



Aalto University

Rakennuksen energiankulutus muuttuvassa ilmastossa

8.11.2012

Juha Jokisalo

Erikoistutkija, TkT

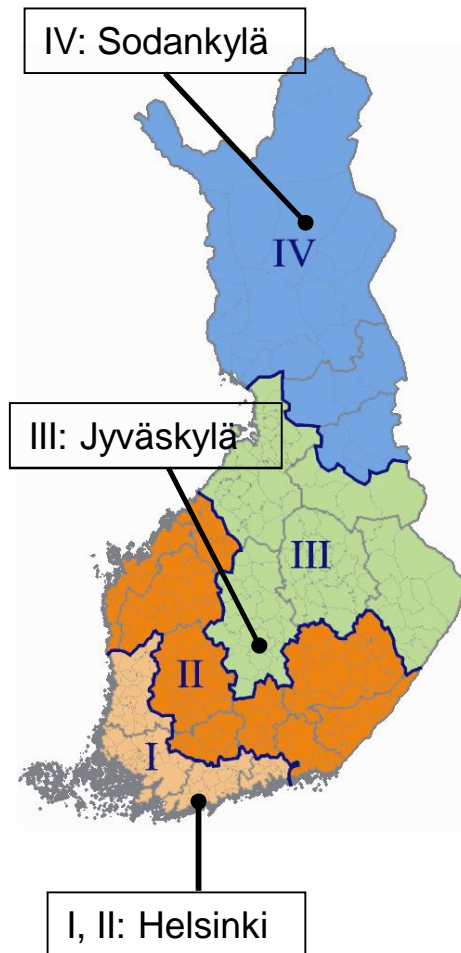
juha.jokisalo@aalto.fi

Aalto-yliopisto, Energiatekniikan laitos, LVI-tekniikka

Taustaa

- Frame-hankkeen tutkimustulosten laskennassa on käytetty Suomen nykyilmastoa kuvaavaa energialaskennan tunnittaista referenssivuotta (D3, 2012) sekä ilmatieteenlaitoksen vuosille 2050 ja 2100 laatimia tulevaisuuden tunnittaisia referenssivuosia, jotka pohjautuvat A2-päästöskenaarioon.

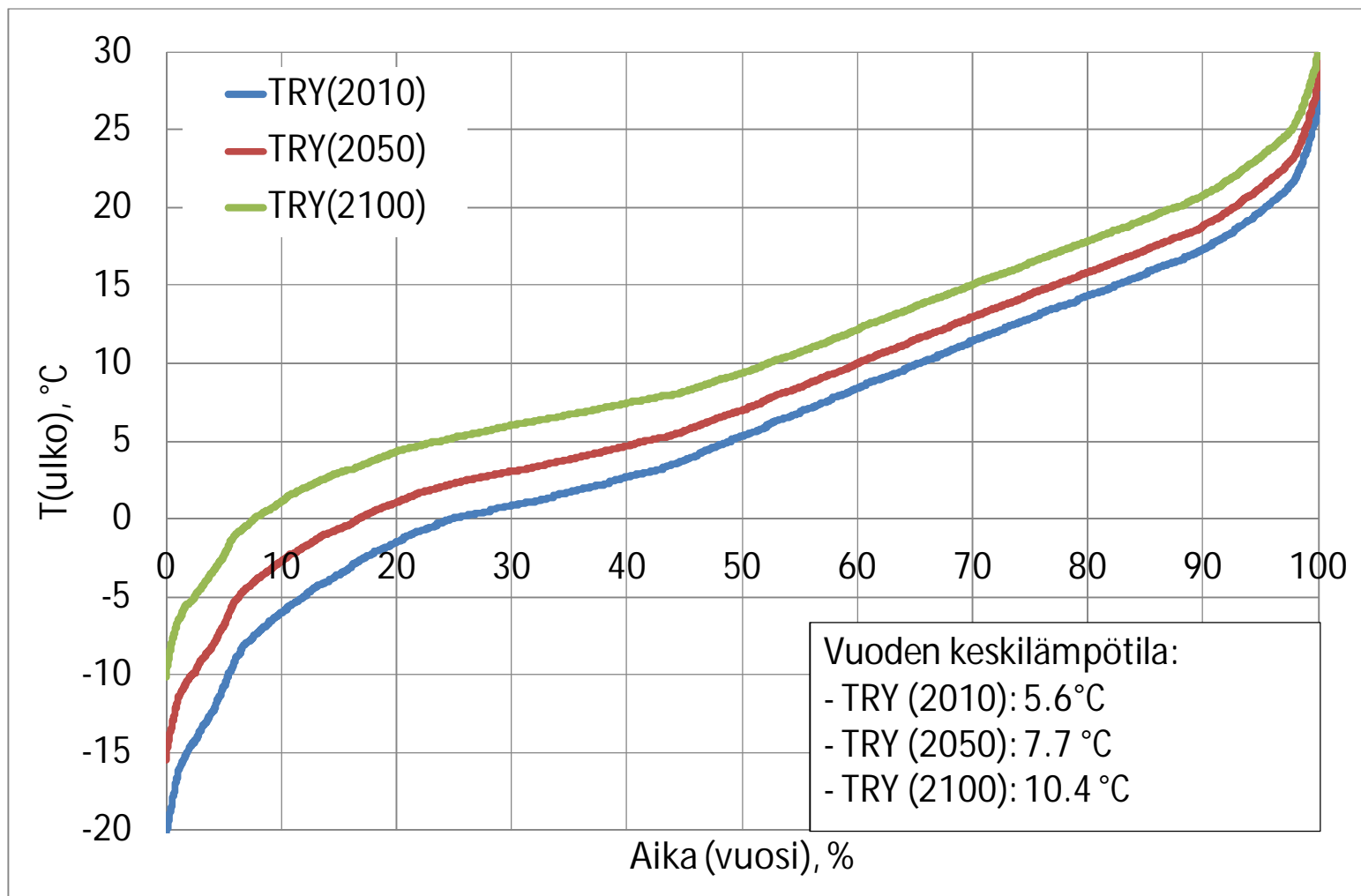
Rakennusten energialaskennan testivuosi nykyilmastossa



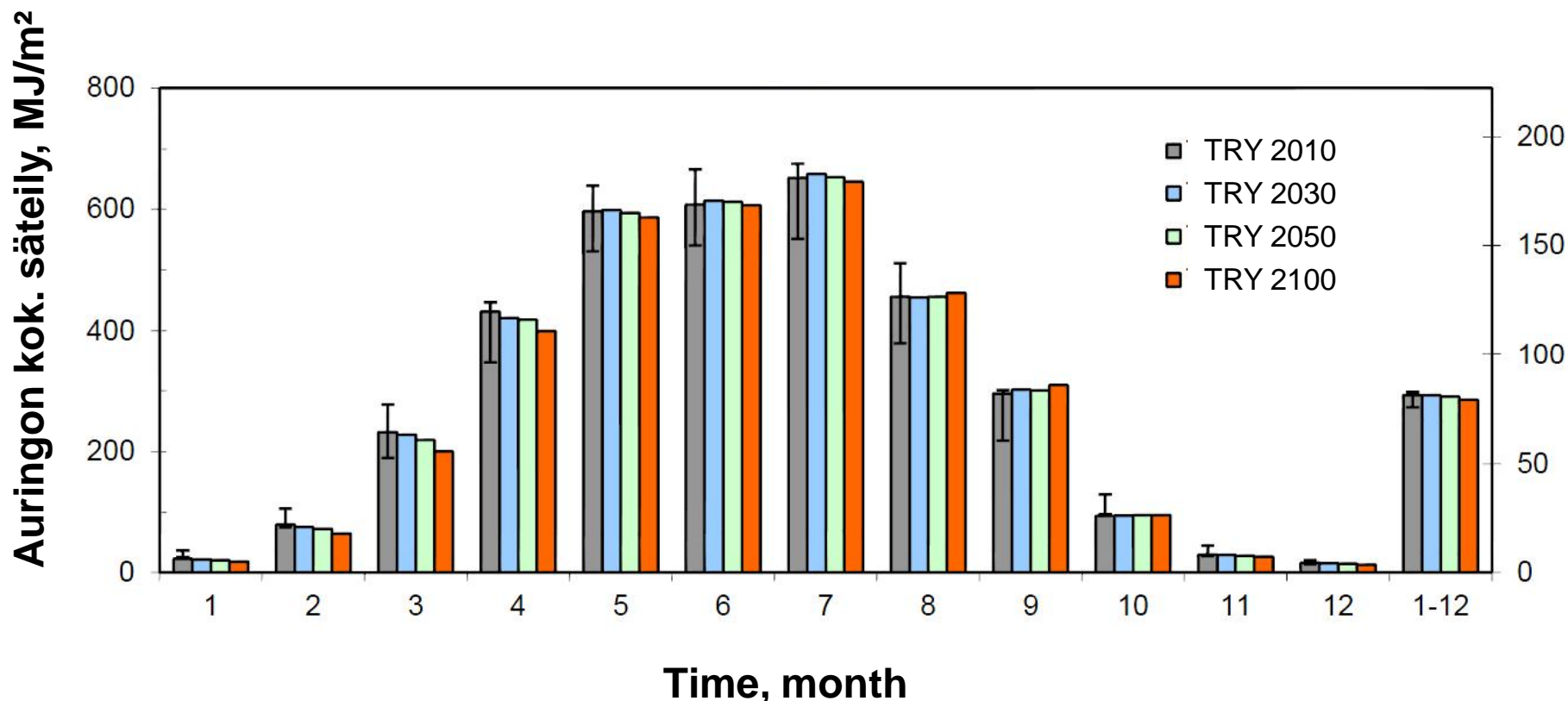
- Testivuosi koostettu vuosien 1980-2009 aikana esiintyneistä todellisista kuukausista.
- Valitut kuukaudet edustavat mahdollisimman tyypillisiä oloja sääsuureiden keskiarvon ja keskihajonnan suhteen.
- Standardoitua valintamenetelmää EN ISO 15927-4 on tarkennettu:
 - Energiankulutuksen kannalta merkittävimpiä sääsuureita painotettu valinnassa.
- Lisätietoa:

Kalamees, T., Jylhä, K., Tietäväinen, H., Jokisalo, J., Ilomets, S., Hyvönen, R. and Saku, S. Development of weighting factors for climate variables for selecting the energy reference year according to the EN ISO 15927-4 standard. Energy and Buildings. Volume 47, April 2012, Pages 53-60.

Ilmastonmuutos (A2-skenaario) vs. ulkolämpötila Helsingissä



Ilmastonmuutos (A2-skenaario) vs. auringon säteily Helsingissä



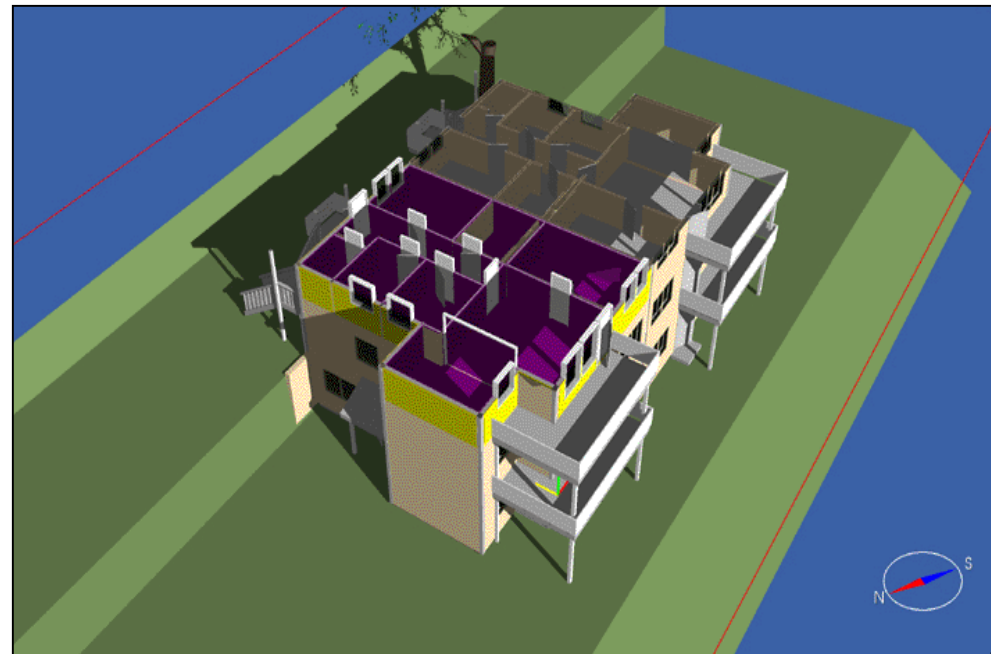
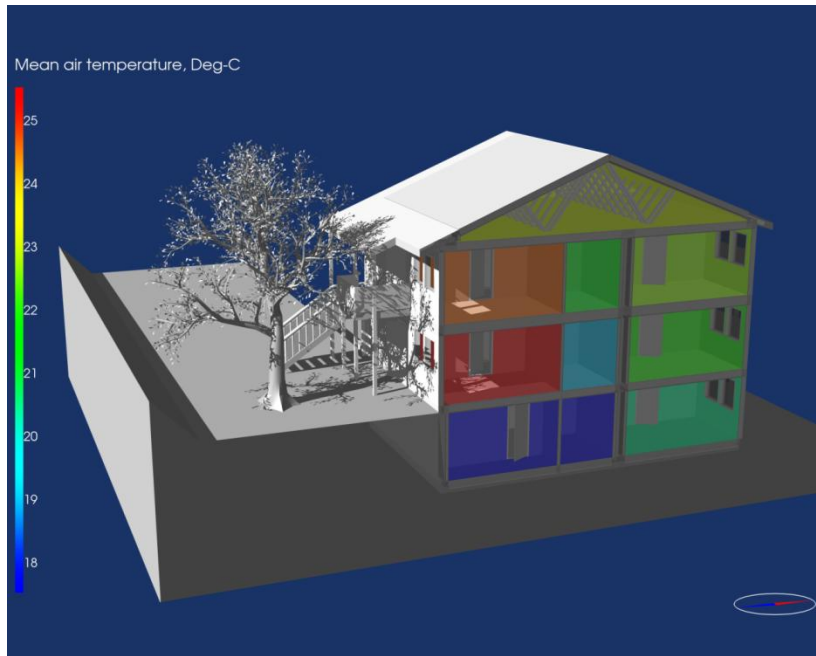
Lisätieto:

Jylhä K., Kalamees T., Tietäväinen H., Ruosteenoja K., Jokisalo J., Hyvönen R., Ilomets S., Saku S., Huttila A. Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista, Ilmatieteenlaitos, Raportteja No. 2011:6, Helsinki.

Ladattavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/rakennusten-energi-laskennan-testivuosi>

Laskentamenetelmä

- Dynaaminen simulointiohjelma IDA-ICE 4.2:



Lähde: <http://www.equa.se/>

Mallinnuskohteet

- Tutkittavat talotyypit:

- Pientalo

- Huoneistoala 134m²

- Kerrostalo

- 3 asuinkerrosta + kellari
- Huoneistoala 1627m²

- Toimisto

- Nettoala 5390m²
 - Atriumtila 526m²
 - Avokonttorit 4043m²
 - Neuvotteluhuoneet 178m²
 - Toimistohuoneet 643m²



**Kuinka paljon vaipan
lämmöneristämällä voidaan
parantaa rakennusten
energiatehokkuutta nyt ja
tulevaisuudessa?**

Tavoite

- Selvitetään rakennuksen vaipan osien:
 - Ulkoseinän (US)
 - Yläpohjan (YP)
 - Alapohjan (AP)

lämmöneristystason vaikutus pientalon, kerrostalon ja toimiston lämmityksen ja jäähdytyksen ostoenergiankulutukseen sekä D3 (2012) mukaiseen E-lukuun.

Laskennan lähtötietoja

- Lämmöneristystaso:**

Rakennus	U-arvot, W/m ² K			Lämmöneristystason valintaperuste:
	US	YP	AP	
<i>Pientalo</i>				
A	0.24	0.15	0.24	Normitaso C3 (2008)
B	0.17	0.09	0.16	Normitaso C3 (2010)
C	0.12	0.08	0.12	Matalaenergiapientalo (RIL 249-2009)
D	0.08	0.07	0.10	Passiivipientalo (RIL 249-2009)
<i>Kerrostalo ja toimisto¹</i>				
A	0.24	0.15	0.24	Normitaso C3 (2008)
B	0.17	0.09	0.16	Normitaso C3 (2010)
C	0.14	0.08	0.12	Matalaenergiakerrostalo (RIL 249-2009)
D	0.12	0.08	0.10	Passiivikerrostalo (RIL 249-2009)
E	0.08	0.07	0.10	Passiivipientalo (RIL 249-2009)

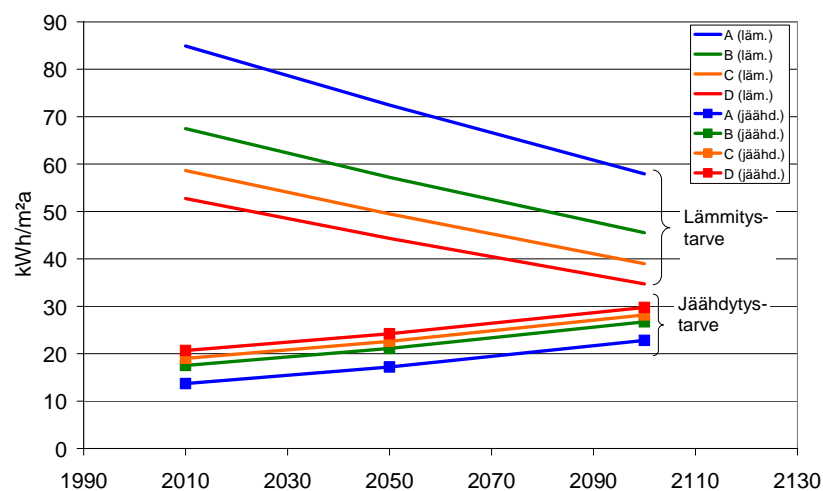
¹ Toimistossa vain US ja YP:n lämmöneristystaso otettu huomioon. (Toimistossa AP:n lämpöhäviötä ei ole otettu huomioon kellarikerroksessa sijaitsevan paikatustilan vuoksi.)

- Muita lähtötietoja:**

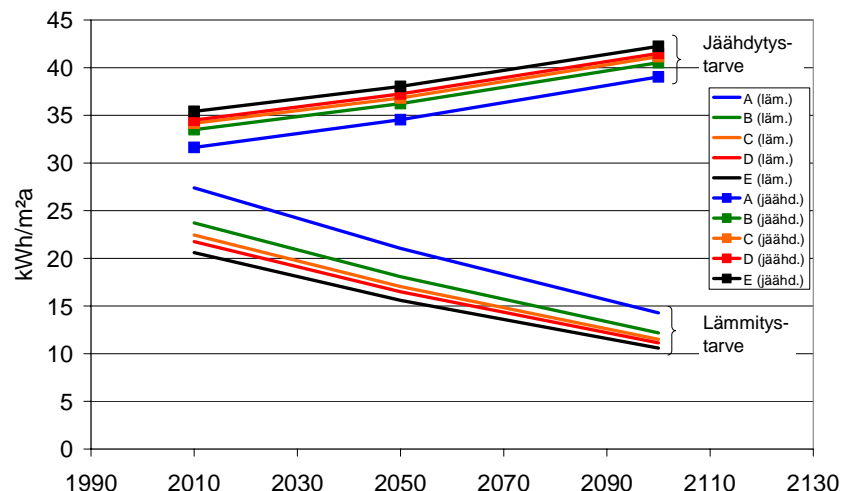
- Kaikissa tapauksissa:
 - MSE ikkunat (1.0 W/m²K, g=0.56, ST = 0.44)
 - Vaipan ilmanpitävyys $n_{50} = 1.0$ 1/h
- Rakennusten sijainti: Vantaa
- Sisäiset lämpökuormat:
 - D3 (2012) määräystaso (laitteet, valaistus ja hlö)
- Jäähdytyksen asetusarvo:
 - Pientalo ja kerrostalo: (kon. jäähdytys käytössä tarpeen mukaan 7/24h)
24/27°C = kesäkuukausina (1.6-31.8) 27°C ja muina aikoina 24°C
 - Toimisto: (kon. jäähdytys käytössä tarpeen mukaan ark klo 6-21)
24/25°C = kesäkuukausina (1.6-31.8) 25°C ja muina aikoina 24°C

Tilojen ja IV:n lämmitys- ja jäähdytystarve 2012-2100

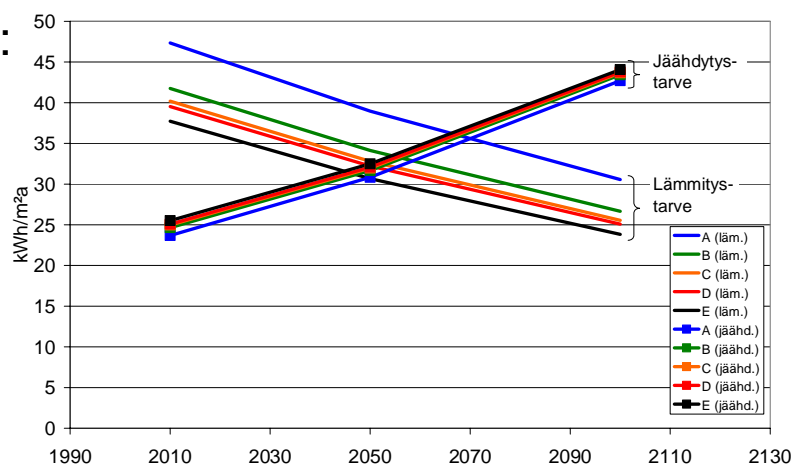
• Pientalo:



• Kerrostalo:



• Toimisto:



• Lämmitystarve vähenee:

- 2050 mennessä 15-25%
- 2100 mennessä 30-50%.

• Jäähdytystarve kasvaa

- 2050 mennessä 10-30%
- 2100 mennessä 20-75%

Valitut lämmitys- ja jäähdytysratkaisut

Rakennus	Lämmitys	Jäähdytys			
		I	II	III	IV
Pientalo	Sähkö	Passiivinen ² + kon. jäähdytys ⁴	Kon. jäähdytys ⁴	-	-
	MLP ¹	Passiivinen ² + MLP vapaajäähdytys ⁵	MLP vapaajäähdytys ⁵	-	-
Kerrostalo	Kaukolämpö	Passiivinen ² + kon. jäähdytys ⁴	Kon. jäähdytys ⁴	-	-
	MLP ¹	Passiivinen ² + MLP vapaajäähdytys ⁵	MLP vapaajäähdytys ⁵	-	-
Toimisto	Kaukolämpö	Passiivinen ³ + kon. jäähdytys ⁶	Kon. jäähdytys ⁶	Passiivinen ³ + kaukojäähdytys	Kaukojäähdytys
	MLP ¹	Passiivinen ³ + MLP vapaajäähdytys ⁵	MLP vapaajäähdytys ⁵	-	-

¹ MLP = maalämpöpumppu (SPF-luku = 3.1)

² Pientalon ja kerrostalon passiiviset jäähdytysratkaisut: Ikkunatuuletus + sälekaihtimet ulkoimmassa ikkunavälissä

³ Toimiston passiiviset jäähdytysratkaisut: Ulkopuoliset sälekaihtimet

⁴ Pientalon ja kerrostalon koneellinen jäähdytys split-laitteilla (vuotuinen kylmäkerroin 3)

⁵ Vapaajäähdytys toteutettu MLP:n lämmönkeruupiirin avulla (vuotuinen kylmäkerroin = 30)

⁶ Toimistossa ilmalauhdutteinen kompressorikylmälaite + jäähdytyspalkit (vuotuinen kylmäkerroin 2.5)

Pientalon lämmöneristystaso vs. ostoenergian säästö 2012-2100

Vuosi	Lämmöneristystaso	Ostoenergian säästö tilojen lämmityksessä ja jäähdytyksessä normi 2010 (B) tasoon verrattuna, kWh/m ² a			
		Lämmitystapa: Sähkölämmitys		Lämmitystapa: MLP	
		Jäähdytystavat		Jäähdytystavat	
		I	II	I	II
		Passiivinen ja kon. jäähdytys	Kon. jäähdytys	Passiivinen ja MLP vapaajäähdytys	MLP vapaajäähdytys
2012	A	-20.7	-18.2	-7.1	-6.5
	B (ref.)	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	10.3	9.4	3.5	3.3
	D	17.3	15.4	5.9	5.5
2050	A	-17.8	-15.8	-6.1	-5.7
	B (ref.)	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	9.1	8.1	3.1	2.9
	D	15.1	13.3	5.2	4.8
2100	A	-14.5	-12.6	-5.0	-4.6
	B (ref.)	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	7.5	6.8	2.6	2.4
	D	12.4	11.1	4.3	4.0

Pientalon lämmöneristystason vaikutus E-lukuun 2012-2100

Vuosi	Lämmöneristystaso	Kok. energiansäästö tilojen lämmityksessä ja jäähdytyksessä normi 2010 (B) tasoon verrattuna, kWh/m ² a			
		Lämmitystapa: Sähkölämmitys		Lämmitystapa: MLP	
		Jäähdytystavat		Jäähdytystavat	
		I	II	I	II
		<i>Passiivinen ja kon. jäähdytys</i>	<i>Kon. jäähdytys</i>	<i>Passiivinen ja MLP vapaajäähdytys</i>	<i>MLP vapaajäähdytys</i>
2012	A	-35.2	-31.0	-12.1	-11.1
	B (ref.)	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	17.5	16.0	6.0	5.7
	D	29.4	26.3	10.1	9.4
2050	A	-30.3	-26.8	-10.4	-9.7
	B (ref.)	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	15.4	13.8	5.3	4.9
	D	25.7	22.7	8.8	8.2
2100	A	-24.6	-21.4	-8.5	-7.9
	B (ref.)	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	12.8	11.6	4.4	4.2
	D	21.1	18.8	7.3	6.9

Kerrostalon lämmöneristystaso vs. ostoenergiainsäästö 2012-2100

Vuosi	Lämmöneristystaso	Ostoenergiainsäästö tilojen lämmityksessä ja jäähdytyksessä normi 2010 (B) tasoon verrattuna, kWh/m ² a			
		Lämmitystapa: Kaukolämpö		Lämmitystapa: MLP	
		Jäähdytystavat		Jäähdytystavat	
		I	II	I	II
		Passiivinen ja kon. Jäähdytys	Kon. jäähdytys	Passiivinen ja MLP vapaajäähdytys	MLP vapaajäähdytys
2012	A	-3.7	-3.2	-1.3	-1.2
	B (ref.)	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	1.2	1.1	0.4	0.4
	D	1.9	1.6	0.7	0.6
	E	3.0	2.4	1.0	1.0
2050	A	-2.9	-2.4	-1.0	-1.0
	B (ref.)	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	0.9	0.8	0.3	0.3
	D	1.4	1.2	0.5	0.5
	E	2.2	1.7	0.8	0.7
2100	A	-1.9	-1.5	-0.7	-0.6
	B (ref.)	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	0.6	0.4	0.2	0.2
	D	0.9	0.6	0.3	0.3
	E	1.2	0.8	0.5	0.4

Kerrostalon lämmöneristystason vaikutus E-lukuun 2012-2100

Vuosi	Lämmöneristys taso	Kok. energiansäästö tilojen lämmityksessä ja jäähdytyksessä normi 2010 (B) tasoon verrattuna, kWh/m ² a			
		Lämmitystapa: Kaukolämpö		Lämmitystapa: MLP	
		Jäähdytystavat		Jäähdytystavat	
		I	II	I	II
		<i>Passiivinen ja kon. Jäähdytys</i>	<i>Kon. jäähdytys</i>	<i>Passiivinen ja MLP vapaajäähdytys</i>	<i>MLP vapaajäähdytys</i>
2012	A	-2.5	-1.6	-2.2	-2.1
	B (ref.)	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	0.8	0.5	0.7	0.7
	D	1.3	0.8	1.1	1.1
	E	2.0	1.0	1.8	1.7
2050	A	-1.9	-1.1	-1.7	-1.6
	B (ref.)	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	0.6	0.4	0.6	0.5
	D	0.9	0.5	0.9	0.8
	E	1.4	0.6	1.3	1.2
2100	A	-1.2	-0.5	-1.2	-1.1
	B (ref.)	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	0.3	0.1	0.4	0.3
	D	0.5	0.1	0.5	0.5
	E	0.7	0.0	0.8	0.7

Toimiston lämmöneristystaso vs. ostoenergiainsäästö 2012-2100

Vuosi	Lämmöneristystaso	Ostoenergiainsäästö tilojen lämmityksessä ja jäähdytyksessä normi 2010 (B) tasoon verrattuna, kWh/m ² a					
		Lämmitystapa: Kaukolämpö		Lämmitystapa: MLP		Lämmitystapa: Kaukolämpö	
		Jäähdytystavat		Jäähdytystavat		Jäähdytystavat	
		I	II	I	II	III	IV
		Passiivinen ja kon. Jäähdytys	Kon. Jäähdytys	Passiivinen ja MLP vapaajäähdytys	MLP vapaajäähdytys	Passiivinen ja kaukojäähdytys	Kaukojäähdytys
2012	A	-6.7	-6.2	-2.2	-2.1	-6.5	-5.6
	B (ref.)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	1.9	1.7	0.6	0.6	1.8	1.5
	D	2.7	2.5	0.9	0.8	2.6	2.2
	E	4.9	4.4	1.6	1.5	4.7	3.9
2050	A	-5.9	-5.4	-1.9	-1.8	-5.7	-4.9
	B (ref.)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	1.7	1.5	0.5	0.5	1.6	1.3
	D	2.3	2.1	0.8	0.7	2.2	1.9
	E	4.2	3.8	1.4	1.3	4.0	3.3
2100	A	-4.7	-4.3	-1.6	-1.5	-4.6	-3.9
	B (ref.)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	1.3	1.2	0.4	0.4	1.2	1.1
	D	1.9	1.7	0.6	0.6	1.8	1.5
	E	3.4	3.1	1.1	1.1	3.1	2.7

Toimiston lämmöneristystason vaikutus E-lukuun 2012-2100

Vuosi	Lämmöneristystaso	Kok. energiansäästö tilojen lämmityksessä ja jäähdytyksessä normi 2010 (B) tasoon verrattuna, kWh/m ² a					
		Lämmitystapa: Kaukolämpö		Lämmitystapa: MLP		Lämmitystapa: Kaukolämpö	
		Jäähdytystavat		Jäähdytystavat		Jäähdytystavat	
		I	II	I	II	III	IV
		Passiivinen ja kon. Jäähdytys	Kon. jäähdytys	Passiivinen ja MLP vapaajäähdytys	MLP vapaajäähdytys	Passiivinen ja kaukojäähdytys	Kaukojäähdytys
2012	A	-4.6	-4.0	-3.8	-3.6	-4.7	-4.2
	B (ref.)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	1.3	1.1	1.1	1.0	1.3	1.2
	D	1.8	1.5	1.5	1.4	1.9	1.7
	E	3.3	2.7	2.7	2.6	3.4	3.0
2050	A	-4.0	-3.4	-3.3	-3.1	-4.1	-3.7
	B (ref.)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	1.1	0.9	0.9	0.9	1.1	1.0
	D	1.6	1.3	1.3	1.2	1.6	1.4
	E	2.8	2.3	2.4	2.2	2.9	2.5
2100	A	-3.2	-2.7	-2.6	-2.5	-3.3	-3.0
	B (ref.)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	C	0.8	0.8	0.7	0.7	0.9	0.8
	D	1.2	1.1	1.1	1.0	1.3	1.2
	E	2.2	1.9	1.9	1.8	2.3	2.1

Yhteenveto

- Rakennusten lämmitystarve vähenee tuntuvasti ja jäähdytystarve kasvaa merkittävästi kuluvan vuosisadan aikana Etelä-Suomessa, mikäli A2 mukainen ilmastonmuutosskenaario toteutuu.
- Tutkittujen rakennuksen vaipan osien lämmöneristys-tason lisääminen 2008 normitasoa paremmaksi kasvattaa rakennuksen jäähdytystarvetta.
- Rakennuksen jäähdytystarve tulee ensisijaisesti kattaa passiivisilla jäähdytysratkaisuilla ja vasta tarvittaessa koneellisilla jäähdytysratkaisuilla.

Yhteenveto

- Rakennusten ulkoseinien, yläpohjan ja alapohjan lämmöneristäminen Rakmk C3 (2010) normitasoa paremmaksi:
 - Parantaa kerrostalon ja toimistorakennuksen energiatehokkuutta niin vähän, ettei sitä voida pitää kannattavana energiansäästöratkaisuna.
 - Parantaa pientalon energiatehokkuutta selvästi enemmän ja sitä voidaan pitää yhtenä varteenotettavana energiansäästöratkaisuna käytetystä lämmitysjärjestelmästä riippuen.
- Lämmöneristyksen vaikutus rakennusten energiatehokkuuteen on sitä pienempi, mitä energiatehokkaampaa lämmitys-järjestelmää rakennuksessa käytetään.
- Tutkittujen vaipan osien lämmöneristystason lisäämisellä saavutettava energiansäästö tulee ilmastonmuutoksen myötä pienenevään, koska erityisesti talvien ennustetaan lämpenevän voimakkaammin kuin muiden vuodenaikojen.