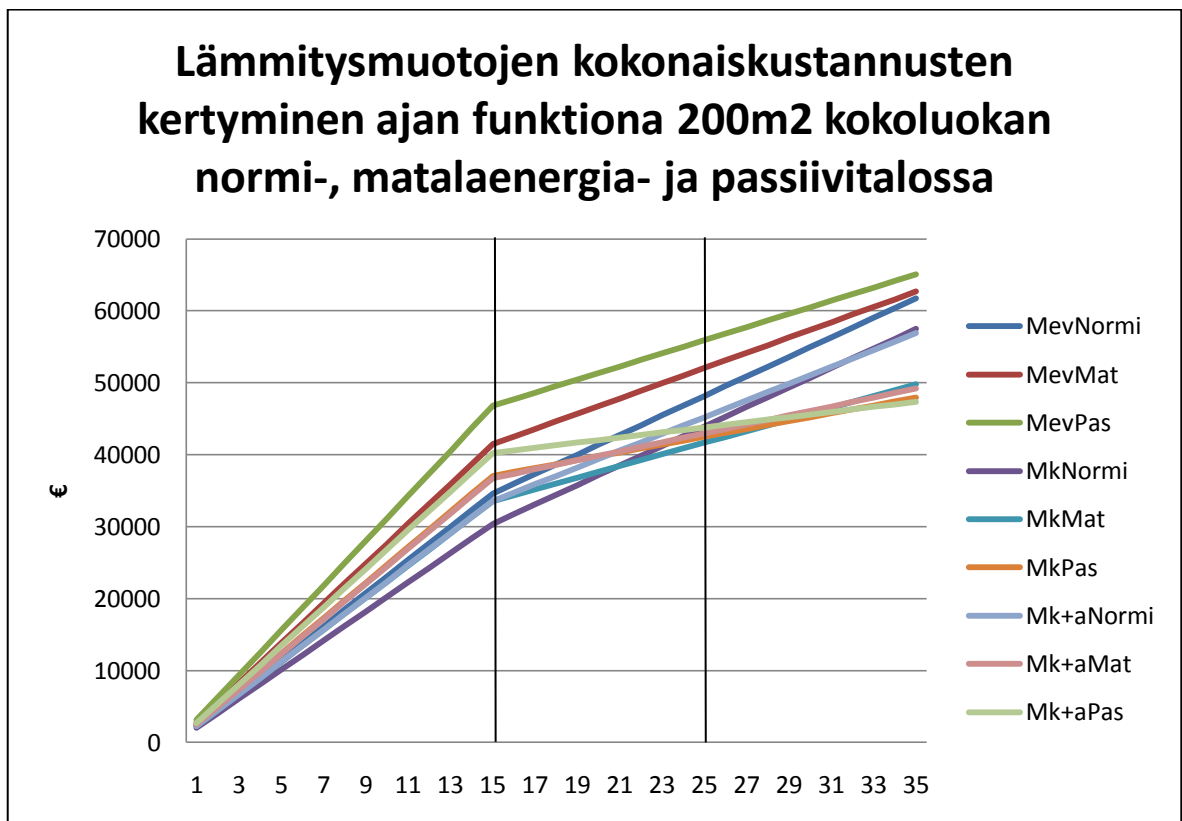
Matalaenergiaverkkoon liitetty maalämpöpumppu on investointikustannuksiltaan ja nykyisellä energianhinnalla käyttökustannuksiltaan kalliimpi lämmitysmuoto kuin maakaasulämmitys kaikissa talokonsepteissa sekä 15 että 25 vuoden laskentajaksolla. Normitalossa korkeammalla energianhinnalla ja 25 vuoden laskentajaksolla ero näiden kahden lämmitysmuodon välillä on pieni.

Matalaenergiaverkkoon liitetty maalämpöpumppu on aurinko- ja maakaasulämmityksen yhdistelmään verrattuna investointikustannuksiltaan hieman pienempi. Aurinko- ja maakaasulämmityksen yhdistelmän pienemmät käyttökustannukset aiheuttavat kuitenkin sen, että ko. lämmitysmuoto on 15 ja 25 vuoden laskentajaksolla edullisempi vaihtoehto niin nykyisellä kuin myös korkeammalla energian hinnalla. Tosin ero normitalossa korkeammalla energianhinnalla ja 25 vuoden laskentajaksolla näiden kahden lämmitysmuodon välillä on olematon.

Aurinkokeräimien kannattavuus riippuu hyvin paljon lämpimän käyttöveden kulutuksesta, koska aurinkolämpöä hyödynnetään pääasiassa käyttöveden lämmitykseen. Käyttöveden kulutus on tässä työssä laskettu 4 henkilölle, joten suuremman perheen kulutuksella aurinkokeräimien kannattavuus olisi parempi kuin tässä työssä. Tässä työssä ei myöskään huomioida, että todellisuudessa aurinkokeräimien käyttöä voitaneen hyödyntää myös esimerkiksi kosteiden tilojen lattialämmityksessä, jolloin kesäisin saadaan enemmän lämpöä hyödyksi. Myös edellä mainittu seikka parantaa aurinkokeräijien kannattavuutta.

Toisaalta laskelmat eivät sisällä varaajan ja siirtojohtojen lämpöhäviöitä, jotka luonnollisesti huonontavat ratkaisun kannattavuutta.

Eri lämmitysmuodoista matalaenergiaverkkoon liitetty maalämpöpumppu suojaa parhaiten energian hinnan nousua vastaan ja eri talokonsepteista passiivitalo suojaa parhaiten energian hinnan nousua vastaan. Suurin vaikutus energian hinnan nousulla on maakaasulämmitykseen ja normitaloon.



Kuva 5. Lämmitysmuotojen kustannusten kertyminen nykyisellä energian hinnalla. Alkuinvestoinnit on siirretty vuotuisiin kustannuksiin lainan lyhennyksenä. Kuva löytyy suurempana liitteestä III sivulta 1.

Mev	Maalämpöpumppu matalaenergiaverkossa
Mk	Maakaasu
Mk+a	Maakaasu- ja aurinkolämmityksen yhdistelmä
Normi	Normitalo2012
Mat	Matalaenergiatalo
Pas	Passiivitalo

5 PRIMÄÄRIENERGIAN KULUTUKSEN JA HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖJEN LASKENTA SEKÄ TULOKSET

Erilaisten rakennuskonseptien ja lämmitysmuotojen ekologisuutta on vertailut tässä työssä vuotuisilla hiilidioksidipäästöillä ja primäärienergiankulutuksella. Kulutukset ja päästöt on rajattu koskemaan nimenomaan lämmitystä.

5.1 Menetelmät ja kertoimet

Sähkön primäärienergiakerroin riippuu sähkön tuotantotavasta, mutta vakiintuneena käytäntönä on, että sähkön primäärienergiakertoimenä käytetään koko markkina-alueen, esimerkiksi Suomen, laskennallista primäärienergiakerrointa (Bröcl et al. 2010). Primäärienergia tarkoittaa energiaa, joka on ensimmäistä kertaa siinä tilassa, että sitä voidaan hyödyntää energianlähteenä. Esimerkiksi raakaöljy, maakaasu ja hiili ovat primäärienergian lähteitä. Tässä työssä käytetty primäärienergiakerroin kuvaa primäärienergian kulutuksen ja siitä tuotetun energian suhdetta. Työssä käytetyt kertoimet eivät ota huomioon jalostuksen ja kuljetuksen energian kulutusta eikä niistä aiheutuvia CO₂-päästöjä, koska niihin liittyy merkittäviä epävarmuustekijöitä. Maakaasu on itsessään primäärienergiaa, jolloin sen primäärienergiakerroin on 1. Suomessa tuotetun sähkön keskimääräinen primäärienergiakerroin on 2.21. Hiilidioksidin ominaispäästökerroin maakaasulle on 0,198 kg_{CO2}/kWh ja sähkölle 0,269 kg_{CO2}/kWh. (Keto 2010, 23, 6, 3 ja 4.). Oletetaan aurinkokeräimistä saatavan energian olevan primäärienergiaa, jolloin aurinkolämmön primäärienergiakertoimeksi muodostuu myös 1.

Maakaasu- ja aurinkolämmityksen yhdistelmässä lasketaan vuotuiset hiilidioksidipäästöt vain maakaasun aiheuttaman primäärienergiankulutuksen perusteella, koska aurinkolämmityksen primäärienergiankulutuksesta ei aiheudu hiilidioksidipäästöjä.

Lämmitysmuotojen vuotuinen primäärienergiankulutus lasketaan yhtälön (6) avulla.

$$Q_{\text{primääri}} = \frac{Q_{\text{lämmitys}}}{\eta} P_{\text{primääri}} \quad (6)$$

missä	$Q_{\text{primääri}}$	vuotuinen primäärienergiankulutus	[kWh/a]
	$Q_{\text{lämmitys}}$	vuotuinen lämmitysenergiankulutus	[kWh/a]
	η	lämmitysjärjestelmän hyötysuhde	[-]
	$P_{\text{primääri}}$	lämmitysmuodon primäärienergiakerroin	[-]

Maalämpöpumpun primäärienergiankulutuksen laskemisessa käytetään lämmitysjärjestelmän hyötysuhteen tilalla maalämpöpumpun COP-kerrointa. Maakaasu- ja aurinkolämmityksen yhdistelmässä tulee erotella primäärienergiankulutus molemmille erikseen, jolloin hiilidioksidipäästöjen laskeminen helpottuu.

Lämmitysmuotojen vuotuiset hiilidioksidipäästöt lasketaan yhtälön (7) avulla.

$$CO_2 = Q_{\text{primääri}} P_{CO_2} \quad (7)$$

missä	CO_2	vuotuiset hiilidioksidipäästöt	[kg _{CO2} /a]
	$Q_{\text{primääri}}$	vuotuinen primäärienergiankulutus	[kWh/a]
	P_{CO_2}	hiilidioksidin ominaispäästökerroin	[kg _{CO2} /kWh]

5.2 Tulokset

Hiilidioksidipäästöjä muodostuu maakaasun poltosta ja maalämpöpumpun käyttämän sähkön tuotannosta. Primäärienergiaa kuluu maakaasun poltossa, maalämpöpumpun käyttämän sähkön tuotannossa ja käyttöveden lämmityksessä aurinkokeräimen avulla. Sähkölämmityksen osalta primäärienergiaa kuluu ja CO₂ päästöjä syntyy lämmitykseen tarvittavan sähkön tuotannossa. Kappaleen 5.1 yhtälöiden ja kertoimien sekä kappaleessa 2.3 lasketun lämmitysenergian kulutuksen perusteella on taulukoihin 9, 10 ja 11 laskettu lämmitysmuotojen primäärienergian kulutukset sekä hiilidioksidipäästöt.

Taulukko 9. Primäärienergian kulutus ja CO₂ päästöt; maalämpöpumppu matalaenergiaverkossa.

Käyttäjä	normitalo	matalaenergiatalo	passiivitalo	
Tehokerroin	3,4	3,4	3,4	
Lämmitysenergiankulutus	19414	11641	7799	kWh/a
LP:n käyttämä sähkö	5710	3424	2294	kWh
Primäärienergiakerroin	2,21	2,21	2,21	
Primäärienergian kulutus	12619	7567	5070	kWh
Ominaispäästökerroin	0,269	0,269	0,269	kg(CO ₂)/kWh
Hiilidioksidipäästöt	3395	2035	1364	kg(CO ₂)/a

Taulukko 10. Primäärienergiankulutus ja CO₂ päästöt; maakaasulämmitys sekä maakaasu- ja aurinkolämmityksen yhdistelmä.

Käyttäjä	normitalo	matalaenergiatalo	passiivitalo	
Hyötysuhde	1,06	1,06	1,06	
Lämmitysenergiankulutus	19414	11641	7799	kWh/a
Lämmityksen kuluttama kaasu(1)	18315	10982	7358	kWh/a
Lämmityksen kuluttama kaasu(2)	15750	8417	4793	kWh/a
Primäärienergiakerroin maak.	1,00	1,00	1,00	
Primäärienergian kulutus(1)	18315	10982	7358	kWh/a
Primäärienergian kulutus(2)	18469	11136	7512	kWh/a
-maakaasun osuus	15750	8417	4793	kWh/a
-aurinkolämmön osuus	2719	2719	2719	kWh/a
Ominaispäästökerroin maak.	0,1981	0,1981	0,1981	kg(CO ₂)/kWh
Hiilidioksidipäästöt(1)	3628	2176	1458	kg(CO ₂)/a
Hiilidioksidipäästöt(2)	3120	1667	949	kg(CO ₂)/a

(1) Maakaasulämmitys

(2) Maakaasu- ja aurinkolämmityksen yhdistelmä.

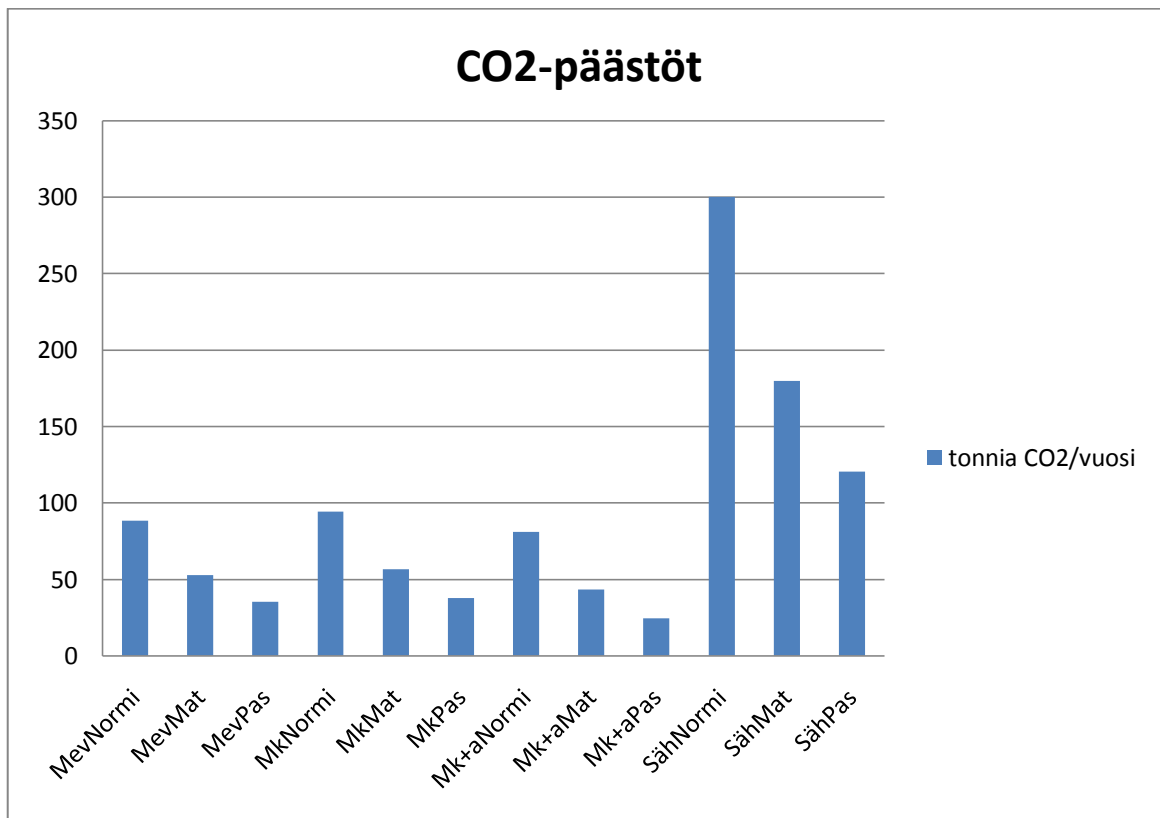
Taulukko 11. Primäärienergian kulutus ja CO₂ päästöt; sähkölämmitys.

Käyttäjä	normitalo	matalaenergiatalo	passiivitalo	
Lämmitysenergiankulutus	19414	11641	7799	kWh/a
Primäärienergiakerroin	2,21	2,21	2,21	
Primäärienergian kulutus	42906	25727	17237	kWh
Ominaispäästökerroin	0,269	0,269	0,269	kg(CO ₂)/kWh
Hiilidioksidipäästöt	11542	6921	4637	kg(CO ₂)/a

Laskelmat osoittavat, että alhaisimmat vuotuiset CO₂ päästöt syntyvät lämmitysmuotona maakaasun ja aurinkolämmön yhdistelmää käyttävissä pientaloissa. Pienin primäärienergiankulutus saavutetaan pientaloissa, joiden lämmitysmuotona on maalämpöpumppu matalaenergiaverkossa. Vaikka maakaasun ja aurinkolämmön yhdistelmän primäärienergiankulutuksessa huomioitaisiin vain maakaasun osuus, niin ko.

lämmitysmuoto saavuttaisi edelleen suuremman primäärienergiankulutuksen verrattuna maalämpöpumppuun matalaenergiaverkossa. Maakaasu ja aurinkolämmityksen yhdistelmän maakaasulämmitystä suurempi primäärienergiankulutus johtuu kondenssikattilan yli 100% hyötysuhteesta. Primäärienergiankulutuksen ja hiilidioksidipäästöjen vertailua varten tulokset on esitetty pylväsdiagrammeina kuvissa 6 ja 7.

Pelkällä sähköllä lämpiävässä pientalossa sekä primäärienergian kulutus että hiilidioksidipäästöt ovat moninkertaiset verrattuna muihin vertailussa oleviin lämmitysmuotoihin. Sähkölämmitteinen passiivitalo aiheuttaa enemmän hiilidioksidipäästöjä kuin normitalo muilla vertailun lämmitysmuodoilla ja primäärienergiankulutus on vain vähän maakaasulämmityksen sekä maakaasu- ja aurinkolämmityksen yhdistelmää pienempi. Tosin sähkölämmitteisen passiivitalon primäärienergiankulutus on maakaasu ja aurinkolämmitteistä normitaloa suurempi, mikäli maakaasu- ja aurinkolämmityksen yhdistelmästä huomioidaan vain maakaasun osuus.



Kuva 6. Vuotuiset CO₂ päästöt Kymälähdessä eri lämmitysmuodoilla normi-, matalaenergia- ja passiivitalossa.

Mev Maalämpöpumppu matalaenergiaverkossa

Mk Maakaasu

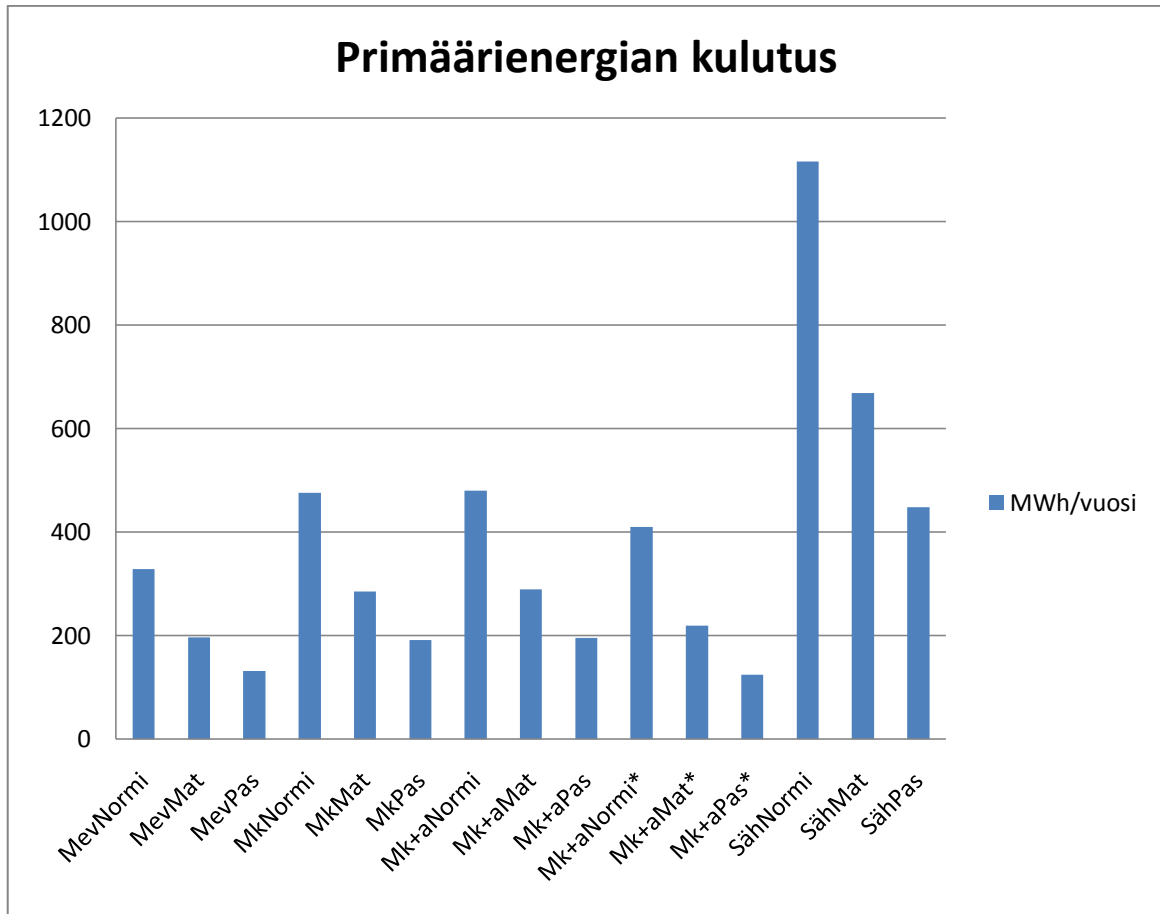
MK+a Maakaasu- ja aurinkolämmityksen yhdistelmä

Säh Sähkölämmitys

Normi Normitalo2012

Mat Matalaenergiatalo

Pas Passiivitalo



Kuva 7. Vuotuinen primäärienergiankulutus Kymälähdessä eri lämmitysmuodoilla normi-, matalaenergia- ja passiivitalossa.

Mev	Maalämpöpumppu matalaenergiaverkossa
Mk	Maakaasu
Mk+a	Maakaasu- ja aurinkolämmityksen yhdistelmä
Säh	Sähkölämmitys
Normi	Normitalo2012
Mat	Matalaenergiatalo
Pas	Passiivitalo
*	Maakaasun osuus primäärienergian kulutuksesta

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Edullisimman ja ekologisimman lämmitysmuodon valinta työssä esitettyjen laskelmien perusteella on hankalaa, koska pienemmät CO₂ päästöt ja pienemmät primäärienergiankulutukset tarkoittavat pientalon rakentajan ja käyttäjän osalta suurempia kustannuksia. Tämä johtaa siihen, että lämmitysmuodon valinnassa tulee päättää

annetaanko enemmän arvoa pienille kustannuksille vai ekologisuudelle. Toisaalta voidaan myös pohtia muita ratkaisujen valintaan vaikuttavia seikkoja. On kuitenkin huomioitavaa, että kaikki varsinaisessa vertailussa olevat lämmitysmuodot ovat CO₂-päästöjen ja primäärienergiankulutuksen perusteella huomattavasti ekologisempia vaihtoehtoja kuin yleisin pientaloissa oleva lämmitysmuoto eli sähkölämmitys.

Nykyisellä energian hinnalla maalämpöpumppu matalaenergiaverkossa soveltuu kustannuksien valossa lähinnä normitalon lämmitysratkaisuksi, koska kyseisen lämmitysmuodon kustannukset matalaenergia- ja passiivitalon kohdalla ovat suuremmat kaikilla tarkasteluajaväleillä verrattuna normitaloon. Tämän vuoksi matalaenergiaverkon rakentaminen voisi johtaa Kymälähdessä normitalojen rakentamiseen, koska matalaenergiaverkkoon olisi alueella ns. liittymispakko, jolloin myös matalaenergia- tai passiivitalon rakentajan olisi ko. verkkoon liityttävä. Maakaasuverkon rakentaminen ei sulkisi pois matalaenergia- ja passiivitalojen rakentamista, huolimatta myös maakaasuverkon liittymispakosta, koska maakaasu soveltuu kustannusten valossa niin normi-, matalaenergia- kuin passiivitalon lämmitysmuodoksi. Kuvista 6 ja 7 nähdään, että normitalot kuluttavat enemmän primäärienergiaa ja aiheuttavat suuremmat CO₂ päästöt kuin matalaenergia- ja passiivitalot, joten matalaenergia- ja passiivitalojen rakentamisen epäsuora rajoittaminen ei ole järkevää.

Maakaasuverkon rakentamisen huomattavasti pienemmät investointikustannukset, lyhyempi takaisinmaksuaika ja maakaasulämmityksen sekä maakaasu- ja aurinkolämmityksen yhdistelmän parempi soveltuvuus eri talokonsepteihin puoltaisivat maakaasuverkon rakentamista alueelle. Lämmitysmuotojen välillä ei ole suuria eroja hiilidioksidipäästöjen suhteen. Vain primäärienergiankulutus olisi pienempi pientaloissa, joiden lämmitysmuotona on maalämpöpumppu matalaenergiaverkossa. Mikään lämmitysmuodoista ei täytä työn molempia tavoitteita ollen edullisin ja ekologisin, mutta maakaasulämmitys sekä maakaasu- ja aurinkolämmityksen yhdistelmä täyttävät tavoitteet parhaiten. Näillä perusteilla Kymälähdessä maakaasuverkon rakentaminen näyttäisi olevan matalaenergiaverkon rakentamista parempi vaihtoehto.

Maakaasulämmityksen tai maakaasu- ja aurinkolämmityksen yhdistelmän valintaan ei voida samalla tavalla vaikuttaa alueellisella ratkaisulla kuten maakaasulämmityksen ja matalaenergiaverkkoa käyttävän maalämpöpumpun välillä. Valinta jääkin täysin pientalon rakentajalle. Maakaasulämmitys on nykyisellä energian hinnalla edullisempi vaihtoehto kuin maakaasu- aurinkolämmityksen yhdistelmä, mutta ei niin ekologinen. Maakaasu- ja aurinkolämmitykseen ei ole energian hinnan nousulla niin suurta vaikutusta kuin maakaasulämmitykseen. Kuten sivulla 32 mainittiin, tulee valinnassa huomioida antaako enemmän arvoa kustannuksille, ekologisuudelle tai kenties jollekin muulle valintaan vaikuttavalle seikalle ja tehdä ratkaisu sen perusteella.

On kuitenkin huomioitava, että edellä mainitut johtopäätökset pätevät vain tämän työn rajauksilla, lukuarvoilla ja nykyisellä energian hinnalla. Muutokset mm. kustannusrakenteissa, pientalojen lämmitysenergian kulutuksissa ja erityisesti energian hinnassa vaikuttavat laskentatuloksiin. Kuten aiemmin jo mainittiin, tässä työssä käytetty 25 % korkeampi energian hinta on maltillinen arvio energian hinnan noususta ja tätä arviota on käytetty lähinnä osoittamaan, mihin lämmitysmuotoon energian hinnan nousulla on pienin vaikutus. Tätä suurempi energian hinnan nousu parantaa erityisesti matalaenergiaverkon asemaa vertailussa. Vertailua ei voida myöskään käyttää suoraan muualla kuin Kymälähdessä, koska Kymälähdessä maakaasuverkon rakentamisedellytykset olivat poikkeuksellisen hyvät johtuen jo olemassa olevasta maakaasun jakeluputkesta.

7 YHTEENVETO

Työ tehtiin Imatran kaupungin tilaamana ja tavoitteena oli löytää edullisin ja ekologisin lämmöntuotantomuoto Kymälähden pientaloalueelle. Vertailussa olivat maakaasun-, maakaasun ja auringon yhdistelmän- sekä matalaenergiaverkon käyttö normi-, matalaenergia- ja passiivitalon lämmittämisessä. Kustannuksia vertailtiin alueellisesti maakaasuverkon ja matalaenergiaverkon investointien suuruudella ja takaisinmaksuaikojen pituudella. Pientalon rakentajalle ja käyttäjälle koituvat kustannukset laskettiin 15 ja 25 vuoden aikaväleille käyttäen 3% laskentakorkoa ja 15 vuoden laina-aikaa investoinneille. Lämmitysmuotojen ekologisuutta vertailtiin vuotuisilla CO₂ päästöillä ja primäärienergian

kulutuksella. Yksikään lämmitysmuodoista ei täyttänyt molempia työn tavoitteita ollen sekä edullisin että ekologis. Alueellisena ratkaisuna maakaasuverkko oli huomattavasti matalaenergiaverkkoa edullisempi investointi ja se saavutti myös huomattavasti lyhyemmän takaisinmaksuajan. Maakaasu soveltui nykyisellä energian hinnalla pientalon rakentajalle ja käyttäjälle koituvien kustannusten valossa paremmin myös matalaenergia- ja passiivitalon lämmitysmuodoksi. Maakaasuverkon rakentaminen täytti paremmin työn tavoitteet, koska ekologisuudessa ratkaisujen välillä ei ollut suuria eroja. Maakaasulämmityksen sekä maakaasu- ja aurinkolämmityksen yhdistelmän välinen valinta jää pientalon rakentajan vastuulle, jolloin rakentajan tulee päättää painottaako valinnassa enemmän ekologisuutta vai kustannuksia.

LÄHTEET

- Aalto Erkki. 2009. RAKLI. Energiatehokkuuden parantaminen ja Energiatehokkuusohjelma. [Verkkoasiakirja]. Saatavissa: <http://www.rakli.fi/attachements/2009-04-29T15-51-3948.pdf>. [Viitattu 1.4.2011].
- Bröckl M., Pesola A., Vanhanen J. 2010. Gaia Consulting Oy. Primäärienergia ja kaukolämmön kilpailukyky. [Verkkoasiakirja] Saatavissa: http://www.energia.fi/content/root%20content/energiateollisuus/fi/kaukolampo/kirjasto/tutkimusrapor/liitteet/prim%C3%A4%C3%A4rienergia%20ja%20kaukol%C3%A4mm%C3%B6n%20kilpailukyky_raportti_lopullinen.pdf?SectionUri=%2Ffi%2Fkaukolampo%2Fkikirjas%2Ftutkimusraportit.
- Ekolämpö. 2010. Vaasan Ekolämpö. Pertti Reinikainen. [Puhelinhaastattelut]. [30.12.2010 ja 1.2.2011]. Muistiinpanot opinnäytetyön tekijän hallussa.
- Ekp-Pekkarinen. 2010. Hannu Pekkarinen. [Sähköposti].
- Gasum. 2010. Nikkanen Petri. [Sähköposti].
- Heljo J., Nippala E. ja Nuutila H. 2005. Rakennusten energiankulutus ja CO₂-ekv päästöt Suomessa. EKOREM loppuraportti. [Verkkoasiakirja]. Saatavissa: http://www.tut.fi/units/rak/rtt/tutkimus/ekorem/EKOREM_Loppuraportti_051214.pdf. [Viitattu 15.11.2010].
- Imatran Lämpö. 2010. Risto Tahvanainen. [Sähköpostit].
- Imatran Lämpö. 2011. Risto Tahvanainen. [Puhelinhaastattelu]. [5.4.2011]. Muistiinpanot opinnäytetyön tekijän hallussa.
- Ilmatieteenlaitos. 2010. Lämmitystarveluvut. [Verkkosivu]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>. [Viitattu 29.12.2010].

Keto Matias. 2010. Energiamuotojen kerroin. [Verkkoasiakirja]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=123453&lan=fi>.

Lämpötalo. 2011. Lappeenrannan Lämpötalo. Vesa Venäläinen. [Puhelinhaastattelu]. [1.2.2011]. Muistiinpanot opinnäytetyön tekijän hallussa.

Mateve. 2010. Käyttäjän kokemuksia sedimenttilämmöstä. Mauri Lieskoski. [Sähköposti].

Mateve. 2010a. Mateve Oy. Mauri Lieskoski. [Puhelinhaastattelu] [3.11.2010]. Muistiinpanot opinnäytetyön tekijän hallussa.

Mateve. 2011. Lämmönlähteet. [Verkkosivu]. Saatavissa: <http://www.mateve.fi/index.php?sivu=laemmoenlaehteet>. [Viitattu 5.1.2011].

Ojaniemi Asko ja Penttinen Lauri. Benet Oy. 2008. Lämmityssähkön kulutuksen vähentäminen pellettitakkojen avulla. [Verkkoasiakirja]. Saatavissa: http://www.jklinnovation.fi/default/?__EVIA_WYSIWYG_FILE=1187&name=file.

Rakentamismääräyskokoelma D5. 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D5 LVI ja energiatalous. [Verkkoasiakirja]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=380305&lan=FI>.

RIL249-2009. 2010. Matalaenergiarakentaminen, asuinrakennukset. 2. painos. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry. 291 s. ISBN 978-951-758-517-0.

Seppänen Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. 2. painos. Suomen LVI-liitto Ry. 444s. ISBN 951-98811-0-7.

Seppänen Olli ja Seppänen Matti. 2007. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. 4. painos. Espoo: SIY Sisäilmätieto Oy. 279 s. ISBN 978-951-97186-5-1.

TEM. 2008. Työ- ja elinkeinoministeriö. [Verkkosivu]. Saatavissa: http://www.tem.fi/index.phtml?96107_m=93162&s=3407. [Viitattu 15.11.2010].

Tilastokeskus. 2009. Rakennuskanta 2009. [Verkkosivu]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/rakke/2009/rakke_2009_2010-05-28_kat_002_fi.html. [Viitattu 15.11.2010].

Ympäristöministeriö. 2010. [Verkkosivu]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=22013&lan=fi>. [Viitattu 15.11.2010].
. 390 s. ISSN 1795-8350.

SFS 4175. 2006. Numeroiden ja merkkien kirjoittaminen. 5. Painos. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. 42 s.

Investointien korollisten kustannusten määrittämiseen tarvittava annuiteettitekijä on laskettu yhtälön (8) avulla.

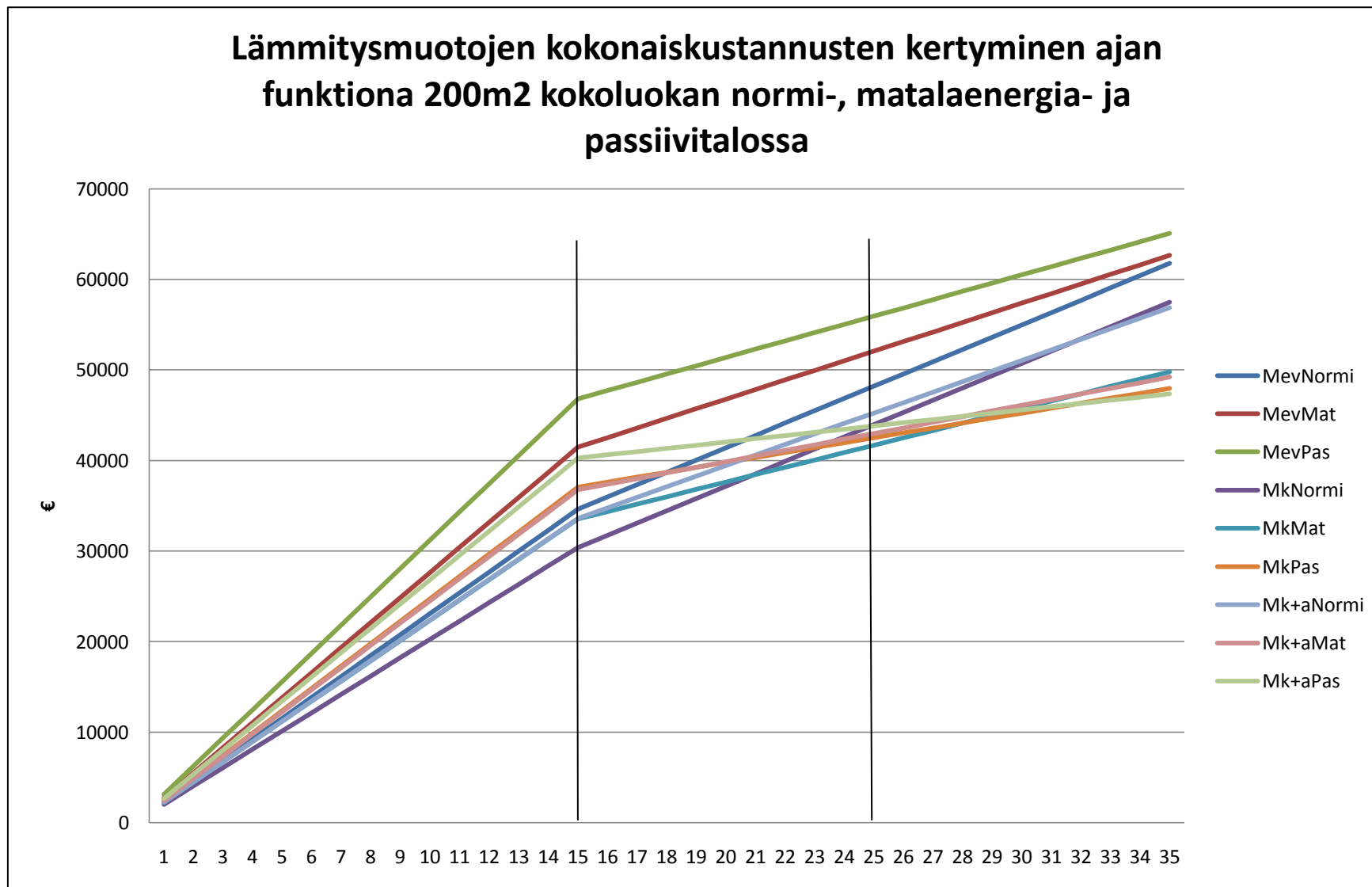
$$a_{n,i} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (8)$$

missä	$a_{n,i}$	annuiteettitekijä	[-]
	i	laskentakorko	[-]
	n	laina-aika	[a]

Takaisinmaksuajan laskennassa käytetty diskonttaustekijä on laskettu yhtälön (8) avulla.

$$v_{n,i} = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (9)$$

missä	$v_{n,i}$	vuotuinen diskonttaustekijä	[-]
	i	laskentakorko	[-]
	n	tarkasteltava vuosi	[a]



Kuva 5. Lämmitysmuotojen kustannusten kertyminen.