

TkT, Jarek Kurnitski

TKK LVI-tekniikan laboratorio

16.5.2009

## **Tehontarpeen ja energiankäytön laskentaesimerkkejä**

Seuraavat 1-krns pientalon ja 2-krns kompaktin pientalon esimerkit osoittavat tehontarpeet ja energiankäytön jakauman erityyppisissä taloissa. Tuloksista nähdään myös suurimmat matala- ja passiivenergiatalojen säästöpotentiaalit. Esimerkissä tarkastellaan 133 m<sup>2</sup> 1-kerroksista omakotitaloa ja 140,5 m<sup>2</sup> 2-kerroksista omakotitaloa (kuva 1). Lämmitystapana käytetään joko sähkölämmitystä tai maalämpöä ja rakenteiden lämmöneristystasoa muutetaan nykyisestä rakentamiskäytännöstä aina passiivitalotasoon asti. Lisäksi on tarkasteltu myös nollaenergiatason saavuttamista.

#### 1-kerroksinen omakotitalo:

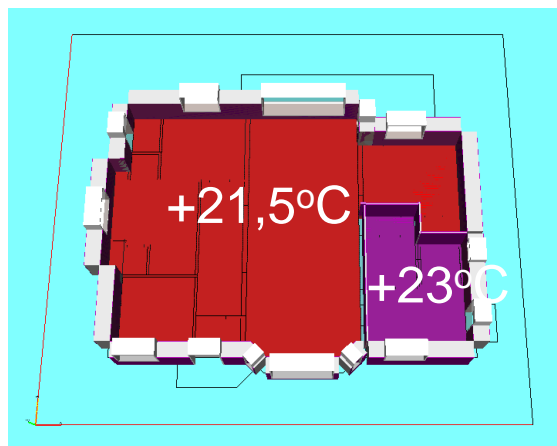
Huoneistoala 133m<sup>2</sup>

Bruttoala, m<sup>2</sup>

Normi- talo 2008	Normaali- talo 2000- luku	Normi- talo 2010	Matala- energia- talo-40	Passiivi- talo-25
149	151	154	159	159

Maanvarainen laatta

5 huonetta, keittiö, eteinen, kodinhoitohuone,  
3 vaatehuonetta, saunaosasto, 2 wc:tä ja katettu  
terassi



#### 2-kerroksinen omakotitalo:

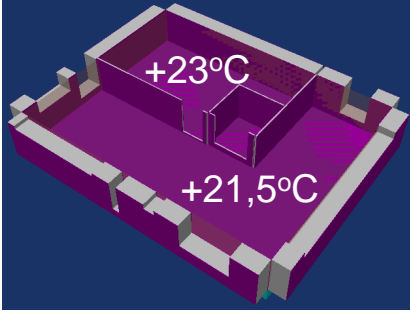
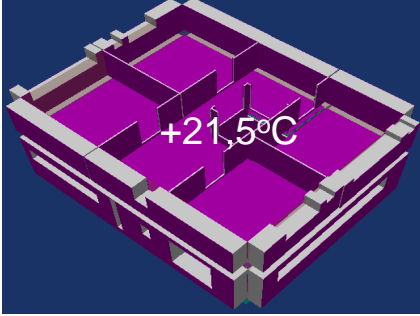
Huoneistoala 140,5 m<sup>2</sup>

Bruttoala, m<sup>2</sup>

Normi- talo 2008	Normaali- talo 2000- luku	Normi- talo 2010	Matala- energia- talo-40	Passiivi- talo-25
165	167	171	178	178

Ryömintätalainen alapohja



6 huonetta, keittiö, eteinen, kodinhoitohuone, 2 vaatehuonetta, saunaosasto ja 2 wc:tä.	
	

**Kuva 1.** Esimerkkitalojen kuvat ja laskentamallit.

Esimerkkitalaukset on valittu niin, että Normitalo 2010 edustaa rakentamismääräysten tuleva (RakMk C3 2010) minimitasoa. Nykyistä rakentamiskäytäntöä edustavalla Normaalitalo 2000-luvulla on hieman paremmat U-arvot nykyisiin rakentamismääräyksiin (RakMk C3 2007) verrattuna. Matalaenergiatalo ja passiivitalo noudattavat tämän oppaan taulukon 1.6 ohjearvoja. Passiivitalossa on käytetty polyuretaanieristeitä ja kaikki muut talot ovat villaeristeellä.

Kaikki tapaukset on laskettu niin suoralla sähkölämmityksellä (lämmönjako sähköpattereilla) kuin maalämpöpumppulämmityksellä (lämmönjako vesikiertoisella lattialämmityksellä). Lisäksi passiivitalon tapauksessa on tarkasteltu ilmanvaihtolämmitystä, jolloin ilmanvaihtoa tarvittaessa lisätään, kun tuloilman lämpötila on ensin noussut 50 °C:een. Maalämpöpumpun keskimääräisenä lämpökertoimena on käytetty 3,5 tilojen lämmityksessä ja 2,7 lämpimän käyttöveden valmistuksessa. Normitalo on laskettu edullisimmalla mahdollisella ilmanvaihtolaitteella, jonka tuloilman lämpötilasuhde on 55 %. Normaalitalo on laskettu yleisesti käytetyllä 60 %:n lämmöntalteenotolla ja myös nykyaikaisella energiatehokkaalla 80 %:n ilmanvaihtolaitteella. Matalaenergiataloissa on käytetty vain energiatehokkaita ilmanvaihtolaitteita. Keskeiset rakennusvaipan ja talotekniikan tiedot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Esimerkkitalojen rakennusvaippa, lämmitys ja ilmanvaihto.

	Normaalitalo 2000-luku	Normaalitalo $n_{50}=0.6$ , LTO=80%	Normitalo 2010	Matala- energiatalo-40	Passiivitalo-25, iv-lämmitys	Passiivitalo-25
Rakennusvaipan U-arvot ja ilmanpitävyys						
Ulkoseinä, W/(m <sup>2</sup> K)	0.21	0.21	0.17	0.12	0.07	0.07
Yläpohja, W/(m <sup>2</sup> K)	0.11	0.11	0.09	0.08	0.06	0.06
Ryömintätilainen alapohja, W/(m <sup>2</sup> K)	0.16	0.16	0.17	0.08	0.08	0.08
Maanvarainen laatta, W/(m <sup>2</sup> K)	0.2	0.2	0.16	0.12	0.08	0.08
Ikkunat, W/(m <sup>2</sup> K)	1.1	1.1	1.0	0.8	0.7	0.7
Ikkunat, g-arvo (kok. läpäisy), -	0.56	0.56	0.56	0.56	0.46	0.46
Ulkko-ovet, W/(m <sup>2</sup> K)	1.1	1.1	1.0	0.5	0.4	0.4
Ilmavuotoluku $n_{50}$ , 1/h	2	0.6	2	0.8	0.6	0.6
Lämmitysjärjestelmä						
Lämmitystapa	sähkö/maalämpö patterit/lattia	maalämpö lattia	sähkö/maalämpö patterit/lattia	sähkö/maalämpö patterit/lattia	sähköinen iv-lämmitys	sähkö/maalämpö patterit/lattia
Lämmönjako						
Ilmanvaihtojärjestelmä						
Jälkilämmityspatteri	sähkö tai vesi <sup>1</sup>	vesi	sähkö tai vesi	sähkö tai vesi	sähkö	sähkö tai vesi
Ilmanvaihtokerroin, 1/h	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5...0.8 <sup>2</sup>	0.5
Ilmavirtojen suhde (tulo/poisto)	0.95	1	0.95	1	1	1
LTO:n tuloilman lämpötilasuhde, %	60	80	55	80	80	80
LTO:n jäätymisen esto, °C	5	-8	5	-8	-8	-8
LTO:n poistoilman vuosihyötysuhde, %	54.4	79.3	50.7	79.3	79.3	79.3
SFP-luku, kW/m <sup>3</sup> /s	2.1	1.5	2.3	2.1	2.1	1.5

<sup>1</sup>sähköpatteri sähkölämmityksen ja vesipatteri maalämmön tapauksessa

<sup>2</sup>ilman lämpötilan noustaessa 50 °C:een, ilmavirtaa tarvittaessa lisätään lämmitystarpeen mukaisesti

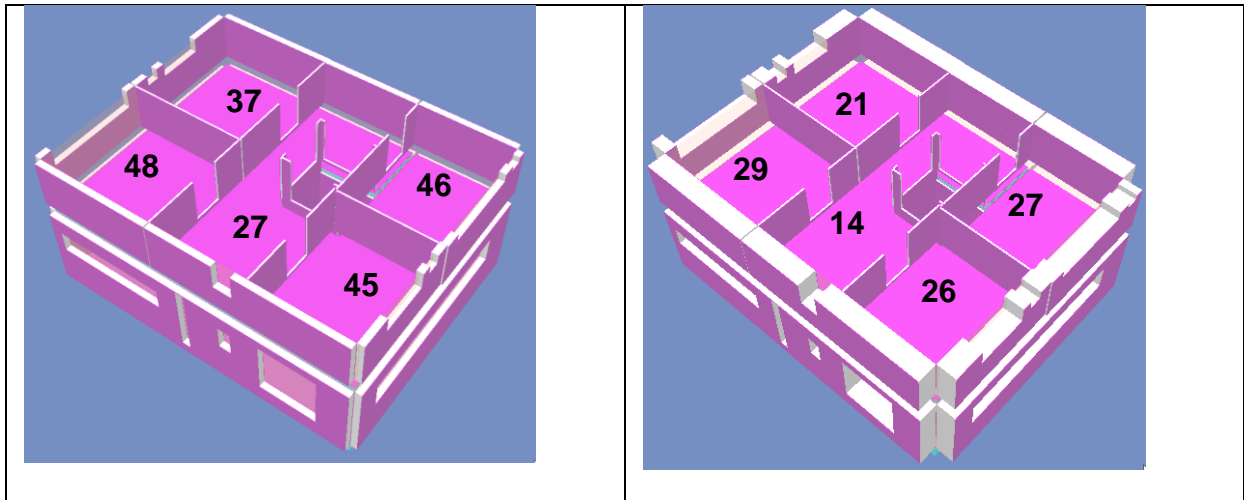
Lämpimänä käyttövetenä on käytetty 50 l/d, henkilö (37 kWh/m<sup>2</sup>, a) ja sisäisinä lämpökuormina:

- Ihmiset: 36 m<sup>2</sup>/henkilö (2-krs 4 ja 1-krs 3,7 henkilöä)
- Kotitaloussähkö: 25 kWh/(m<sup>2</sup> a)
- Valaistus: 7 kWh/(m<sup>2</sup> a)

Laskenta on aloitettu lämmitystehontarpeen määrittämisellä. Keskimääräiset huoneisto-alaa kohti lasketut tehontarpeet mitoitusulkolämpötilalla on esitetty taulukossa 2. Esimerkki huonekohtaisesta lämmitystehontarpeen vaihtelusta nähdään kuvasta 2.

**Taulukko 2.** Tilojen keskimääräinen lämmitystehontarve (-26°C) W/m<sup>2</sup> esimerkkitaloissa.

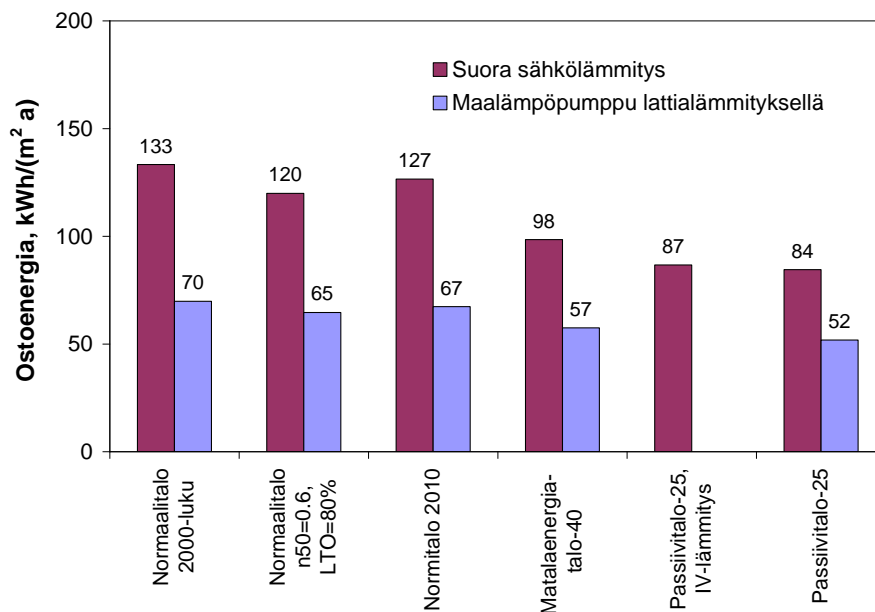
	Normitalo 2008	Normaalitalo 2000-luku	Normitalo 2010	Matala- energiatalo-40	Passiivitalo-25
1-krs talo, W/m <sup>2</sup>					
Patterilämmitys	52	43	40	32	24
Lattialämmitys	61	49	46	36	27
2-krs talo, W/m <sup>2</sup>					
Patterilämmitys	50	40	37	28	23
Lattialämmitys	56	45	41	31	25



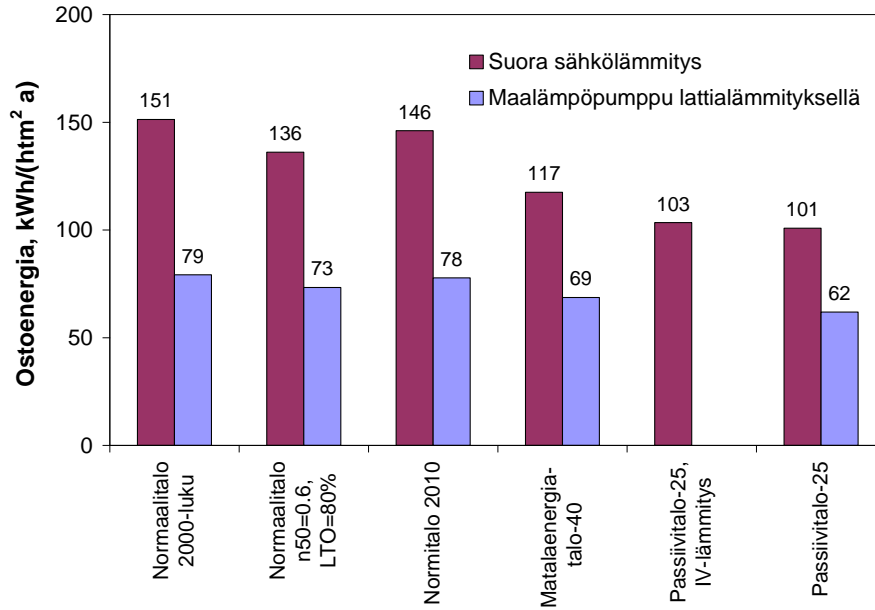
**Kuva 2.** Lämmitystehontarve ( $-26^{\circ}\text{C}$ )  $\text{W}/\text{m}^2$  2-krn talon makuuhuoneissa Normaalitalo 2000-luku (vasen) ja Passiivitalon (oikea) tapauksessa.

Talojen energiankäytön tulokset on laskettu Helsinki-Vantaa 2001 säädatalla IDA-ICE simulointiohjelmalla. 1-krn talon ostoenergian kulutus (kaikki sähköenergiaa) on esitetty kuvassa 3 bruttoalaa kohti. Koska saman talon laskentatapauksilla on erilainen bruttopinta-ala, on samat tulokset esitetty vertailun vuoksi kuvassa 4 huoneisto-alaa kohti. Kaikkien laskentatapausten tulosten erittely on 1-krn talolle taulukossa 3 ja 2-krn talolle taulukossa 4 (kaikki bruttoalaa kohtia laskettuina).

Kaikissa laskentatapauksissa on käytetty jäähdytystä, huonelämpötilan asetusarvo on  $25^{\circ}\text{C}$  ja ilmalämpöpumpun kylmäkerroin 4,0. Jäähdytys olisi kuitenkin tarpeetonta, jos hyväksyttäisiin  $27^{\circ}\text{C}$  huonelämpötila ja käytettäisiin ikkunatuuletusta sekä hieman parannettaisiin auringonsuojausta.



**Kuva 3.** Ostoenergian kulutus 1-krn esimerkkitalon laskentatapauksissa.



Kuva 4. Kuvan 3 tulokset huoneistoalaa kohti esitettyinä.

Taulukko 3. 1-kr esimerkkitalojen ostoenergian (kaikki sähköenergiaa) erittely, yksikkönä kWh/(m<sup>2</sup> a).

Suora sähkölämmitys	Normaalitalo 2000-luku	Normaalitalo n <sub>50</sub> =0.6, LTO=80%	Normitalo 2010	Matala-energia-talo-40	Passiivitalo-25, IV-lämmitys	Passiivitalo-25	Passiivitalo-25, IV-lämm., aurinkokeräin
Tilojen lämmitys	56	51	47	31	2	18	2
Tilojen jäähditys	2	2	3	3	3	3	3
Ilmanvaihdon lämmitys	9	1	11	1	18	1	18
Puhaltimet	6	4	6	6	5	4	5
Kotitaloussähkö	22	22	22	21	21	21	21
Valaistus	6	6	6	6	6	6	6
Lämmin käyttövesi	32	32	32	31	31	31	15
<b>Ostoenergia yht</b>	<b>133</b>	<b>120</b>	<b>127</b>	<b>98</b>	<b>87</b>	<b>84</b>	<b>71</b>

Maalämpöpumppu lattialämmityksellä	Normaalitalo 2000-luku	Normaalitalo n <sub>50</sub> =0.6, LTO=80%	Normitalo 2010	Matala-energia-talo-40	Passiivitalo-25, IV-lämmitys	Passiivitalo-25	Passiivitalo-25, IV-lämm., aurinkokeräin
Tilojen lämmitys	19	17	15	10		6	
Tilojen jäähditys	2	2	3	3		3	
Ilmanvaihdon lämmitys	2	0	3	0		0	
Puhaltimet	6	4	6	6		4	
Kotitaloussähkö	22	22	22	21		21	
Valaistus	6	6	6	6		6	
Lämmin käyttövesi	12	12	12	11		11	
<b>Ostoenergia yht</b>	<b>70</b>	<b>65</b>	<b>67</b>	<b>57</b>		<b>52</b>	

Taulukko 3. 2-kr esimerkkitalojen ostoenergian (kaikki sähköenergiaa) erittely, yksikkönä kWh/(m<sup>2</sup> a).

Suora sähkölämmitys	Normaalitalo 2000-luku	Normaalitalo $\eta_{50}=0.6$ , LTO=80%	Normitalo 2010	Matala-energiatalo-40	Passiivitalo-25, IV-lämmitys	Passiivitalo-25	Passiivitalo-25, IV-lämm., aurinkokeräin
Tilojen lämmitys	52	45	45	26	0	17	0
Tilojen jäähdytys	3	3	3	3	3	3	3
Ilmanvaihdon lämmitys	9	1	11	1	19	1	19
Puhaltimet	6	4	6	5	6	4	6
Kotitaloussähkö	22	22	22	21	21	21	21
Valaistus	6	6	6	6	6	6	6
Lämmin käyttövesi	32	32	31	30	30	30	15
<b>Ostoenergia yht</b>	<b>129</b>	<b>114</b>	<b>125</b>	<b>92</b>	<b>85</b>	<b>82</b>	<b>70</b>

Maalämpöpumppu lattialämmityksellä	Normaalitalo 2000-luku	Normaalitalo $\eta_{50}=0.6$ , LTO=80%	Normitalo 2010	Matala-energiatalo-40	Passiivitalo-25, IV-lämmitys	Passiivitalo-25	Passiivitalo-25, IV-lämm., aurinkokeräin
Tilojen lämmitys	15	14	14	8		5	
Tilojen jäähdytys	3	3	3	3		3	
Ilmanvaihdon lämmitys	2	0	3	0		0	
Puhaltimet	6	4	6	5		4	
Kotitaloussähkö	22	22	22	21		21	
Valaistus	6	6	6	6		6	
Lämmin käyttövesi	12	12	12	11		11	
<b>Ostoenergia yht</b>	<b>67</b>	<b>61</b>	<b>65</b>	<b>54</b>		<b>50</b>	

Tulosten mukaan 1- ja 2-kr talojen väliset erot ovat vähäisiä, vaikka 1-kr talon kompaktisuus onkin selvästi huonompi. Eroa kompensoivat pienempi vuotoilmanvaihto 1-kr talossa ja toisaalta hieman suurempi jäähdytystarve 2-kr talossa huonommasta auringonsuojauksesta johtuen.

Passiivitalon tapauksessa on tarkasteltu myös aurinkokeräin käyttämistä käyttöveden lämmitykseen. Noin 7000 eur omakotitaloon tarkoitettu tyhjiokeräin puolittaa käyttöveden lämmitysenergiatarpeen. Yksinkertaisimman, vuositason nollaenergiatalon määritelmän mukaan parhaasta passiivitalon tapauksesta (50 kWh/m<sup>2</sup> a) saadaan nollaenergiatalo, jos katolle asennettaisiin n. 50 m<sup>2</sup> aurinkopaneelia. Nollaenergiatalorakentamisessa rannikkoalueilla myös tuulivoiman käyttö voi tulla kysymykseen, mutta tavanomaisilla rakennuspaikoilla ainoastaan aurinkovoiman käyttö on mahdollista.

Kustannuslisät suhteessa normitaloa sekä takaisinmaksuajat erilaisilla sähkön hinnoilla on esitetty Taulukossa 4 2 krs talon vaihtoehdoille. Kustannuslaskennan perustasona on käytetty Normitaloa 2010, jonka rakentamiskustannukset ovat 309,000€. Hintataso on pääkaupunkiseudun kehyskunnat. Kohteen rakennuskustannukset on laskettu tavoitehintamenettelyllä. Parannustoimenpiteiden kustannukset on laskettu käyttäen rakennusosa-arviomenettelyä. Kustannustietoja on tarkennettu tarvike- ja laitetuottajilta saaduilla tiedoilla. Rakennusosien kustannuksiin sisällytettiin rakennusosan kustannukset asennettuna sekä niiden lisäksi niiden rakennusosa-arviomenettelyn mukainen osuus työmaakatteesta 12 %, rakennuttamisesta 7,1 % ja suunnittelusta 6,4 %.

Kustannuksissa on huomioitu, että ylä- ja alapohjan lisäeristeestä aiheutuen ulkoseinän pinta-ala kasvaa, kuten myös vesikatko ja perustukset aiheutuen seinän lisäeristeestä. Peruslaskelmat on laskettu rakenteilla, joissa lämmöneristeet ovat mineraalivilla. Passiivitalovaihtoehdot laskettiin kuitenkin polyuretaanieristeellä, joka osoittautui n. 5000 eur verran edullisemmaksi kuin mineraalivillaeriste. Polyuretaanieristeen tapauksessa rakenteissa ei tarvittu erillistä höyrynsulkua sekä eristepaksuus ja ulkorakenteiden koko pienenevät.

Rakennuksen paremman ilmanpitävyyden saavuttamiseksi on edellytetty, että alapohjan ja ulkoseinän välinen liitos tiivistetään bitumikaistalla, kaikki saumat teipataan ja rakennuksen ilmanvuotoluku mitataan. Suurin kustannus syntyy ilmanvuotoluvun mittauksesta.

Maalämpöpumput ovat laskentatapauksesta riippuen joko 8 kW tai 5 kW tehoiset. Hinnat on arvioitu kolmen tarjouksen perusteella. Kun erilaisten lämmitysjärjestelmien kustannusvaikutusta on arvioitu, perustapauksen lämmitysjärjestelmän (suora sähkölämmitys) kulut on huomioitu.

Ilmanvaihtojärjestelmän paremman lämmön talteenoton kustannukset on arvioitu suoraan konetyyppien ja lisävarusteiden kautta. Hintatiedot on saatu jälleenmyyjiltä. Normitalossa 2010 on käytetty edullisinta mahdollista peruskonetta 55 %:n hyötysuhteella. Välivaihtoehto on tällä hetkellä yleisesti myydyin edullinen ilmanvaihtokone 60 %:n hyötysuhteella. 80 % hyötysuhde edustaa nykyaikaista energiatehokasta ilmanvaihtokonetta. Aurinkokerääjät ovat tyhjiöputkikerääjiä, joiden kustannukset ”avaimet käteen” periaatteella on arvioitu kolmen alan yrityksen kanssa. Keskihinnaksi saatiin 7300 eur.

Tulokset osoittavat, että nykyisin ehkä yleisin rakennustapa maalämpöpumpulla (Normaalitalo) on kustannustasoltaan hieman korkeampi vuoden 2010 normitasoon verrattuna, mutta maksaa itsensä nopeasti takaisin kaikilla tarkasteluilla energian hinnoilla. Matalaenergiatalo-40 takaisinmaksuajat ovat kohtuullisia, 0,15 eur/kWh sähkön hinnalla jopa alle 10 vuotta. Maalämpövaihtoehdon takaisinmaksuaika on vuoden verran lyhyempi sähkölämmitykseen verrattuna suuresta energiansäästöstä johtuen. Passiivitalon-25 takaisinmaksuajat ovat selvästi pidempiä, mutta yllättäen tässäkin tapauksessa maalämpöpumppu ei lisää takaisinmaksuaikaa vaikka lisäinvestointi on suurempi. Jos tavoitteena on erittäin hyvä energiatehokkuus, niin tässä laskelmassa passiivitalossa maalämpöpumppu on voittanut aurinkokerääjän.

Taulukko 4. 2 krs kompaktin esimerkkitalon kustannuslisät ja kannattavuus.

	Lisäinvestointi suhteessa edullisimpaan ja maksuaika 3 %:n korolla										
	Normaalitalo			Normitalo 2010	Matalaenergiatalo-40			Passiivitalo-25			
	Sähkö-lämmitys	Maalämpö	Maalämpö <small><math>\eta_{sp}=0.6, LTO=0.8</math></small>	Sähkö-lämmitys	Maalämpö	Sähkö-lämmitys	Maalämpö	Sähköinen IV-lämmitys	Sähkö-lämmitys	Maalämpö	Sähkö-IV-lämm. +aurinkokeräin
Lisäinvestointi, €	-4900	4150	7100	0	6800	5300	12000	12000	18000	24500	19400
Kustannuslisä, %	-1.6	1.3	2.3	0.0	2.2	1.7	3.9	3.9	5.8	7.9	6.3
<b>Ostoenergia ja takaisinmaksuaika sähkön hinnalla 0.1002 eur/kWh</b>											
Ostoenergia, €/a	2110	1064	970	2071	1060	1589	911	1454	1402	835	1186
Maksuaika, a	-	5	8	0	8	14	13	30	ylti 40	31	37
<b>Ostoenergia ja takaisinmaksuaika sähkön hinnalla 0.15 eur/kWh</b>											
Ostoenergia, €/a	3159	1593	1452	3100	1587	2379	1364	2177	2099	1250	1775
Maksuaika, a	-	3	5	0	5	9	8	17	26	18	20
<b>Ostoenergia ja takaisinmaksuaika sähkön hinnalla 0.20 eur/kWh</b>											
Ostoenergia, €/a	4212	2124	1936	4134	2116	3172	1818	2902	2799	1666	2367
Maksuaika, a	-	3	4	0	4	7	6	12	18	12	14