

Joonas Risto

Passiivitason rakenteellinen energiatehokkuus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

13.3.2013

Tekijä(t) Otsikko	Joonas Risto Passiivitason rakenteellinen energiatehokkuus
Sivumäärä Aika	38 sivua + 7 liitettä 13.3.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennetekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Jouni Kalliomäki Erikoisasiantuntija Ari Ilomäki
<p>Insinöörityön tavoitteena oli tutkia passiivitasoisen rakentamisen etuja verrattuna Suomen rakentamismääräyskokoelman D3-osan (2012) määräykset täyttävään rakentamiseen. Insinöörityö tehtiin osana Rakennustuoteteollisuuden Rakenteellisen energiatehokkuuden passiivitason malliratkaisut 2012 -projektia (liite 1). Projekti kokosi yhteen turvallisia ja terveellisiä passiivitasoisen rakenteellisen energiatehokkuuden malliratkaisuja, jotka oli toteutettu eri eristemateriaaleilla.</p> <p>Insinöörityön ja Rakennustuoteteollisuuden projektin taustalla oli Euroopan Unionin asettama tavoite vähentää jäsenvaltioiden primäärienergian kulutusta 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä. Jatkuva energianhinnan nousu, ilmastonmuutoksen hillitseminen sekä riippuvaisuus tuontienergiasta ovat luoneet tarpeen energiankulutuksen vähentämiselle sekä energiatehokkuuden parantamiselle. Insinöörityö keskittyy rakenteiden energiatehokkuuteen, koska suurimmat energiansäästömahdollisuudet liittyvät rakennusten lämmitysenergiankulutukseen.</p> <p>Insinöörityössä tutkittiin rakenteiden lämmöneristyksen ja ilmatiiveyden vaikutusta rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen esimerkkikohteiden avulla. Lisäksi työssä tutkittiin passiivitasoisen rakentamisen etuja sekä sen aiheuttamia rakennusvaiheen lisäinvestointeja. Passiivitasoisen rakentamisen etuja tutkittiin asukkaille tehdyillä sisäilmastokyselyillä sekä energiankulutuksen elinkaarikustannuslaskelmilla. Rakentamisen edut todettiin vertaamalla passiivitasoista rakentamista nykyiset RakMK D3 (2012) -määräykset täyttävään rakentamiseen.</p> <p>Tutkimusten ja kyselyjen perusteella passiivitasoista rakentamista kannattaa suosia vaikka nykyiset määräykset eivät sitä vielä edellytäkään. Rakennusvaiheessa tehty investointi energiatehokkuuteen pienentää käytönaikaisia kustannuksia, hillitsee asumiskustannusten nousua energian hinnan noustessa sekä parantaa rakennuksen sisäilmastoa. Rakennusten energiatehokkuus vähentää myös käytönaikaisia kasvihuonekaasupäästöjä ja siten hillitsee ilmastonmuutosta.</p>	
Avainsanat	kokonaisenergiankulutus, e-luku, energiatehokkuus

Author(s) Title	Joonas Risto Passive Energy Efficiency in Structures
Number of Pages Date	38 pages + 7 appendices 13 th March 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructor(s)	Jouni Kalliomäki, Senior Lecturer Ari Ilomäki, Senior Adviser
<p>The objectives of this thesis were to study the advantages of passive construction in comparison to construction meeting the requirements of building code D3 (2012). The thesis was made as part of Passive Energy Solutions project 2012 (attachment 1) by Confederation of Finnish Construction Industries RT. The project implemented realized safe and healthy passive housing construction solutions made of various insulation materials.</p> <p>Both the project and this thesis were based on the goal set by the European Union for its member states to reduce primary energy consumption by 20 % by 2020. The continuous rise in energy prices, climate change mitigation, as well as the dependence on imported energy, have created a need for reduction of energy use and an increase in energy efficiency. The thesis focuses on the structural energy efficiency which creates the largest potential energy savings associated with heating energy consumption of buildings.</p> <p>The thesis studied the impact of thermal insulation and airtightness on the buildings' total energy consumption by comparing two different cases. As an outcome, advantages of passive houses and additional investments to energy efficiency in the construction phase are found. Indoor air quality surveys were conducted to the residents of selected realized passive houses. Also energy consumption and life-cycle cost assessments were made. The benefits of passive construction were found by comparing the passive housing to a building meeting the current building code requirements.</p> <p>Surveys and analysis revealed that passive construction is recommendable now although it is not yet required by the building code D3 (2012). Investments made to increased energy efficiency in the construction phase reduces the run-time costs, constrains housing costs as energy prices increase and improves the indoor climate of the building. Building energy efficiency also reduces greenhouse gas emissions and thus mitigates climate change.</p>	
Keywords	energy consumption, E-value, energy efficiency

Sisällys

Lyhenteet ja sanasto

1	Johdanto	1
2	Rakennusten energiatehokkuus	2
2.1	Lämmöneristysvaatimusten kehittyminen	3
2.2	Passiivitalo	4
3	Kokonaisenergiatarkastelu, RakMK D3 (2012)	6
3.1	RakMK D3 (2012) rakenne	6
3.2	Kokonaisenergiankulutus eli E-luku	7
3.3	Kokonaisenergiankulutuksen vaatimukset, RakMK D3 (2012)	9
3.3.1	Kesäajan huonelämpötilan hallinta	9
3.3.2	Ilmanpitävyys	10
3.3.3	Rakennuksen lämpöhäviöt	11
3.4	Määräystenmukaisuuden osoittaminen	11
4	Kokonaisenergiankulutus esimerkkikohteissa	12
4.1	Kohde-esittely	13
4.1.1	Määräykset täyttävän pientalon rakenneratkaisut	13
4.1.2	Passiivitasoisen pientalon rakenneratkaisut	17
4.2	Kokonaisenergiakulutuksen vertailu	19
5	Energiakustannusvertailu	21
5.1	Rakennuskustannukset	22
5.2	Energiakustannukset	24
5.3	Takaisinmaksuaika	26
5.4	Johtopäätökset	27
6	Passiivitalon sisäilmasto	28
6.1	Sisäilmastokyselyt	29
6.2	Johtopäätökset	30
7	Rakenteiden kosteustekninen toiminta	33
8	Energiatehokkuuden kehitysnäkymät Suomessa	34

9	Yhteenveto	35
	Lähteet	37
	Liitteet	
	Liite 1. Rakenteellisen energiatehokkuuden passiivitason malliratkaisut 2012	
	Liite 2. Pohjapiirustus, Design-Talo Hailuoto 186A	
	Liite 3. Rakenneleikkaukset, määräykset täyttävä pientalo	
	Liite 4. Rakenneleikkaukset, passiivitalo	
	Liite 5. Energiaselvitys, määräykset täyttävä pientalo	
	Liite 6. Energiaselvitys, passiivitalo	
	Liite 7. Passiivitalojen sisäilmastokyselylomake	

Lyhenteet ja sanasto

Dynaaminen laskentatyökalu	Työkalu, jonka lämmönsiirron laskenta pystyy ottamaan huomioon rakenteiden lämmönvarausominaisuuden ajasta riippuvaisena.
E-luku	Rakennuksen kokonaisenergiankulutus, joka lasketaan rakennukseen ostettavien energioiden ja energiamuotojen kertoimien tulona ((kWh/m ²)/a).
Ilmanvuotoluku n ₅₀	Rakennusvaipan keskimääräinen vuotoilmavirta tunnissa 50 Pascalin paine-erolla kokonaissämittojen mukaan laskettuna rakennuksen sisätilavuutta kohden (1/h).
Ilmanvuotoluku q ₅₀	Rakennusvaipan keskimääräinen vuotoilmavirta tunnissa 50 Pascalin paine-erolla kokonaissämittojen mukaan laskettuna rakennusvaipan pinta-alaa kohden (m ³ /(h*m ²)).
LTO	Lämmöntalteenotto. LTO -koneen hyötysuhde kertoo kuinka paljon poistoilman lämpöenergiasta voidaan siirtää tuloilmaan.
Lämmönjohtavuus	Kuvaa kuinka hyvin jokin materiaali johtaa lämpöä, mitä suurempi arvo λ:lle saadaan, sitä paremmin lämpö materiaalista johtuu. Yksikkönä lämmönjohtavuudella käytetään W/(K*m).
Rakennuksen vaippa	Rakennuksen ulkoseinät, ylä- ja alapohja sekä ovet ja ikkunat muodostavat rakennuksen vaipan.
RakMK	Rakentamismääräyskokoelma
U-arvo	Lämmöneristyskerroin, joka ilmaisee, kuinka paljon lämpöenergiaa johtuu neliometriä kohden rakenteen läpi jokaista sisä- ja ulkolämpötilaeron lämpötila-astetta kohti (W/(m ² K)).

1 Johdanto

Suomessa rakennusten energiatehokkuutta koskevat määräykset ovat viimeisen vuosikymmenen aikana kiristyneet kovaa vauhtia ja ne tulevat kiristymään entisestään rakentamisen mennessä kohti nollaenergiatasoa. Energiankulutus sekä kestävä kehitys ovat nousseet rakentamisen ohjaaviksi tekijöiksi. Suomessa uudisrakentamista koskevat uudet energiamääräykset astuivat voimaan 1.7.2012. Muuttuneiden energiamääräysten myötä uudisrakennuksille lasketaan rakennuksen kokonaisenergian käyttöä määrittelevä E-luku, joka ohjaa rakentamisen tulevaisuuden näkymiä kohti nollaenergiatasoa vuoteen 2020 mennessä.

Energiamääräysten kiristyminen rakentamisessa perustuu vahvasti kansainvälisiin sopimuksiin sekä erilaisiin energiansäästöohjelmiin. Uusien voimaan tulleiden määräysten taustalla on Euroopan Unionin asettama tavoite vähentää primäärienergian kulutusta 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä. Tämä tarve johtuu yhä kasvavasta riippuvuudesta energian tuontiin, niukoista energiavaroista ja tarpeesta rajoittaa ilmastonmuutosta. Energiatehokkuus parantaa Unionin energiansaannin varmuutta vähentämällä primäärienergian kulutusta ja energian tuontia. Lisäksi se auttaa vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä ja siten hillitsemään ilmastonmuutosta. [1, s. 10-11.]

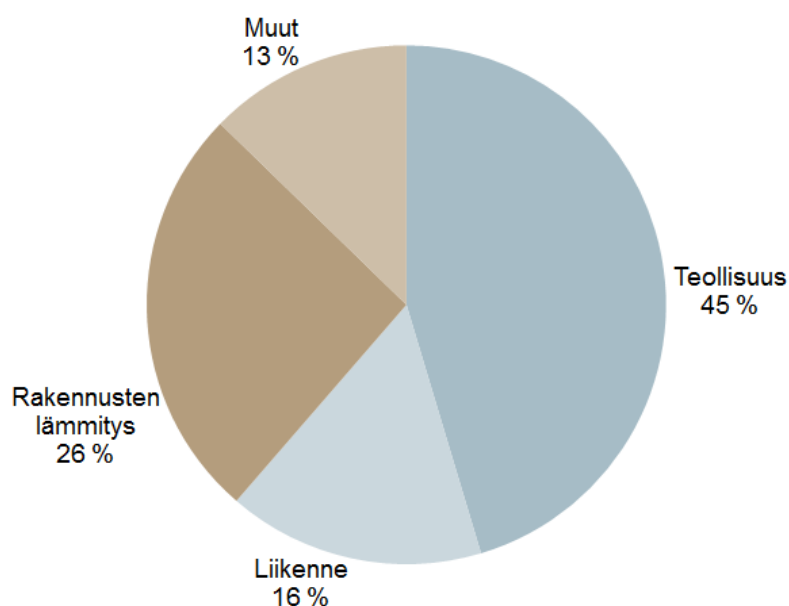
Suurimmat energiansäästömahdollisuudet liittyvät rakennuksiin. Energian loppukulutuksesta asuinrakennusten, julkisten ja yksityisten toimistojen, kauppojen ja muiden rakennusten osuus on lähes 40 prosenttia. Asuintaloissa tästä menee lähes kaksi kolmasosaa lämmitykseen. Ilman hyvin lämmöneristettyä rakennusvaippaa ei voida toteuttaa energiatehokkaasti toimivaa rakennusta. Tulevaisuuden energiatehokkuusmääräykset tähtäävätkin vahvasti passiivi- sekä lähes nollaenergiarakentamiseen.

Rakennustuoteteollisuudelle tehdyn Rakenteellisen energiatehokkuuden passiivitaso malliratkaisut 2012 -projektin tavoitteena oli, että uudisrakennukset voisivat saavuttaa rakennuksen vaipparakenteiden osalta vuoden 2020 määräystason edellyttämän lähes nollaenergia -tason vaatimukset. Tämä edellyttää 2012 energiamääräysten mukaisesti toteutettujen uudisrakennusten toteuttamista vaipparakenteiden osalta vastaamaan vähintään passiivitasoa. [16, s. 1.] Projektin loppuraporttiin on koottu yhteen turvallisia ja terveellisiä passiivitaso rakenteellisen energiatehokkuuden malliratkaisuja. Raportin sisällysluettelo, johdanto ja kohteiden koontitaulukko on esitetty liitteessä 1.

Insinööriyössä käsitellään passiivitasoista rakentamista pientaloratkaisuissa, ja arvioidaan passiivitasoisesta rakentamisesta aiheutuvia rakennuskustannuksia sekä niillä saavutettavia energiansäästöjä. Lisäksi työssä tutkitaan passiivitasoisten rakennusten sisäilmaston laatua asukkaille teetetyillä sisäilmastokyselyillä. Työssä arvioidaan myös energiatehokkaan rakentamisen etuja verrattuna nykyiset D3 (2012) määräykset täytävään rakentamiseen. Työn lopputuloksena todetaan passiivitasoisen rakentamisen edut ja rakennuksen elinkaaren aikana energiatehokkuudella saavutettavat energiakustannussäästöt.

2 Rakennusten energiatehokkuus

Euroopan Unionin ilmasto- ja energiapolitiikka on sitoutunut vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä 20 prosentilla, nostamaan uusiutuvien energialähteiden käytön osuutta 20 prosenttiin energian loppukulutuksesta sekä parantamaan energiatehokkuutta 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä. Nämä tavoitteet ovat osa Eurooppa 2020 -strategian yleistavoitteista, joiden tarkoituksena on älykäs ja kestävä kasvu. Suomessa 2012 voimaan astuneiden energiamääräysten tavoitteena on tukea näitä tavoitteita [2, s. 1]. Suurimmat energiansäästömahdollisuudet liittyvät rakennuksiin ja erityisesti niiden lämmitysenergian tarpeeseen. Tämä näkyy kuviossa 1 esitetystä energian loppukäytön jakautumisesta sektoreittain.



Kuvio 1. Energian loppukäytön jakaantuminen sektoreittain 2011 [3].

Yli puolet asumisen energiankulutuksesta kuluu lämmitykseen, viidennes käyttöveden lämmitykseen ja loput kodin sähkölaitteisiin ja valaistukseen [4, s. 2]. Juuri lämmitystarpeen vähentäminen on yksi suurimmista mahdollisuuksista energiatehokkuuden parantamisessa. Tästä syystä Suomi on sitoutunut kiristämään uudisrakennusten energiatehokkuusmääräyksiä lähes nollaenergia-tasoon vuoteen 2020 mennessä. Rakennusten energiatehokkuus vähentää niiden lämmitystarvetta, joka vaikuttaa suoraan myös energiantuotannosta aiheutuviin kasvihuonekaasupäästöihin, ja sitä kautta pienentää rakentamisen ja asumisen ympäristövaikutuksia.

2.1 Lämmöneristysvaatimusten kehittyminen

Suomessa rakennusten energiatehokkuutta koskevat määräykset annettiin ensimmäisen kerran vuonna 1976, josta vuoteen 2012 asti määräyksissä tarkasteltiin energiatehokkuutta rakennusosakohtaisesti. Nyt voimaan tulleet vuoden 2012 energiamääräykset RakMK D3 (2012) muuttivat energiatehokkuuden ohjauksen kokonaan uuteen suuntaan. Uusissa energiatehokkuusvaatimuksissa ei enää aseteta vaatimuksia rakennusosakohtaisesti vaan sen sijaan vaatimukset koskevat rakennusten kokonaisenergiankulutusta. Tämä antaa suunnittelijoille mahdollisuuden entistä luovempiin rakennusten suunnitteluratkaisuihin. Uudisrakentamisen energiamääräykset RakMK D3 (2012) annettiin 30.3.2011 ja ne astuivat voimaan 1.7.2012.

Suomessa vuonna 1976 ensimmäistä kertaa annetut energiamääräykset olivat erittäin edistyksellisiä kansainvälisesti vertaillen. Suomesta tulikin energiatehokkuuden pioneeri 1970- ja 1980-luvuilla. Kuitenkin vuoden 1978 jälkeen energiamääräysten kehitys pysähtyi lähes paikalleen 30 vuodeksi. Vasta vuonna 2010 energiamääräyksiä alettiin jälleen tiukentaa. Silloiset määräykset annettiin vielä kehityksen jalkoihin jääneillä osakohtaisilla vaatimuksilla lämpöhäviöitä ja ilmanvaihdon puhallinsähköä rajoittaen. [5, s. 4].

Rakennusten energiatehokkuuden tarkastelu siirtyikin vuoden 2012 energiamääräysten mukana uudenlaiseen energiatehokkuuden ohjaukseen, jossa siirrytään rakennuksen lämpöhäviöistä kokonaisenergiatarkasteluun. Rakennuksen energiatehokkuutta tarkastellaan laskennallisena energialukuna eli E-lukuna, joka ilmoittaa vuotuisen energiankulutuksen lämmitettyä nettoalaa kohden huomioiden käytetyn energiamuodon. Rakennuksen kulutuksen pitää pysyä sallituissa rajoissa, mutta keinot miten siihen päästään,

on vapaasti valittavissa. Näin energiatehokkuusratkaisut kilpailevat keskenään samoilla ehdoilla, mikä edistää rakentamisen kehittymistä. Pientalon E-lukuvaatimus riippuu rakennuksen pinta-alasta. Taulukossa 1 on esitetty rakentamismääräysten kehittyminen ja E-luku vaatimukset 150 m² pientalolle. Hirsirakenteisille taloille sallitun E-luvun raja-arvo on 25 kWh/m² suurempi kuin muilla runkorakennusratkaisuilla. Hirsitaloille on annettu määräyksissä helpotusta, koska halutaan turvata perinteikkään ja ympäristöystävällisen rakennustavan jatkuminen. [6, s. 16.]

Taulukko 1. Rakentamismääräysten kehittyminen vuosien 1976 – 2010 osakohtaisista vaatimuksista vuoden 2012 kokonaisenergiatarkasteluun [5, s. 5].

	C3 1976	C3 1978	C3 1985	C3 2003	C3 2007	C3 2010	D3 2012
Ulkoseinä, W/(m ² K)	0,40	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17
Yläpohja, W/(m ² K)	0,35	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Maanvarainen alapohja, W/(m ² K)	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Ikkuna, W/(m ² K)	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,0
Lämpöhäviön kompensatoraja, %				10	20	30	vapaa
Ilmanpitävyys 50 Pa paine-erolla				n ₅₀ = 4,0	n ₅₀ = 4,0	n ₅₀ = 4,0	q ₅₀ = 4,0
LTO:n vuosihyötysuhde, %				30	30	45	45
Iv:n ominaissähköteho, kW/(m ³ s)				2,5	2,5	2,5	2,0
E-luku 150 m ² pientalolle, kWh/(m ² a)							162
E-luku 150 m ² hirsitalolle, kWh/(m ² a)							187

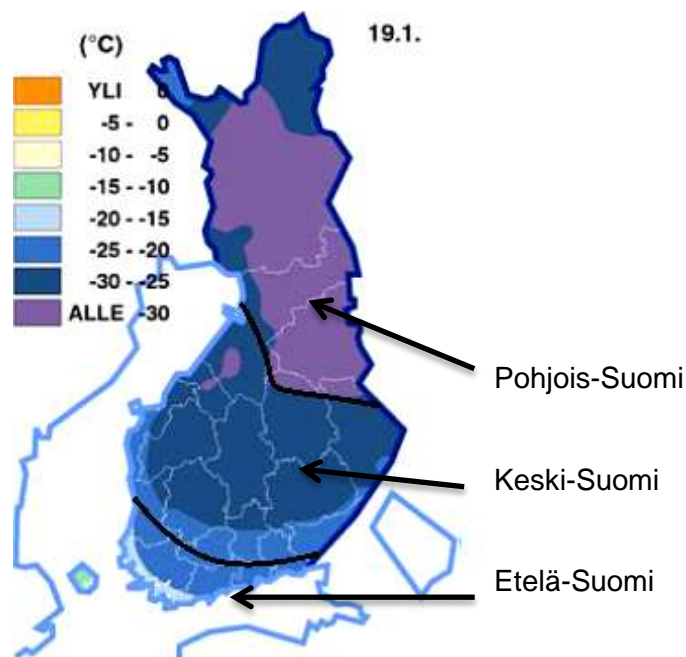
Uuteen laskentatapaan siirtyminen oli osa Eurooppa 2020 -strategian toteuttamista, jonka tarkoituksena on vähentää primäärienergian kulutusta 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä. Tämä tarkoittaa asteittaista siirtymistä kohti lähes nollaenergiarakentamista vuoteen 2021 mennessä, minkä on tarkoitus tapahtua Euroopan laajuisesti. Vaatimustasomielessä vuoden 2012 muutos on enemmän menetelmämuutos ja energiatehokkuuden parantaminen lähes nollaenergiatasolle jääkin seuraavien määräysuudistusten hoidettavaksi [7].

2.2 Passiivitalo

Passiivitalo on vapaaehtoisesti asetettava tavoite rakennuksen energiatehokkuudelle. Konseptina ideana on saavuttaa hyvä sisäilmasto sekä matalat elinkaarikustannukset pienellä energiankulutuksella. Tällaisten talojen energiansäästö perustuu yksinkertaiseen energiansäästökäytännöihin: lämpöhäviöiden pienentämiseen lämmöneristämisen, rakenteiden ilmanpitävyyden ja ilmanvaihdon lämmön talteenoton avulla. [9.] Ul-

kovaipan lämpöhäviöiden minimointi rakenteiden kautta varmistetaan riittävällä lämmöneristämällä sekä vaipan ilmatiiveydellä. Hyvä ilmatiiveys vaatii myös hyvin lämpöä eristävien ikkunoiden ja ulko-ovien käyttöä. Passiivisuus viittaa siihen, että energiansäästökeinojen pääpaino ei ole teknisissä laitteissa. Lämmönlähteenä käytetään ihmisistä, kotieläimistä sekä kodinelektronikasta saatavaa lämpöenergiaa. Passiivitalo ei ole rakennuskonsepti eikä tarkalleen ottaen myöskään standardi, vaan vapaaehtoisesti asetettava energiatehokkuustavoite. [9.]

Passiivitalo määrittellään rakennuksen kokonaisprimäärienergiantarpeen, tilojen lämmitysenergiantarpeen sekä mittausperusteisen rakennuksen ilmanvuotoluvun mukaan. Suomalaisen passiivitalon energiankulutusvaatimusten aluejako on esitetty kuviossa 2 ja keskeiset passiivitalon energiankulutusvaatimukset alueittain on esitetty taulukossa 2.



Kuvio 2. Passiivitalon energiankulutuksen vaatimusalueet Suomessa [8].

Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa on kansalliset passiivitalomääritelmät, jotka poikkeavat kansainvälisestä passiivitalomääritelmästä pohjoisen ilmaston aiheuttamien haasteiden vuoksi. Suomalaisen passiivitalon määritelmän pinta-alana käytetään lämmitettävää bruttoalaa.

Taulukko 2. Suomalaisen passiivitalon vaatimukset alueittain [8].

	Etelä-Suomi	Keski-Suomi	Pohjois-Suomi
Lämmitysenergian tarve	$\leq 20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$	$\leq 25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$	$\leq 30 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Kokonaisprimäärienergian tarve	$\leq 130 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$	$\leq 135 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$	$\leq 140 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Ilmavuotoluku n_{50}	$\leq 0.6 \text{ 1/h}$	$\leq 0.6 \text{ 1/h}$	$\leq 0.6 \text{ 1/h}$

Primäärienergiatarve sisältää kaiken lämmöntarpeen ja lämpimän käyttöveden sekä kaiken talotekniikan että kotitalouden vaatiman sähkönkulutuksen eri energialähteiden primäärienergiakertoimilla painotettuna. Passiivitalon rakenneosille ei ole olemassa varsinaisia U-arvovaatimuksia, kunhan edellä mainitut kriteerit täyttyvät.

3 Kokonaisenergiatarkastelu, RakMK D3 (2012)

3.1 RakMK D3 (2012) rakenne

RakMK D3 (2012) esittää rakennusten energiatehokkuuden vaatimukset keskitetysti ja se on jaettu kolmeen keskeiseen osaan:

- Energiatehokkuuden vaatimukset
- Energialaskennan lähtötiedot
- Energialaskennan laskentasäännöt.

Energiatehokkuuden vaatimuksista kaksi ensimmäistä ovat määräävässä, vahvasti suunnittelua ohjaavassa asemassa, muiden ollessa täydentäviä ja vähempimerkityksellisiä [1, s. 7]. RakMK D3 (2012) Rakennusten energiatehokkuus vaatimukset:

- 2.1 Rakennuksen kokonaisenergiankulutus (E-luku)
- 2.2 Kesäajan huonelämpötilan hallinta
- 2.3 Rakennusvaipan ilmanpitävyys
- 2.4 Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien enimmäisarvot
- 2.5 Rakennuksen lämpöhäviöt

- 2.6 Ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuus
- 2.7 Rakennuksen lämmitysjärjestelmän tehot
- 2.8 Energiankäytön mittaaminen
- 2.9 Määräaikaiset rakennukset
- 2.10 Loma-asunnot.

Lisäksi RakMK D3:ssa annettuja vaatimuksia ja laskentasääntöjä täydentävät RakMK C4 ohjeet lämmöneristyksistä ja RakMK D5 ohjeet energiankulutuksen ja lämmityshontarpeen laskennasta.

3.2 Kokonaisenergiankulutus eli E-luku

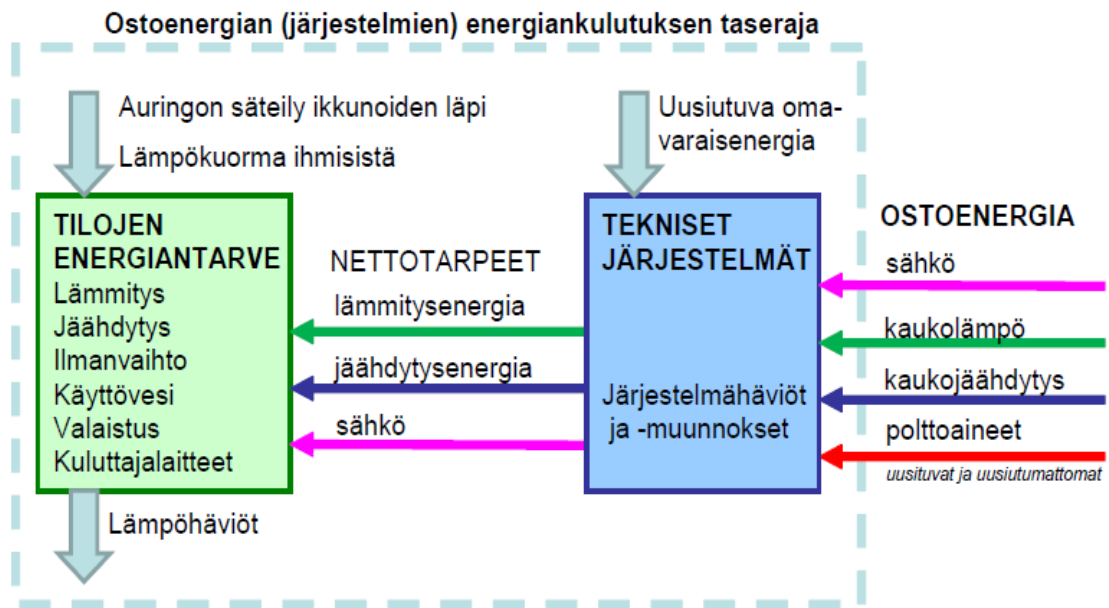
Uusissa energiatehokkuusmääräyksissä kokonaisenergiankulutusvaatimus esitetään suorituspohjaisella E-luvulla, joka lasketaan rakennukseen ostettavien energioiden ja energiamuotojen kertoimien tulona ja ilmaistaan kWh/m² vuodessa yksiköllä:

$$E\text{-luku} = \frac{\sum \text{rakennukseen ostettu energia} \times \text{energiamuodon kerroin}}{\text{lämmitetty nettoala}}$$

Uusi tapa jättää keinot vaaditun energiatehokkuuden saavuttamiseksi vapaaksi, joka mahdollistaa hankekohtaisen suunnittelun. Aikaisemmasta poiketen RakMK D3 (2012) ottaa huomioon energiamuodot ja lämmitystavat, mikä on erityisen tärkeää kuluttajan kannalta. Enää ei voida rakentaa ja myydä taloja, joissa rakennuttajien säästämät investointikustannukset on siirretty käyttäjien maksettavaksi suurien energialaskujen muodossa. Muutos tulee johtamaan arvokkaan sähköenergian käytön vähenemiseen erityisesti rakennusten lämmityksessä, mutta myös muissa kulutuskohteissa. Suurimmasta energiamuodon kertoimesta johtuen sähköenergian käytön tehostamisella on myös suurin vaikutus E-lukuun. [5, s. 5.]

E-luvun laskemiseksi pitää laskea ostoenergian kulutus. Laskennassa käytettävä ostoenergian taseraja (kuvio 3) voidaan ajatella kulkevan pitkän tontin rajaa. Kokonaisenergiankulutuksen ratkaisee se, miten paljon energiaa joudutaan ostamaan taserajan yli energiaverkoista tai polttoaineina. [5, s. 9.] Siihen kuuluvat rakennukseen ostettu sähkö, kaukolämpö tai -jäähdytys tai polttoaineen lämpöarvo.

Ostoenergian kulutus kertoo, kuinka paljon sähköä, kaukolämpöä tai polttoainetta tarvitaan vuodessa lämmitettyä nettoalaa kohden. E-luku ei kuitenkaan kerro rakennuksen todellista energiankulutusta, vaan se lasketaan rakennuksen vakioidulle käytölle. Lämmitetty nettoala lasketaan ulkoseinien sisämittojen mukaan. Se voidaan myös laskea vähentämällä lämmitetystä bruttoalasta ulkoseinien rakennusosa-ala. Lämmitetty bruttoala lasketaan ulkoseinien ulkomittojen mukaan.



Kuvio 3. Ostoenergiankulutuksen taseraja [6, s. 3].

E-luku saadaan laskemalla yhteen ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulot energiamuodoittain. E-luvun laskennassa käytettävät energiamuotojen kertoimet on esitetty taulukossa 3. Energiamuotojen kertoimet tarvitaankin, jotta sähkö ja lämmöt sekä polttoaineet voitaisiin laskea yhteismitallistetulla tavalla yhteen.

Taulukko 3. RakMK D3 (2012) E-luvun laskennassa käytettävät energiamuotojen kertoimet [6, s.4].

Energiamuodon kerroin	
Sähkö	1,7
Kaukolämpö	0,7
Kaukojäähdytys	0,4
Fossiiliset polttoaineet	1
Uusiutuvat polttoaineet	0,5

Kertoimet tarkoittavat, että sähkö on 2,4 kertaa arvokkaampaa kuin kaukolämpö ja 3,4 kertaa arvokkaampaa kuin puu tai pelletti E-luvun laskennassa. Kertoimet ovat samansuuntaisia energian hintojen kanssa, mutta niiden määrittämisen peruste on ollut primäärienergia, erityisesti uusiutumattomien luonnonvarojen käyttäminen [5, s. 6].

3.3 Kokonaisenergiankulutuksen vaatimukset, RakMK D3 (2012)

Energiatehokkuuden vaatimukset koskevat uusia asuin- ja työpaikka- ym. rakennuksia, joissa käytetään energiaa ainakin tilojen ja ilmanvaihdon lämmitykseen sisäilmasto-olosuhteiden ylläpitämiseksi. Rakennukset on jaettu yhdeksään käyttötarkoituserluokkaan, joista ensimmäiselle kahdeksalle on E-luvun vaatimukset ja viimeistä, muut rakennukset -luokkaa, koskevat ainoastaan rakennuksen lämpöhäviön vaatimukset. Rakennusten käyttötarkoituserluokat ja E-lukuvaatimukset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. RakMK D3 (2012) mukaiset uudisrakennusten E-lukuvaatimukset käyttötarkoituserluokittain [6, s. 4].

Luokka 1	Erillinen pientalo, rivi- ja ketjutalo	Lämmitetty nettoala, A_{netto}	kWh/m ² vuodessa
	Pientalo	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	204
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$372 - 1,4 \cdot A_{\text{netto}}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$173 - 0,07 \cdot A_{\text{netto}}$
		$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	130
	Hirsitalo	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	229
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$397 - 1,4 \cdot A_{\text{netto}}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$198 - 0,07 \cdot A_{\text{netto}}$
		$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	155
	Rivi- ja ketjutalo		150
Luokka 2	Asuin kerrostalo		130
Luokka 3	Toimistorakennus		170
Luokka 4	Liikerakennus		240
Luokka 5	Majoitusliikerakennus		240
Luokka 6	Opetusrakennus ja päiväkot		170
Luokka 7	Liikuntahalli pois lukien uima- ja jäähalli		170
Luokka 8	Sairaala		450
Luokka 9	Muut rakennukset ja määräaikaiset rakennukset		E-luku on laskettava, mutta sille ei ole asetettu vaatimusta

3.3.1 Kesäajan huonelämpötilan hallinta

Kesäajan huonelämpötilalle on esitetty vaatimuksia Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 (2012) Rakennusten energiatehokkuus, jonka tarkoituksena on estää energiatehokkuuden parantaminen sisäolosuhteiden kustannuksella. Lisäksi RakMK D2 (2012) Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto esittää edellytyksiä turvallisuudelle ja terveelliselle sisäilmastolle. Käytännössä on huomattu, että rakennukset ylläpenevät helposti keväällä ja syksylläkin, kesästä puhumatta, ellei asiaa ole otettu suunnittelussa huomioon [5, s. 10]. Vaatimuksissa rakennusten huonelämpötila ei saa ylittää kohdan jäähdytysrajan arvoa enemmän kuin 150 astetuntia 1. kesäkuuta ja 31. elokuuta välisenä aikana RakMK D3 (2012) liitteen 2 säävyöhykkeen I säätiedoilla, taulukon 3 sisäisillä lämpökuormilla ja suunnitelluilla ilmamäärillä laskettuna [6, s. 4].

Määräyskokoelman osassa D3 (2012) vaaditulla tarkastelulla osoitetaan rakennuslupavaiheessa suunnitteluratkaisun kesäajan laskennallinen huonelämpötilojen vaatimustenmukaisuus tilojen standardikäytöllä ja säällä. Laskennallinen tarkastelu tulee päivittää toteutuksen muutoksilla kohteen valmistumisen yhteydessä osana energiaselvitystä. Kuitenkaan käyttötarkoituksiluokkaan 1 (erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot) ja 9 (muut rakennukset) kuuluvissa rakennuksissa ei tarvitse suorittaa kesäajan huonelämpötilan laskentaa. Käyttötarkoitukseluokat on esitetty kohdan 3.3 taulukossa 4.

Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksen täyttämiseksi voi olla tarpeen jäähdytysjärjestelmän käyttäminen, jolloin kokonaisenergiankulutuksen sisällytetään jäähdytysjärjestelmän energiankulutus [6, s. 4].

3.3.2 Ilmanpitävyys

Rakennusvaipan ilmanpitävyys muuttui uusien energiamääräysten myötä tarkastelemaan ilmanpitävyyttä rakennusvaipan pinta-alaa kohden (q_{50} -luku). Aikaisemmin ilmanpitävyyttä oli tarkasteltu rakennuksen tilavuutta kohden (n_{50} -luku). Uusi ilmanvuotoluku q_{50} ilmoittaa vuotoilmavirran m^3/h tarkasteltavan rakenteen pinta-alayksikköä kohden 50 Pascalin paine-erolla. Ilmanvuotoluvulla tarkoitetaan rakennusvaipan keskimääräistä ilmanvuotolukua, joka on RakMK D3 (2012) rakennusten energiatehokkuusmääräyksissä rajoitettu arvoon 4 ($m^3/(h \cdot m^2)$). Tämä on rakennuksille asetettu minimivaatimus, jota huonompaa rakennusta ei saa rakentaa, lukuun ottamatta poikkeustapauksia. [5, s. 11.]

Minimivaatimusta parempi ilmanpitävyys eli pienempi ilmavuotoluku voidaan osoittaa mittaamalla tai muulla menettelyllä, jolla tarkoitetaan teollisesti valmistettujen asuinrakennusten laadunvarmistusmenettelyä, eli ns. ilmoitusmenettelyä, jossa toimittaja takaa enimmäisilmavuotoluvun. Jos ilmanpitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai muulla menettelyllä, rakennusvaipan ilmavuotolukuna käytetään $4 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Lämpöhäviöiden tasauslaskennassa käytettävä vertailuarvo on $2 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. [5, s. 12.]

3.3.3 Rakennuksen lämpöhäviöt

Rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon lämpöhäviötä rajoitetaan hyvän energiatehokkuuden saavuttamiseksi. Lämpöhäviön määräystenmukaisuus osoitetaan tasauslaskelmalla, joka tehdään erikseen lämpimille ja puolilämpimille tiloille. Rakennuksen lämpöhäviö saa olla enintään yhtä suuri kuin RakMK D3 (2012) määräyksien mukaisilla vertailuarvoilla rakennukselle määritetty vertailulämpöhäviö [6, s. 5].

Lämpöhäviölaskennassa käytetään suunnitellun rakennuksen koko- ja geometriatietoja. Vaipan eri rakennusosien pinta-alat määritetään rakennuksen kokonaissämittojen mukaan. [6, s. 5.] Rakennuksen vaipan lämpöhäviö lasketaan seuraavan yhtälön mukaan:

$$\sum H_{\text{joht}} = \sum (U_{\text{ulkoseinä}} A_{\text{ulkoseinä}}) + \sum (U_{\text{yläpohja}} A_{\text{yläpohja}}) + \sum (U_{\text{alapohja}} A_{\text{alapohja}}) + \sum (U_{\text{ikkuna}} A_{\text{ikkuna}}) + \sum (U_{\text{ovi}} A_{\text{ovi}}), \text{ jossa}$$

H_{joht} rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö, W/K

U rakennusosan lämmönläpäisykerroin, $W/(\text{m}^2\text{K})$

A rakennusosan pinta-ala, m^2

3.4 Määräystenmukaisuuden osoittaminen

Määräystenmukaisuus osoitetaan rakennuslupaa haettaessa energiaselvityksellä. Energiaselvitys on päivitettävä ja pääsuunnittelijan on varmennettava se ennen rakennuksen käyttöönottoa. Energiaselvitys sisältää yleensä seuraavat tarkastelut [6, s. 10]:

- rakennuksen kokonaisenergiankulutus (E-luku)

- energialaskennan lähtötiedot ja tulokset RakMK D3 (2012) kohdan 5.3 mukaan
- kesäaikainen huonelämpötila RakMK D3 (2012) kohdan 2.2 mukaan ja tarvittaessa jäähdytysteho
- rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuus RakMK D3 (2012) kohdan 2.4 mukaan
- rakennuksen lämmitysteho mitoitustilanteessa
- rakennuksen energiatodistus.

Laskennassa tulee laskea vähintään lämmitysenergian nettotarve ja mikäli tarkasteltavassa rakennuksessa on jäähdytysjärjestelmä, niin myös jäähdytysenergian nettotarve. Nettotarpeen kautta saadaan laskettua loput energialaskennan arvot, kuten järjestelmien energiankulutus, ostoenergia ja lopulta E-luku.

Rakennusten, joissa ei ole jäähdytystä tai jäähdytystä on vain yksittäisissä tiloissa, energialaskenta voidaan suorittaa laskentatyökalulla, joka perustuu kuukausitason laskentamenetelmään. Kaikkien muiden rakennusten energialaskenta pitää suorittaa dynaamisella simuloinnilla. Tämä tarkoittaa laskentatyökaluja, joiden lämmönsiirron laskenta pystyy ottamaan huomioon rakenteiden lämmönvarausominaisuuden ajasta riippuvaisena. Tämä johtuu siitä, että jäähdytystä laskettaessa lämmön varastoitumisen huomiotta jättäminen aiheuttaisi moninkertaisen jäähdytyksen ylimitoituksen. Lisäksi kesäajan huonelämpötilan laskenta tulee suorittaa dynaamisella laskentatyökalulla. Dynaamisen laskentatyökalun kelpoisuus tulee osoittaa puolueettoman tahon validointiraportilla. [5, s. 22.]a

4 Kokonaisenergiankulutus esimerkkikohteissa

Kokonaisenergiankulutuksen laskentaan valittiin kaksi esimerkkikohdetta. Esimerkkikohteet ovat rakennetyypeiltään samanlaiset, mutta niiden erot muodostuvat rakenteiden lämmöneristävyydestä ja vaipan ilmatiiveydestä. Kohteet ovat puurunkoisia kaksikerroksisia omakotitaloja, jotka ovat pohjaratkaisultaan Design-Talon Hailuoto 186A mukaisia (liite 2). Ensimmäinen kohde on suunniteltu täyttämään juuri RakMK D3 (2012) mukaiset energiamääräykset. Toinen kohteista on suomalaiset passiivitalokriteerit täyttävä Design-Talon Kokkolan asuntomessuille 2011 toteuttamaan Hailuoto 186A perustuva pientalo.

Yhdenvertaisen vertailun mahdollistamiseksi, on laskentaa varten valittu molempiin kohteisiin sama pohjaratkaisu, samat talotekniset järjestelmät ja samat käytettävät energialähteet. Tämä mahdollistaa kohteiden kokonaisenergiankulutuksen vertailun pelkästään rakenteellisen energiatehokkuuden avulla. Rakenteellinen ero muodostuu rakennuksen vaipan eristevahvuuksien muuttumisesta ja ilmatiiveyden paranemisesta. Rakenteellisen energiatehokkuuden vaikutuksia tutkitaan saatavilla energiasäästöillä rakennuksen elinkaaren aikana.

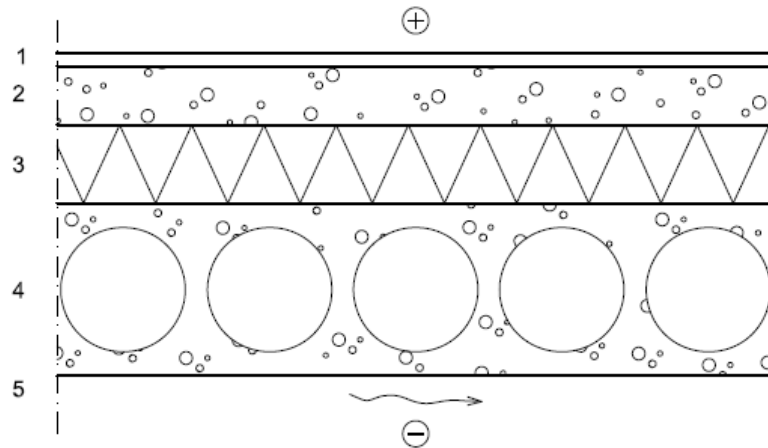
4.1 Kohde-esittely

Esimerkkikohteet sijaitsevat Kokkolassa, joka sijoittuu ilmastovyöhykkeelle II. Rakennukset ovat kaksikerroksisia puurunkoisia omakotitaloja, joiden vaipan lämmöneristävyykertoimet (U-arvot) poikkeavat toisistaan. U-arvojen johdosta myös rakennusten ilmanvuotoluvut poikkeavat toisistaan. Rakennusten maanpäällinen kerrosala on 193 m², tilavuus on 400 m³ ja RakMK D3 (2012) mukainen lämmitetty nettoala 156 m². Rakennusten lämmitysjärjestelmänä toimii vesikiertoinen lattialämmitys, jonka lämmöntuotto tapahtuu täysin kaukolämmöllä. Ilmanvaihtokoneeksi valittiin laskentaohjelmasta löytyvä Sunair 431 EC-LT (31-106 L/s), jonka lämmöntalteenotto on 74 prosenttia. Ilmanvaihtokoneessa on lämmitysjärjestelmään kytketty vesikiertoinen jälkilämmityspatteri. Omaa sähköntuotantoa ei ole kummassakaan esimerkkikohteessa.

4.1.1 Määräykset täyttävän pientalon rakenneratkaisut

Perustukset ja alapohjarakenne

Rakennuksessa on tuuletettu alapohja, joka on kannatettu 200 - 265 mm teräsbetoniontelolaatoilla. Ontelolaatan pinnalla on lämmöneristykseenä 120 mm SPU AL-eriste, jonka päälle on valettu 80 mm teräsbetonilaatta. Alapohjan U-arvo on 0,17 W/m²K. Alapohjarakenne on esitetty kuvassa 1 sekä liitteessä 3.

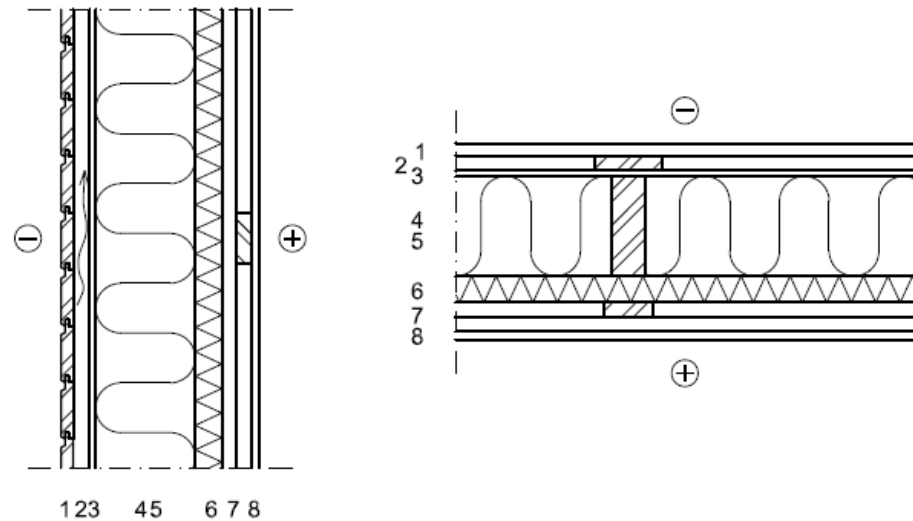


Rakenne	1	Pintamateriaalit/käsittely
	2	Betonivalu rakennesuunnitelmien mukaan
	3	SPU AL 120, saumat vaahdotetaan
	4	Kantava ontelolaatta rakennesuunnitelmien mukaan
	5	Tuulettuva tila
U-arvo		0,17 W/m ² K (SPU AL λ_U 0,023 W/mK)

Kuva 1. Määräykset täyttävän kohteen alaphjarakenne [10.]

Ulkoseinärakenne

Rakennuksessa on puurunkoinen ulkoseinä, jonka ulkoverhouksena on vaakapanelointi. Ulkoverhouksen takana on 22 mm pystykoolaus, joka toimii rakenteen tuuletusrakona. Pystykoolauksen takana on tuulensuojana 9 mm tuulensuojakipsilevy, joka on kiinni rakennuksen kantavassa pystyrungossa. Pystyrungon välissä on lämmöneristyksenä 150 mm mineraalivillaa ja rungon sisäpinnassa 40 mm SPU AL-eriste. Lämmöneristyksen sisäpinnassa on 22 mm ristiinkoolaus sisäverhoukselle. Ulkoseinän U-arvo on 0,16 W/m²K. Ulkoseinärakenne on esitetty kuvassa 2 sekä liitteessä 3.

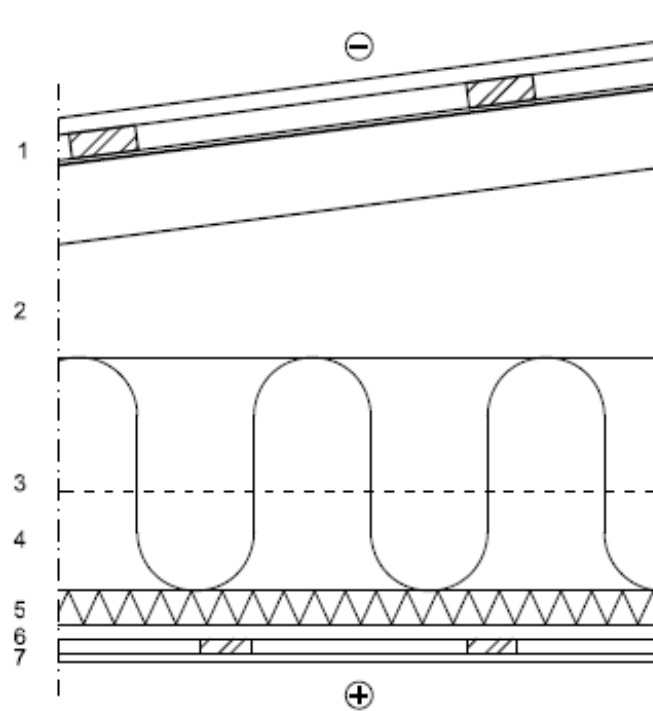


Rakenne	1	Ulkoerhous
	2	Tuuletusväli, pystykoolaus 22x100 mm
	3	Tuulensuojakipsilevy 9 mm
	4	Runkotolpat k600 rakennesuunnitelmien mukaan
	5	Mineraalivilla 150 mm, tiiviisti rungon välissä
	6	SPU AL 40 mm, saumat vaahdotetaan
	7	Asennustilla, ristinkoolaus 22x75 mm, toislokannattajat k600
	8	Sisäerhouslevy
U-arvo	0,16 W/m ² K (SPU AL λ_J 0,023 W/mK, Mineraalivilla λ_J 0,037 W/mK)	

Kuva 2. Määräykset täyttävän kohteen ulkoseinärakenne [10.]

Yläpohjarakenne

Rakennuksessa on puurunkoinen harjakatto, jonka katemateriaalina on teräksinen vesikattolevy. Yläpohja on kannatettu kattoristikoin, joiden alapintaan on kiinnitetty lämmöneristykseksi 50 mm SPU AL-eriste. Kattoristikoiden välissä on lämmöneristykseenä 350 mm puhallusvillaa. Alapinnassa oleva eristelevy toimii yläpohjan höyrynsulkuna ja sen pinnalla on ristikoolaus sisäkaton verhoukselle. Yläpohjarakenteen U-arvo 0,09 W/m²K. Yläpohjarakenne on esitetty kuvassa 3 sekä liitteessä 3.



Rakenne	1	Huopa-, pelti- tai tilkkate alusrakenteeseen
	2	Tuulettuva tilja ≥ 100 mm, tuuletus harjalta ja päädyistä
	3	Puhallusvilla 350 mm
	4	Alapäärre k900 rakennesuunnitelmien mukaan
	5	SPU AL 50 mm, saumat vaahdotetaan
	6	Asennustilla, ristikookalaus 22x75 mm, tolslokannattajat k400
	7	Sisäverhou levy
U-arvo		0,09 W/m ² K (SPU AL λ_U 0,023 W/mK, Puhallusvilla λ_U 0,042 W/mK)

Kuva 3. Määräykset täyttävän kohteen yläpohjarakenne [10.]

Ikkunat ja ovet

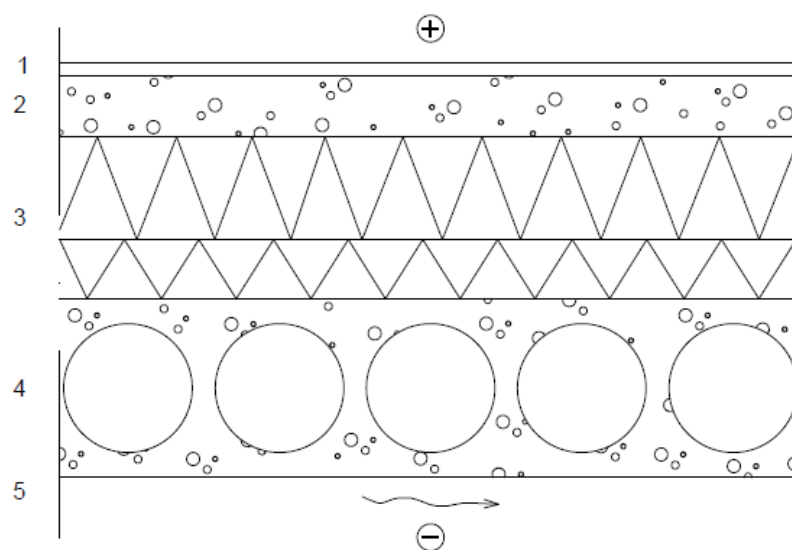
Rakennuksen ikkunat ovat Fenestran FeneOne-tuotesarjaa. Ikkunat ovat avattavia kaksipuitteisia puualumiini-ikkunoita, joiden sisimmäinen lasi on selektiivilasia. Kaksipuitteiset kolmilasi-ikkunat ovat U-arvoltaan 1,0 W/m²K.

Ulko- ja parvekeovet ovat Kaskipuun 1,0-ovia. Ovet ovat hdf-levypintaisia, alumiinivahvisteisia, joiden reunalla on liimapuun ja kertopuun yhdistelmä. Ovien välissä on EPS 200-polystyreeniä. Lasituksena on kolmilasi-ikkuna argonkaasulla ja tuplaselektiivilasilla. Ulko- ja parvekeovien U-arvo on 1,00 W/m²K.

4.1.2 Passiivitasoisen pientalon rakenneratkaisut

Perustukset ja alapohjarakenne

Rakennuksessa on tuuletettu alapohja, joka on kannatettu 200 - 265 mm teräsbetoniontelolaatoilla. Ontelolaatan pinnalla on lämmöneristyksenä 150 mm SPU AL-eriste, jonka päällä saumoista limitetty 100 mm SPU AL-eriste. Lämmöneristyskerroksen päälle on valettu 80 mm teräsbetonilaatta. Alapohjan U-arvo on 0,12 W/m²K. Alapohjarakenne on esitetty kuvassa 4 sekä liitteessä 4.



Rakenne	1	Pintamateriaalit/käsittely
	2	Betonivalu rakennesuunnitelmien mukaan
	3	SPU AL 100 + 150 mm saumat limittäin, saumat vaahdotetaan
	4	Kantava ontelolaatta rakennesuunnitelmien mukaan
	5	Tuuletettava tila

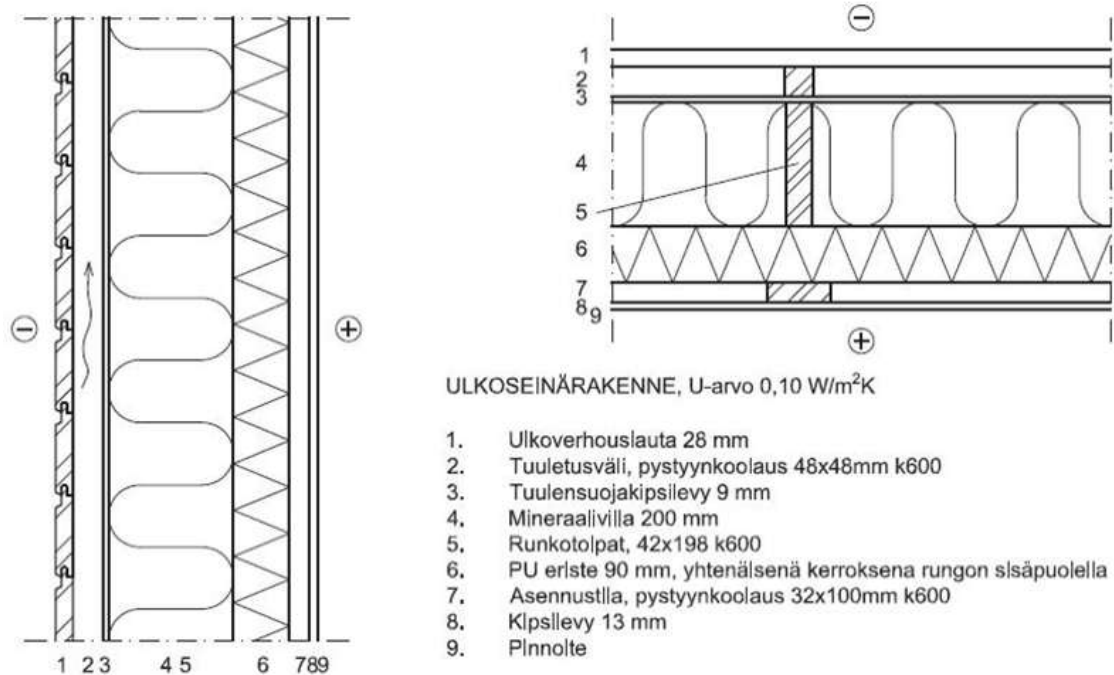
U-arvo 0,07 W/m²K (SPU AL λ_U 0,023 W/mK)

Kuva 4. Passiivitasoisen kohteen alapohjarakenne [10.]

Ulkoseinärakenne

Rakennuksessa on puurunkoinen ulkoseinä, jonka ulkoverhouksena on 23 mm vaaka-panelointi. Ulkoverhouksen takana on 48 mm pystykoolaus, joka toimii rakenteen tuuletusrakona. Pystykoolauksen takana on tuulensuojana 9 mm tuulensuojakipsilevy, joka on kiinni rakennuksen kantavassa pystyrungossa. Pystyrungon välissä on lämmöneristyksenä 200 mm mineraalivillaa ja rungon sisäpintaan kiinnitettynä 90 mm SPU AL-

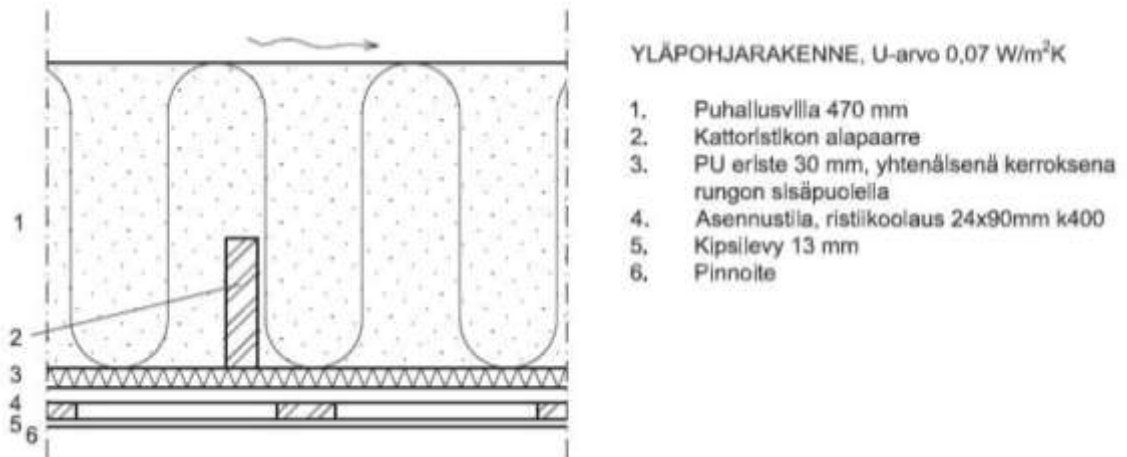
eriste. Lämmöneristyksen sisäpinnassa on koolaus sisäverhoukselle. Ulkoseinän U-arvo on $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ulkoseinärakenne on esitetty kuvassa 5 sekä liitteessä 4.



Kuva 5. Passiivitasoisen kohteen ulkoseinärakenne [16.]

Yläpohjarakenne

Rakennuksessa on puurunkoinen harjakatto, jonka katemateriaalina on teräksinen vesikattolevy. Yläpohja on kannatettu kattoristikoin, joiden alapintaan on kiinnitetty lämmöneristykseksi 30 mm SPU AL-eriste. Kattoristikoiden välissä on lämmöneristykseenä 470 mm puhallusvillaa. Alapinnassa oleva eristelevy toimii yläpohjan höyrinsulkuna ja sen pinnalla on ristikoolaus sisäkaton verhoukselle. Yläpohjarakenteen U-arvo $0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$. Yläpohjarakenne on esitetty kuvassa 6 sekä liitteessä 4.



Kuva 6. Passiivitasoisen kohteen yläpohjarakenne [16.]

Ikkunat ja ovet

Rakennuksessa on Fenestran FW-Polaris-matalaenergiaikkunat, jotka ovat avattavia kaksipuitteisia puualumiini-ikkunoita. Ikkunoiden sisimmässä ja uloimmassa lasissa on selektiivilasitus. Ikkunoiden molemmissa puitteissa on argontäyteinen eristyslaselementti. Ikkunat ovat U-arvoltaan 0,75 W/m²K.

Ulko- ja parvekeovet ovat Kaskipuun Thermo-ovia. Ovien runko on kertopuurakenteinen ja pinta on hdf-levystä. Ovien karmit ovat liimapuurakenteisia ja niissä on kaksinkertainen tiivistys. Ovien välissä on EPS 200-polystyreeniä. Lasituksena on kolminkertainen selektiivilasitus. Ulko- ja parvekeovien U-arvo on 0,70 W/m²K.

4.2 Kokonaisenergiakulutuksen vertailu

Kokonaisenergiakulutuksen laskennassa käytettiin D.O.F. tech Oy:n ja Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n kehittämää nettipohjaista laskentapalvelusovellusta, joka pohjautuu 1.7.2012 voimaan astuneisiin rakentamismääräyksiin. Laskentapalvelu on ilmainen, mutta vaatii rekisteröitymisen. Palvelu on määräykset täyttävä kokonaisenergiakulutuksen laskentatyökalu, josta saa RakMK D3 (2012) mukaiset energiaselvitykseen tarvittavat tulosteet rakennuslupahakemusta varten.

Laskentapalvelussa ohjelmaan sijoitetaan rakennuksen keskeiset energiakulutukseen vaikuttavat lähtötiedot, jonka jälkeen ohjelma laskee rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen (E-luvun) sekä ilmoittaa muun muassa rakennuksen laskennallisen ostoenergian, joka on riippumaton energiamuotokertoimista. Ohjelma käyttää viimeisimpiä RakMK D3 ja D5-osien mukaisia menetelmiä. Laskentapalvelussa voi laskennan suorittaa halutulla ilmastovyöhykkeellä. Sovellus huomioi muun muassa kohteen lämpökapasiteetin, rakennusvaipan kylmäsillat ja niistä aiheutuvat lisäkonduktanssit, ilmanvuotoluvun sekä ilmanvaihtokoneen ominaissähkötehon ja LTO-%. Laskentaan syötetään rakennuksen lämmitysjärjestelmä ja lämmitystapa, joiden perusteella laskenta ottaa huomioon esimerkiksi käyttöveden varaajan ja kiertojohdon lämpöhäviöt. Ohjelmassa on mahdollisuus säätää järjestelmien hyötysuhteita. Laskenta huomioi myös rakennuksen ikkunoiden suuntauksen vaikutukset rakennuksen energiankulutukseen. Kokonaisenergiankulutuksen laskennassa käytetyt lähtöarvot ja tulokset on esitetty kohdassa 4.2 sekä liitteissä 5 ja 6.

Kokonaisenergiankulutusvaatimuksessa on otettu huomioon lämmitystavat energiamuotojen kertoimilla, joilla lämpö- ja sähköenergiat on muutettu yhdeksi kokonaisenergiavaatimuksen energialuvuksi. Rakennusten mitoitetuksi ilmanvaihdoksi oletetaan 0,5 (1/h) ja sisälämpötilan raja-arvoiksi lämmityskaudelle minimissään 21 °C ja lämmityskauden ulkopuolelle maksimissaan 25 °C. Rakennukset sijaitsevat aukealle paikalla ja niiden julkisivu on suunnattu suoraan etelään. Määräyksistä poiketen laskenta on suoritettu kohteiden todellisella sijainnilla, jotta energiankulutus olisi mahdollisimman todennukainen.

E-lukuvaatimus esimerkkikohteen mukaiselle omakotitalolle on 162 (kWh/(m²a)). Laskennan tulokset on esitetty esimerkkikohteittain liitteissä 5 ja 6. Taulukossa 5 on esitetty yhteenveto esimerkkikohteiden lähtötiedoista ja kokonaisenergiankulutuksesta.

Taulukko 5. Kokonaisenergiankulutus ja siihen oleellisesti vaikuttavat tekijät

Ominaisuus	Määräykset täyttävä	Passiivitasoinen
Lämmitetty nettoala (m ²)	156,0	156,0
Lämmönläpäisykerroin (W/(m ² k))		
alapohja	0,17	0,09
yläpohja	0,09	0,07
ulkoseinät	0,16	0,10
ikkunat	1,00	0,07
ulko-ovet	1,00	0,06
Ilmanvuotoluku q-50 (m ³ /(hm ²))	4,00	0,52
LTO-vuosihyötysuhde laitteelle (%)		
Sunair 431 EC-LT	74,00	74,00
Laskennallinen energiankulutus (kWh/a)	23 862	18 748
tilojen lämmitys	10 418	5 304
ilmanvaihdon lämmitys	827	827
lämmin käyttövesi	7 873	7 873
sähkölaitteet	4 780	4 780
Käytettävät energialähteet (kWh/a)		
sähkö	5 894	5 404
kaukolämpö	18 779	13 992
E-luku (kWh/(m ² a))		
(< raja=162)	149	122

5 Energiakustannusvertailu

Kustannusvertailu määräykset täyttävän ja passiivitasoisen pientalon välillä perustuu säästettyyn energian tarpeeseen, joka aiheutuu rakentamisen jälkeisistä talon käytössä syntyvistä energiakustannuksista sen elinkaaren aikana. Näissä laskelmissa energian tarpeeseen vaikuttavat pääasiassa rakennusvaipan tiiveys ja rakenteiden lämmöneristävyyys. Taulukossa 6 esitetyissä kustannuksissa on otettu huomioon passiivitasoisen suunnittelun sekä valmistuksen- ja asennusvaiheen muodostamat ylimääräiset kustannukset.

5.1 Rakennuskustannukset

Esimerkkikohteiden rakenneratkaisut ovat samanlaisia, ainoana kustannuserona rakenteiden välillä on eristevahvuuden kasvaminen sekä siihen liittyvät muut työt. Näitä muita eristämisestä aiheutuvia töitä ovat muun muassa rakenteiden tiiveydestä huolehtiminen, kasvavat rakennevahvuudet sekä asennuksiin kuluva lisäaika. Esitetyt kustannukset sisältävät eristeiden materiaalikustannukset sekä arvion mahdollisista eristevahvuuden kasvamisesta johtuvista työhaitoista.

Alapohja

Rakennusten alapohjan pinta-ala on 80,80 m². Molemmissa kohteissa lämmöneristyskerros asennetaan ontelolaataston päälle. Lämmöneristeen SPU AL-määrä kasvaa määräykset täyttävästä 120 mm passiivitasoiseen 150 mm. Lisäksi lämmöneristepaksuus tulee passiivitasoisessa kahdesta eristelevystä. Tämä edellyttää lattiaeristeiden saumoistaan limittämistä sekä molempien kerrosten saumojen vaahdotuksia, jotka lisäävät asennuskustannuksia. Eristeiden yläpuolinen lattiarakenne toteutetaan samalla tavalla. Alapohjien kokonaiskustannukset on esitetty taulukossa 6.

Ulkoseinä

Rakennusten ulkoseinän pinta-ala on 149 m². Lämmöneristevahvuus kasvaa rungon välissä olevan Paroc-mineraalivillan osalta määräykset täyttävästä 150 mm passiivitasoiseen 200 mm sekä sisäpinnassa olevan SPU AL-eristeen osalta 40 mm passiivitasoiseen 90 mm. Passiivitasoisen kohteen ulkoseinän rungon leveys kasvaa 50 mm lämmöneristysvahvuuden kasvaessa, joka tuo rungon asennuksiin hieman lisäkustannuksia. Itse asennustyöhön eristevahvuuden kasvaminen ei juuri tuo muutosta, mutta rakenteen tiiveyden varmistaminen aiheuttaa pienen lisäkustannuksen. Ulkoseinien kokonaiskustannukset on esitetty taulukossa 6.

Yläpohja

Rakennusten yläpohjan pinta-ala on 80,80 m². Yläpohjan rakennevahvuudet säilyvät samanlaisina vaikka eristevahvuus kasvaa. Passiivitasoisessa kohteessa on lämmöneristyskerros SPU AL 30, jonka päällä 470 mm Paroc-puhallusvillaa. Määräykset täyttävässä rakenteessa on SPU AL 50, jonka päällä 350 mm Paroc-puhallusvillaa.

Yläpohjassa lisäkustannuksia tuo puhallusvillakerroksen vahvuus ja sen puhallukseen käytettävä asennusaika. Yläpohjien kokonaiskustannukset on esitetty taulukossa 6.

Parveke- ja ulko-ovet

Esimerkkikohteiden ovien aiheuttamat kustannukset tulevat lähes täysin ovien hankinta hinnoista. Rakennuksissa on neljä kappaletta parvekeovia 9x21 sekä ulko-ovi 10x21. Määräykset täyttävässä ratkaisussa ovet ovat Kaskipuun 1,0-ovia, kun taas passiivitasoisessa Kaskipuun Thermo-ovia. Asennustyöstä ei oleteta aiheutuvan lisäkustannuksia. Ovien kokonaiskustannukset on esitetty taulukossa 6.

Ikkunat

Rakennuksissa on ikkunoita yhteensä 26 kpl ja niiden kokonaispinta-ala 33,21 m². Ikkunoiden asennuskustannukset esimerkkikohteiden välillä eivät juuri poikkea toisistaan. Määräykset täyttävän kohteen ikkunoina on käytetty Fenestran FeneOne-tuotesarjaa, kun taas passiivitasoisessa Fenestran FW-Polaris-matalaenergiaikkunoita. Kustannusero muodostuu ikkunoiden hankintahinnoista. Ikkunoiden kokonaiskustannukset on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Esimerkkikohteiden rakenneratkaisujen kustannusvertailu

	Passiivitasoinen	Määräykset täyttävä	Erotus
Alapohja	6 312,77 €	2 945,97 €	3 366,80 €
Ulkoseinä	8 449,83 €	4 157,10 €	4 292,73 €
Yläpohja	2 923,88 €	2 127,03 €	796,86 €
Ovet	5 060,00 €	3 600,00 €	1 460,00 €
Ikkunat	9 169,80 €	6 572,95 €	2 596,85 €
Yhteensä	31 916,28 €	19 403,04 €	12 513,23 €

Passiivitasoisesta rakentamisesta aiheutuvat lisäkustannukset ovat keskimäärin 5-8 % koko rakennushankkeen kustannuksista. Suurimmat lisäkustannukset tulevat ulkoseinän ja alapohjan lämmöneristävyyden ja tiiveyden parantamisesta. Ulkoseinässä kustannuksia aiheuttaa rungon leveyden kasvaminen sekä seinän tiiveydestä huolehtiminen. Alapohjassa materiaalivahvuudet kasvavat oleellisesti ja lisäkustannuksia tuo asennustyötä hidastava eristelevyjien saumojen vaahdotus ja limittäminen.

Ovissa ja ikkunoissa asennustyössä ei ole juuri eroa, joten kustannusero muodostuu suoraan materiaalienhinnoista. Energiatehokkaiden ikkunoiden ja ovien hinnat ovat vielä normitasoon verrattuna korkealla, mutta niiden yleistyminen tulee tulevaisuudessa laskemaan hintoja entisestään.

Rakennusvaiheessa passiivitasoon panostettavat lisäkustannukset tulevat jatkossa takaisin muun muassa pienentyneenä lämmitysenergian kulutuksena. Lämmityksen energiantarpeen ollessa pieni, voidaan lämmönjakotapaa yksinkertaistaa. Tämä madaltaa investointi- ja elinkaarikustannuksia. [21 s. 2.]

5.2 Energiakustannukset

Esimerkkikohteiden energiankulutus laskettiin käyttämällä Isoverin laskentapalvelua, josta saadut energiaselvitykset on esitetty liitteissä 5 ja 6. Energiankulutuslaskelma sisältää kaiken kohteissa käytettävän energiankulutuksen, kuten muun muassa laitasähkö, tilojen ja käyttöveden lämmitys. Ostoenergia on riippumaton energiamuotokertoimista. Laskentaohjelma jakaa käytettävän energiankulutuksen käytettäviin energialähteisiin, jonka pohjalta seuraavat laskelmat on tehty.

Taulukossa 7 on esitetty esimerkkikohteiden vuosittainen energiankulutus energialähteittäin. Taulukosta saadaan passiivitasoisen kohteen vuosittainen energiakustannus säästö kertomalla energialähteiden erotus energialähteen yksikköhinnalla. Laskennassa on käytetty kaukolämmölle hintaa 7,5 snt/kWh ja sähkölle 15,1 snt/kWh. [11; 12.]

Taulukko 7. Esimerkkikohteiden vuosittainen energiakulutus ja energiakustannussäästö

	Sähkö (kWh/a)	Kaukolämpö (kWh/a)	Yhteensä
Määräykset täyttävä	5894,0	18779,0	24 673,0
Passiivitasoinen	5404,0	13992,0	19 396,0
Erotus (kWh/a)	490,0	4787,0	5 277,0
Hinta (€/kWh)	0,151	0,075	-
Yhteensä	74,04 €	358,07 €	432,11 €

Passiivitasoisen kohteen vuosittainen energiankustannussäästö nykyisillä energiahinnoilla on 432,11 euroa (taulukko 7). Kaukolämmön valinta kohteiden lämmitysenergian lähteeksi pienentää vuodessa syntyviä säästöjä edullisuutensa vuoksi. Jos lämmityksen energiamuotona olisi käytetty esimerkiksi sähkölämmitystä, olisi kustannussäästöt huomattavasti suuremmat.

Oheiseen taulukkoon (taulukko 8) on laskettu esimerkkikohteiden energiakulutus kustannukset 30 vuoden ajanjaksolla ja vertaamalla näitä kustannuksia on saatu 30 vuoden aikana kertynyt säästö. Laskelmissa on esitetty sähkön ja kaukolämmön hinnan vuosittaiselle nousulle kaksi eri tapausta; 5,0 % ja 10,0 %.

Taulukko 8. Rakennuksen lämmityskustannukset elinkaaren aikana 5 % ja 10 % vuosittaisella energianhinnan nousulla

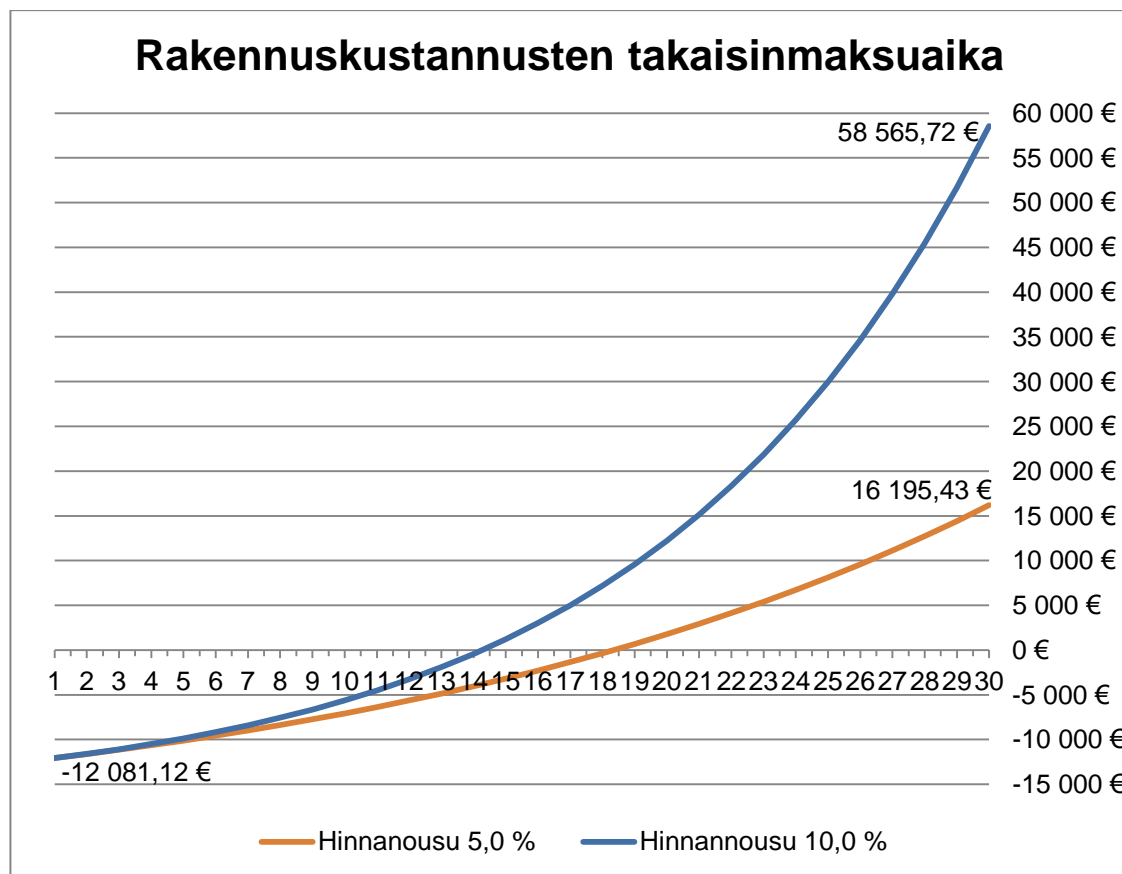
	Passiivitasoinen	Määräykset täyttävä
Energiakustannukset 30v, €		
5 %	123 785,27	152 493,94
10 %	306 476,38	377 555,33
Energiakustannussäästö 30v, €		
5 %	28 708,67	
10 %	71 078,95	
Energiakustannussäästö 30v, %	18,83	

Kuten edellä olevasta taulukosta (taulukko 8) voidaan todeta, että passiivitasoisen kohteen kannattavuus kasvaa, mitä suuremmaksi energianhinta muuttuu. Jo 30 vuoden ajanjaksolla esimerkkikohteen energiakustannussäästö vaihtelee 28 000-71 000 euron välillä. Pieni investointi energiatehokkuuteen rakennusvaiheessa pienentää käytönai- kaisia kustannuksia ja hillitsee asumiskustannusten nousua energianhinnan noustessa.

5.3 Takaisinmaksuaika

Seuraavassa lasketaan rakennuksen energiatehokkuuden kustannusten takaisinmaksuaikaa. Takaisinmaksuaika kertoo, minkä ajan kuluessa yhteenlasketut energiasäästöt ylittävät siihen sijoitetut rakennuskustannukset. Laskelmissa on esitetty kaksi eri tapausta sähkön ja kaukolämmön vuosittaiselle hinnan nousuille. Ensimmäisessä tapauksessa oletetaan energianhinnan vuotuiseksi hinnannousuksi 5,0 %. Luku perustuu Energiateollisuuden tilastoihin arvioidusta viime vuosiin perustuvasta hinnannoususta. Toisessa tapauksessa energianhinnan vuotuiseksi hinnannousuksi on arvioitu 10,0 %. Laskelmissa on käytetty kaukolämmölle hintaa 7,48 snt/kWh ja sähkölle 15,11 snt/kWh. [11; 12.]

Rakennuskustannusten takaisinmaksutaulukko (kuviot 4) osoittaa rakennusvaiheessa tehdyn investoinnin energiatehokkuuteen maksavan itsensä takaisin 14–18,5 vuodes- sa. Takaisinmaksuaika on nopein, kun energianhinnan vuosittaisen nousun oletetaan olevan 10,0 %. Täytyy kuitenkin muistaa, että energiatehokkuudesta saatava hyöty säilyy rakennuskustannusten takaisinmaksuajan jälkeenkin. Kuten käyrät kuviossa 10 osoittavat, energiatehokkuudella voidaan saavuttaa jo 30 vuoden ajanjaksolla lähes 60 000 euron säästöt energiankulutuksessa. Heikommassakin skenaariossa energian- kulutussäästöt ovat tarkasteluajanjaksolla yli 15 000 euroa. Rahanarvon heikentymistä ei ole laskelmissa ollut tarvetta huomioida, sillä rakennus on pitkäaikainen sijoitus, joka säilyttää arvonsa myös tulevaisuudessa.



Kuvio 4. Rakennuskustannusten takaisinmaksuaika ja kertyvät energiasäästöt

5.4 Johtopäätökset

Investointikustannuksiltaan passiivitalo on määräykset täyttävää pientaloa kalliimpi. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että passiivitasoinen rakentaminen on kannattavampaa kuin määräykset täyttävä rakentaminen. Pienen noin 5-8 %:n lisäkustannuksen takaisinmaksuaika on energian hinnannoususta riippuen 14-18,5 vuotta. Passiivitaloon panostettavat lisäkustannukset tulevat jatkossa takaisin muiden muassa pienentyneenä lämmitysenergian kulutuksena sekä alhaisempina käyttö- ja ylläpitokustannuksina verrattuna normitaloon. Energianhinnan on odotettu kallistuvan myös jatkossa, kun ilmastopolitiikka tiukentuu ja siitä seuraavat määräykset astuvat voimaan. Investointi energiatehokkuuteen rakennusvaiheessa pienentää käytönaikaisia kustannuksia ja hillitsee asumiskustannusten nousua energian hinnan noustessa. [13.]

Rakennusvaiheessa energiatehokkuuteen sijoitetut lisäkustannukset tulevat jatkossa takaisin muun muassa pienentyneenä lämmitysenergian kulutuksena sekä alhaisempina käyttö- ja ylläpitokustannuksina verrattuna määräykset täyttävään taloon. Vaippara-

kenteiden tiiveys ja hyvä eristävyys estävät ilmankosteuden pääsyä rakenteisiin, joka pidentää rakenteiden käyttöikänsä ja huoltoväliä. Passiivitasoisen talon käyttökustannuksiin vaikuttaa pieni energiankulutus ja liittymäteho, jotka alentavat energiankäytön kiinteitä maksuja. Lisäksi lämmityslaitteiden koon, tehon ja määrän pienentäminen alentaa huolto- ja ylläpitokustannuksia. [21 s. 4.]

Passiivitasoinen talo on myös energiatehokkuutensa vuoksi ympäristöä säästävä. Tavallisen rakennuksen elinkaaren ympäristökuormasta 80,0-90,0 % muodostuu sen kuluttamasta energiasta. Näin ollen passiivitalo rasittaa ympäristöä merkittävästi vähemmän kuin nykyiset määräykset täyttävä pientalo. [14.]

6 Passiivitalon sisäilmasto

Rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan sekä asumisviihtyvyyden kannalta on erityisen tärkeää ulkovaipparakenteiden ilmanpitävyys. Passiivitalon määritelmässä yksi kriteereistä onkin ilmanvuotoluku, joka todennetaan aina mittaamalla. Hyvä ilmanvuotoluku parantaa lämmöneristyksen toimintaa, vähentää vuotoilman lämpöhäviötä, ja parantaa ilmanvaihdon sekä lämmöntalteenoton toimintaa. Näistä seurauksena on asunnon tasainen lämpötila sekä vedottomuuden tunne, jotka parantavat asumisviihtyvyyttä ja rakennuksen energiatehokkuutta. Rakenteiden ilmanpitävyydestä tulee huolehtia kaikessa rakentamisessa, mutta erityisesti passiivitaloissa siihen tulee kiinnittää erityistä huomiota.

Passiivitalojen hyvä sisäilmasto käy ilmi Rakenteellisen energiatehokkuuden passiiviratkaisut 2012 esimerkkikohteiden asukkaille teetetyissä sisäilmastokyselyissä (liite 1). Projektin aikana vierailtiin 15 eri passiivitasoisesti toteutetussa pientalossa, jotka sijoituivat eri puolille Suomea. [16, s. 1]. Kohteiksi valittiin mineraalivillalla, polyuretaanilla, puukuidulla ja polystyreenillä toteutettuja kohteita. Kohteet on toteutettu eri rakenneratkaisuilla ja materiaaleilla, jotta saataisiin mahdollisimman laaja käsitys passiivitalojen sisäilmastosta. Passiivitalojen asukkaille järjestetty tyytyväisyyskysely pohjautui ruotsalaiseen ”Indoor Climate”-kyselypohjaan.

6.1 Sisäilmastokyselyt

Sisäilmastokyselyt pidettiin 15 eri passiivitasoissa kohteessa paikan päällä.. Tarkoituksena oli tutustua kohteissa tehtyihin energiatehokkuus ratkaisuihin ja saada mahdollisimman tarkat tiedot sisäilmastosta kohteiden asukkailta. Kohteiden asukkaat vastasivat kyselyihin kotitalouksittain. Passiivitalojen sisäilmastokysely sisälsi seuraavat osiot: asunnon lämpö ja lämpötila, ilmanvaihto, terveystarkastukset, ääni- ja valaistusolosuhteet ja taustakysymykset (liite 7).

Asunnon lämpö ja lämpötila-osiossa selvitettiin passiivitalojen sisäilman lämpötilaa kesäisin ja talvin sekä asukkaiden mahdollisuutta säätää lämmitysjärjestelmää. Lisäksi selvitettiin asunnon vetoisuuden tuntua ja pintamateriaalien lämpömukavuutta. Lopussa asukkaalta pyydettiin kokonaisarvosanaa asunnon lämpömukavuudelle.

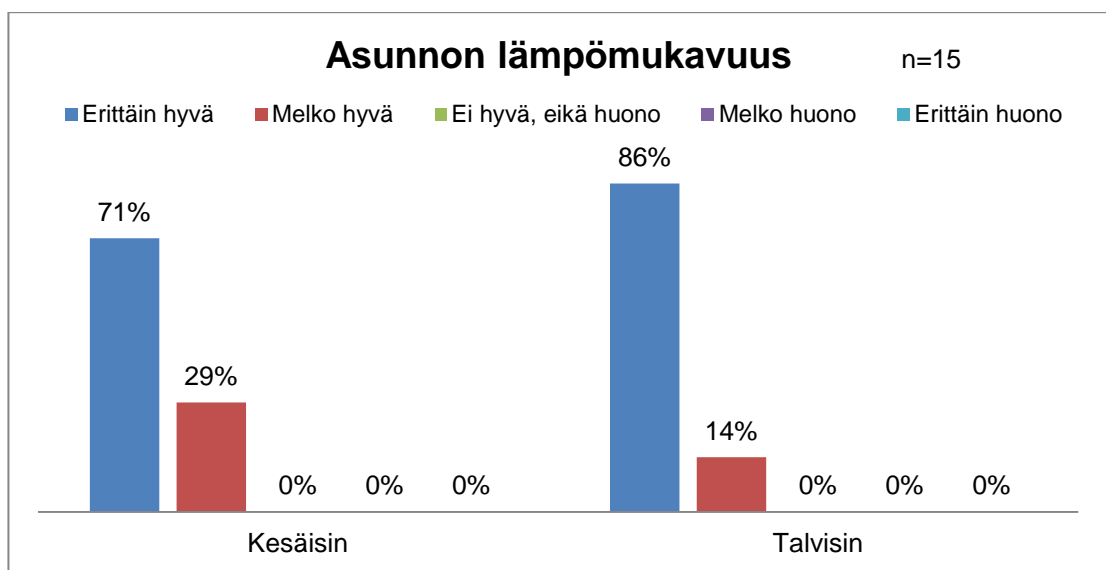
Ilmanvaihto-osion kyselyssä selvitettiin asunnon sisäilman laatua yleisesti ja huonekohtaisesti, mahdollisia sisäilman epämukavuuksia sekä asukkaiden mahdollisuutta säätää ilmanvaihtojärjestelmää. Terveystarkastukset-osion tarkoituksena oli selvittää mahdollisten sisäilmasto-ongelmien vaikutuksia asukkaisiin. Rakennuksen sisäilmasto ja asukkaiden terveys ovat usein yhteydessä toisiinsa. Tästä syystä oli tärkeää selvittää asukkaiden mahdolliset oireet ja selvittää, johtuvatko ne sisäilmastosta.

Ääniosuhteet-osiossa selvitettiin asunnon ulkopuolisen melun kantautumista sisätiloihin sekä asunnon sisätilojen hiljaisuutta. Tarkoituksena oli selvittää hyvin eristetyn ja tiiviin vaipparakenteen vaikutusta äänenkantautumiseen. Valaistuksessa selvitettiin sisätilojen valoisuutta sekä asunnon sisätilan saamaa auringon valoa kesäisin ja talvisin.

Kyselyn lopussa asukkaita pyydettiin arvioimaan mahdollisia ongelmia, joita asunnossa voisi esiintyä. Tarkoituksena oli selvittää asukkaiden mielipide talon toimivuudesta ja mahdollisista ongelmista. Taustakysymyksissä selvitettiin yleisiä asioita sekä sisäilmastoon vaikuttavia tekijöitä kuten lemmikkieläimet ja tupakointi.

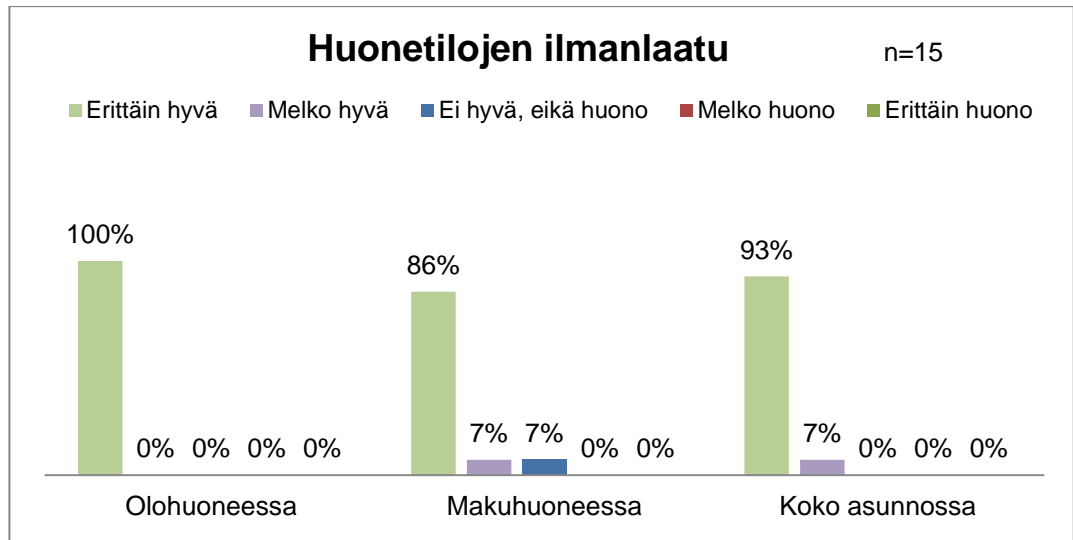
6.2 Johtopäätökset

Sisäilmastokysely toi ilmi passiivitasoisella rakentamisella saavutettavia etuja. Kyselyssä kävi ilmi asukkaiden tyytyväisyys asunnonlämpömukavuuteen talvisin ja kesäisin (kuviossa 5). Asunnoissa ei koettu olevan haitallista lämmönvaihtelua vaan asukkaat kertoivat sisälämpötilan pysyvän tasaisena koko vuoden. Mahdollisen lämmönvaihtelun voi aiheuttaa muun muassa puutteellinen aurinkosuojaus, johon passiivitaloissa on kiinnetty erityistä huomiota. Kyselyjen perusteella asukkailla on tarvittaessa mahdollista säätää lämmitysjärjestelmästä asunnon lämpötilaa, eikä asunnossa ole havaittavissa vedon tunnetta.



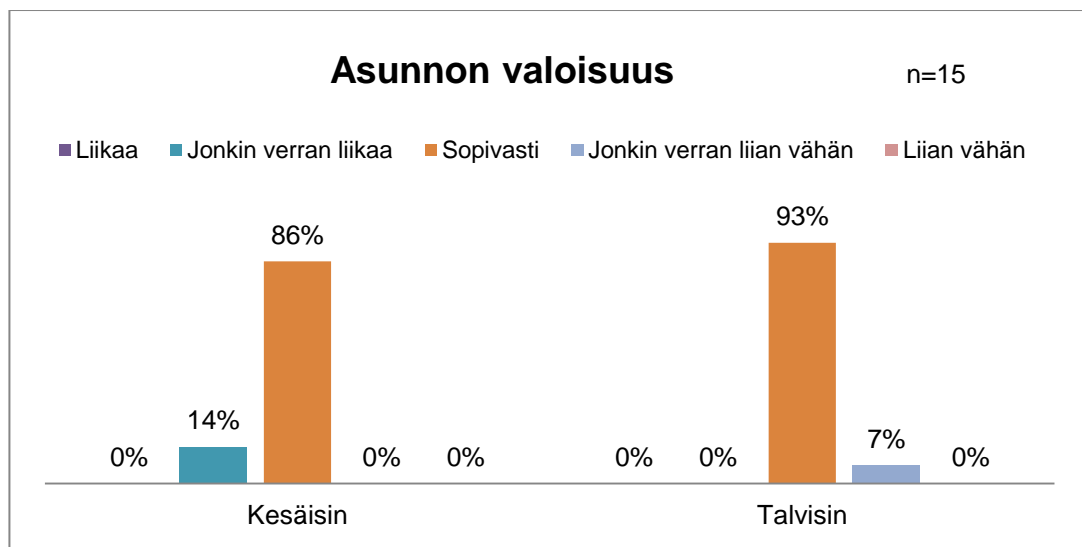
Kuvio 5. Asunnon lämpömukavuus kesäisin ja talvisin

Rakennusten ilmanvaihto koetaan toimivaksi ja sisäilma puhtaaksi ja raikkaaksi. Asukkaat ovat tyytyväisiä huonetilojensa ilmanlaatuun (kuviossa 6). Kohteiden asukkailla on mahdollisuus säätää ilmastointijärjestelmänsä. Tiiviin ja hyvin eristetyn ulkovaipan ansiosta asukkaat kokivat rakennukset hiljaisiksi, eikä ulkoa tuleva liikennemelu kantaudu sisätiloihin.



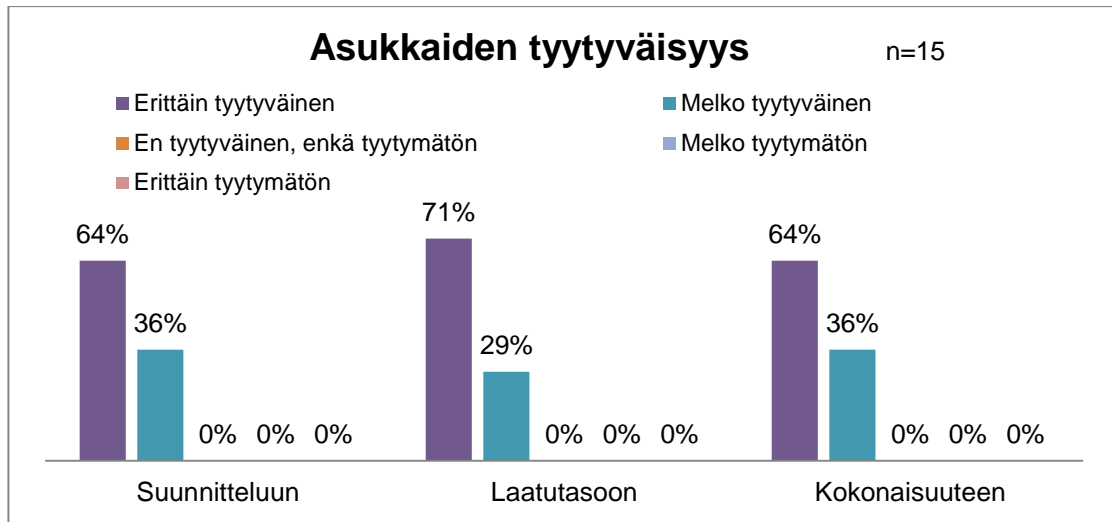
Kuvio 6. Passiivitalojen huonetilojen ilmanlaatu

Rakennusten sisätilat ovat sopivan valoisia ja saavat sopivasti luonnonvaloa kesäisin ja talvisin (kuvio 7). Näin ollen yleinen luulo siitä, että energiatehokas rakentaminen vaatii pieniä ikkunoita, jotka tekevät asunnosta luonnonvalottoman, on väärä. Päinvastoin nykyaikaisissa energiatehokkaissa taloissa luonnonvalon määrää pystytään kontrolloimaan tarpeen mukaan esimerkiksi markiisein tai rakenteellisin keinoin.



Kuvio 7. Passiivitalon sisätilojen valoisuus kesäisin ja talvisin

Kokonaisuudessaan sisäilmastokyselyihin valittujen passiivitalokohteiden asukkaat olivat tyytyväisiä talojen suunnitteluun, laatutason sekä rakennuksen kokonaisuuteen (kuvio 8).



Kuvio 8. Asukkaiden tyytyväisyys passiivitaloon

Seuraavassa on asumisenlaatuun liittyviä etuja, joita saavutetaan energiatehokkaassa kodissa:

Terveellinen

- Ilmanlaatu paranee ja epäpuhtaudet poistuvat sisäilmasta nopeasti
- Huoneilma tuntuu raikkaalta ja hajut eivät liiku rakennuksen sisällä
- Melun kulkeutuminen rakennuksen ulkopuolelta rakennukseen ja rakennuksen sisällä huoneesta toiseen vähenee.

Taloudellinen

- Kun ilmanvuotoja ei ole, lämmitykseen vaadittava energiamäärä laskee
- Huoneen lämpötilaa voidaan alentaa, koska vetoa ei ole.

Turvallinen

- Rakennuksen ilmankosteutta voidaan kontrolloida
- Ilmankosteus ei pääse rakenteisiin ja näin ennaltaehkäistään kosteusvaurioita.

Ympäristöystävällinen

- Vähäinen energiankulutus kuormittaa pienentää ympäristökuormitusta.

7 Rakenteiden kosteustekninen toiminta

Energiamääräysten kiristytessä rakenteiden kosteustekninen toimivuus asettaa entistä suurempia haasteita suunnittelulle ja toteutukselle. Koska rakennusten energiatehokkuuden parantaminen kohti passiivi- ja nollaenergiatasoa on kuitenkin vääjäämätön suunta tulevaisuudessa, pitää tämän ohella suunnittelussa yhä enenevässä määrin huomioida myös rakenteiden kosteustekninen toimivuus [15, s.1]. Rakenteiden toimivuus vaatii yhä tiiviimpää suunnittelijayhteistyötä sekä rakennusvaiheessa aktiivista toteutuksen valvontaa.

Rakenteellisen energiatehokkuuden passiivitason malliratkaisut 2012 -projektissa (liite 1) passiivitalojen rakenteille tehtiin kosteusteknisen toimivuuden laskennallinen tarkastelu VTT:n toimesta. Opinnäytetyöhön valitun Design-Talon kohteen rakenteet todettiin kosteusteknisen tarkastelun perusteella turvallisiksi [16, s. 47]. VTT:n tutkimusselostuksen mukaan rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden kannalta kriittinen kohta on yläpohjassa rakenteen tuuletusväli ja ulkoseinässä rakenteen tuuletusväli sekä tuulen-suojalevyn ja lämmöneristeen rajapinta. Laskennallisen tarkastelun tulosten perusteella homeindeksi jäi rakenteissa selvästi alle homeindeksi tason 1,0 kolmen vuoden tarkastelujakson aikana [17, s. 9]. Homeindeksin taso alle 1,0 kuvaa täysin turvallista tilannetta, jossa homeella ei ole kasvun edellytyksiä tarkastellussa tilanteessa. Kaikissa VTT:n tarkastelluissa tapauksissa rakenteen kosteustekninen toiminta todettiin turvallisiksi Suomen ilmastossa asuinkäyttöön tarkoitetuissa sisäilman kuormitusoloissa [17, s.14].

Energiatehokas rakentaminen ei tarvitse mitään uusia materiaaleja, tekniikoita tai laitteita. Taloissa olevan tekniikan yksinkertaisuus ja itseohjautuvuus pienentävät rakennusvirheiden riskiä. Rakenteiden lämmöneristysominaisuuksien kasvattamisen aiheuttamat mahdolliset riskit liittyvät itse rakentamisen ja detaljien suunnittelun huolellisuuteen eli rakentamisen laatuun. Vastaavat riskit ovat kuitenkin aina olemassa, vaikka rakenteiden lämmöneristysominaisuudet olisivat tasoltaan huonommat. [15, s.1.]

8 Energiatehokkuuden kehitysnäkymät Suomessa

Euroopan Unionin tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 20 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä sekä nostaa uusiutuvan energian osuus keskimäärin 20 prosenttiin loppukulutuksesta. Suomessa 2010 vireille pantu Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017 -toimintaohjelman tavoitteena on saavuttaa EU:n vuotta 2020 koskevat tavoitteet jo vuonna 2017 Suomen 100-vuotisjuhlan kunniaksi. [19, s. 18.] Suomessa tehdyillä rakentamismääräysten uudistuksella haluttiin ottaa ensi askeleet kohti asetettuja tavoitteita. Määräykset ohjaavat energiansäästöön ja päästöjen vähentämiseen. Määräysten tiukennus tarkoitti keskimäärin 20 prosentin parannusta vuoden 2010 määräysten vaatimaan energiatehokkuuteen. [13.]

Rakentamismääräysten ja suositusten kehittyminen tulevaisuudessa [18, s. 5]:

2012:

- Energiamuotojen huomiointi
- Kokonaisenergiankulutuksen tarkastelu.

2015:

- Uusiutuvien energianlähteiden käyttö julkisten rakennusten vaatimustasoksi
- Ympäristöministeriö antaa pientaloille lähes nollaenergiatason suositukset.

2017:

- Lähes nollaenergiarakentamista koskevat rakentamismääräykset.

2019:

- Julkiset rakennukset perustuvat primäärienergiaan.

2020:

- Kaikki uudisrakentaminen ja kolmasosa korjausrakentamisesta toteutetaan vähintään passiivitaloratkaisuina.

2021

- Kaikki uudisrakentaminen perustuu lähes nollaenergiatasoon
- Rakennetun ympäristön kuluttama energia pohjautuu uusiutuviin energianlähteisiin.

ERA17-ohjelman visiona on muuttaa kuluttajien ja yritysten elämäntapoja ja valintoja, joiden aikaansaama kysyntä luo markkinaehtoista energiatehokkuutta. Energia- ja ekotehokkuus synnyttää uutta osaamista ja menestyvää liiketoimintaa niin kotimaassa kuin kansainvälisestikin. Suomessa oleva edistyksellinen lainsäädäntö ja rakentamisen ohjaus luovat toimivat puitteet innovatiivisille ratkaisuille. Korjausrakentamiselle asetetut määräykset ja ratkaisut puolittavat vanhojen rakennusten lämmitysenergian käytön. Tavoitteena on, että Suomessa on maailman paras rakennettu ympäristö vuonna 2050. Rakennettu hiilineutraali ympäristö on turvallinen, terveellinen, viihtyisä ja ekotehokas. [19, s. 18.]

9 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia passiivitasoisen rakentamisen kannattavuutta vaikka uudet D3 (2012) Energiämääräykset eivät vielä sitä edellytäkään. Seuraavien 10 vuoden aikana on nähtävissä suuria muutoksia energianhinnoissa sekä rakentamisen energiatehokkuudessa, johon rakentamista harkitsevalla on nyt oikea aika varautua. Investointi energiatehokkuuteen rakennusvaiheessa pienentää käytön-aikaisia kustannuksia ja hillitsee rakennuksen elinkaaren aikana asumiskustannusten nousua energianhinnan noustessa.

Kuten jo mainittu, passiivitalo ei ole määräys vaan rakennus- ja ajattelutapa, joka tukee energiatehokasta rakentamista. Kunnollinen ulkovaipan ilmanpitävyys sekä eristävyys yhdistettynä tehokkaaseen lämmöntalteenottoon varmistavat, että rakennus on terveellinen ja energiatehokas koti asua. Heinäkuussa 2012 voimaan astuneet rakentamisen energiatehokkuusmääräykset D3 (2012) eivät vielä aseta rakennuksille suuria vaatimuksia, mutta on hyvä muistaa, että ne ovat vähimmäisvaatimuksia, jotka tulevat tulevaisuudessa kiristymään entisestään.

Rakennustuoteteollisuuden Rakenteellisen energiatehokkuuden passiivitasoisen malliratkaisut 2012 -projektin mukaan uudisrakennukset on järkevää rakentaa vaipparakenteiden osalta vastaamaan vähintään passiivitasoa, joka antaa edellytykset saavuttaa vuoden 2020 lähes nollaenergia -tason vaatimukset [16, s.1]. Projektin loppuraportissa esitetään eri eristemateriaaleilla toteutetuista passiivitalokohteista turvallisia ja terveellisiä passiivitasoisen rakenteellisen energiatehokkuuden malliratkaisuja (liite 1).

Insinööriyössä tutkittiin rakennusvaiheessa tehtävää energiatehokkuuden investointia siitä saataviin energiankustannus säästöihin sekä rakennuskustannusten takaisinmaksuaikaa. Energiatehokkaan rakentamisen lisäinvestoinnin takaisinmaksuaika on lyhyt ja se tuottaa huomattavat säästöt rakennuksen elinkaaren aikana. Tulevaisuudessa ennakoitu energian hinnannousu lisää energiatehokkaan rakentamisen kannattavuutta.

Passiivitalojen laadukas huoneilma, ja ympäristöystävällisyys ovat syitä, miksi passiivitalon arvo säilyy korkeampana kuin määräykset täyttävän pientalon. Lisäksi kiristyvien energiatehokkuusvaatimusten takia energiatehokkaan rakennuksen jälleenmyyntiarvo pysyy korkeampana ja täyttää tulevaisuuden vaatimukset pidempään kuin määräykset täyttävä pientalo. Tämä tekee passiivitasoisesta rakentamisesta entistä kannattavampaa tulevaisuutta ajatellen.

Lopputuloksena insinööriyössä on, että passiivitasoista rakentamista kannattaa suosia jo nyt vaikka 1.7.2012 voimaan asetetut määräykset eivät sitä vielä edellytäkään. Passiivitasoiseen rakentamiseen on markkinoilla tarjolla useita eri rakenne- ja talotekniikanratkaisuja, kuten Rakenteellisen energiatehokkuuden passiivitason malliratkaisut 2012 loppuraportti osoittaa. Passiivitasoisella rakentamisella saavutettavat edut, asukkaiden tyytyväisyys ja elinkaarikustannussäästöt ovat huomattavia siihen tehtävään alkuinvestointiin nähden.

Lähteet

- 1 Euroopan komissio. 2010. EUROOPPA 2020 - Älykkään, kestävä ja osallistavan kasvun strategia. Verkkodokumentti. <http://ec.europa.eu/eu2020/pdf/1_FI-ACT_part1_v1.pdf>. 3.3.2010. Luettu 15.10.2012.
- 2 Kalliomäki, Pekka. 2011. Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta. Verkkodokumentti. <<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=126233&lan=fi>>. Luettu 10.10.2012.
- 3 Energian hankinta ja kulutus. Verkkodokumentti. Tilastokeskus. <<http://www.stat.fi/til/ehk/index.html>>. Luettu 1.2.2013.
- 4 Adato Energia Oy. 2012. Kodin energiaopas. Verkkodokumentti. Painorauma Oy. <http://www.motiva.fi/files/6267/Kodin_Energia_Opas.pdf>. Luettu 28.1.2013.
- 5 Kurnitski, Jarek. 2012. Energiamääräykset 2012 – Opas uudisrakennusten energiamääräysten soveltamiseen. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.
- 6 Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 2011. Suomen rakentamismääräyskokoelma D3, Rakennusten energiatehokkuus – Määräykset ja ohjeet. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 7 Väisänen, Siru. 2010. Tulevaisuuden rakentaminen lähtökohtana: Rakennusten energiamääräykset muuttuvat vuoden kuluttua. Rakennustaito 9/2010, s. 16.
- 8 VTT. 2006. Passiivitalo. Verkkodokumentti. <<http://passiivitalo.vtt.fi/>>. Luettu 8.8.2012.
- 9 Passiivitalo. 2012. Verkkodokumentti. Energiakodit Oy. <<http://www.energiakodit.fi/Passiivitalo.php>>. Luettu 4.1.2013.
- 10 SPU Detaljikirjasto. 2013. Verkkodokumentti. <<http://www.spu.fi/detaljikirjasto>>. Luettu 7.1.2013.
- 11 Hintatilastot. 2013. Verkkodokumentti. Energiamarkkinavirasto. <<http://www.sahkonhinta.fi/summariesandgraphs>>. Luettu 28.1.2013.
- 12 Kaukolämmön hinnat 1.7.2012. 2012. Verkkodokumentti. Energiateollisuus ry. <http://energia.fi/sites/default/files/hinta_010712.xls>. Luettu 28.1.2013.
- 13 Uudet rakentamisen energiamääräykset annettu. 2012. Ympäristöministeriö. Verkkodokumentti. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=380479-&lan=FI>>. Luettu 20.2.2013.

- 14 Energiategokaskoti. 2013. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <<http://www.energiategokaskoti.fi>>. Luettu 13.1.2012.
- 15 Kosteusteknisesti turvallinen matalaenergia- ja passiivirakentaminen. Verkkodokumentti. SPU Systems Oy. <http://www.spu.fi/files/spu/pdf/kosteusteknisesti_turvallinen_matalaenergia-_ja_passiivirakentaminen.pdf>. Luettu 20.1.2013.
- 16 Rakenteellisen energiategokkuuden passiivitaso malliratkaisut 2012. 2012. Verkkodokumentti. Rakennusteollisuus RT ry. <<http://www.rakennusteollisuus.fi/download.aspx?intFileID=3097&intLinkedFromObjectID=15850>>. Luettu 1.8.2012.
- 17 Passiivirakenteiden kosteusteknisen toimivuuden laskennallinen tarkastelu. 2012. Tutkimusselostus Nro VTT-S-04438-12. VTT.
- 18 Nieminen, Jyri. 2009. VTT. Verkkodokumentti. http://www.tekes.fi/fi/gateway/-PTARGS_0_201_403_994_2095_43/http%3B/tekesali1%3B7087/publishedcontent/publish/programmes/yhdyskunta/documents/seminaarit/jyrinieminen.pdf>. Luettu 10.11.2012.
- 19 Ympäristöministeriö, Sitra & Tekes. ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. 2010. Verkkodokumentti. <<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=121949&lan=fi>>. Luettu 20.2.2013.
- 20 Rakennuksen energia- ja ekotehokkuus. 2013. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö.<www.ymparisto.fi/energiategokkuusdirektiivi>. Luettu 10.1.2013.
- 21 Paroc. 2012. Tutkimusreferaatti. Jyri Nieminen, Riikka Holopainen, Ilpo Kouhia. Passiivitalo. Rakennuksen energiankäytön minimointi kylmässä ilmastossa. Verkkodokumentti. <<http://www.paroc.fi/~media/Files/Brochures/Finland/Passive-house-concept-Study-abstract-FI.ashx>>. Luettu 6.7.2013.
- 22 Miten täytät 2012 rakentamisen energiämääräykset?. 2011. Verkkodokumentti. TM Rakennusmaailma. <<http://rakennusmaailma.fi/artikkelit/miten-taytat-2012-rakentamisen-energiamaaraykset>>. Luettu 20.12.2012.
- 23 Rakentamismääräyksillä energiategokkuutta uudisrakentamiseen. 2012. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/files/5544/Rakentamismääräyksillä_energiategokkuutta_uudisrakentamiseen.pdf>. Luettu 5.1.2013.
- 24 Nieminen, Jyri & Lylykangas, Kimmo. 2009. Passiivitalon suunnittelu. Verkkodokumentti. <<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=107878&lan=fi>>. Luettu 9.12.2012

Rakenteellisen energiatehokkuuden passiivitason malliratkaisut 2012



Sisällys

1	Johdanto	1
2	Mineraalivillateollisuuden kohteita	4
2.1	Kohde 1 Vantaa	4
2.1.1	Yleistiedot	4
2.1.2	Sijainti tontilla	4
2.1.3	Rakenteet	4
2.1.4	Talotekniikka	5
2.1.5	Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso	6
2.1.6	Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon	6
2.1.7	Rakenteiden kosteustekninen toimivuus	7
2.1.8	Mallirakenteet	8
2.2	Kohde 2 Valkeakoski	10
2.2.1	Yleistiedot	10
2.2.2	Sijainti tontilla	10
2.2.3	Rakenteet	10
2.2.4	Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso	11
2.2.5	Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon	12
2.2.6	Rakenteiden kosteustekninen toimivuus	13
2.2.7	Mallirakenteet	14
2.3	Kohde 3 Tuomikylä	16
2.3.1	Yleistiedot	16
2.3.2	Sijainti tontilla	16
2.3.3	Rakenteet	16
2.3.4	Talotekniikka	17
2.3.5	Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso	17
2.3.6	Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon	18
2.3.7	Rakenteiden kosteustekninen toimivuus	18
2.3.8	Mallirakenteet	19
2.4	Kohde 4 Hyvinkää	21
2.4.1	Yleistiedot	21
2.4.2	Sijainti tontilla	21
2.4.3	Rakenteet	21
2.4.4	Talotekniikka	22
2.4.5	Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso	22
2.4.6	Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon	23

2.4.7	Rakenteiden kosteustekninen toimivuus	23
2.4.8	Mallirakenteet	25
2.5	Kohde 5 Ii	26
2.5.1	Yleistiedot	26
2.5.2	Sijainti tontilla	26
2.5.3	Rakenteet	26
2.5.4	Talotekniikka	27
2.5.5	Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso	27
2.5.6	Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon	28
2.5.7	Rakenteiden kosteustekninen toimivuus	28
2.5.8	Mallirakenteet	29
3	Puukuituteollisuuden kohteita	30
3.1	Kohde 6 Oulu	30
3.1.1	Yleistiedot	30
3.1.2	Sijainti tontilla	30
3.1.3	Rakenteet	30
3.1.4	Talotekniikka	31
3.1.5	Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso	31
3.1.6	Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon	32
3.1.7	Rakenteiden kosteustekninen toimivuus	32
3.1.8	Mallirakenteet	34
3.2	Kohde 7 Oulunsalo	37
3.2.1	Yleistiedot	37
3.2.2	Sijainti tontilla	37
3.2.3	Rakenteet	37
3.2.4	Talotekniikka	38
3.2.5	Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso	38
3.2.6	Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon	39
3.2.7	Rakenteiden kosteustekninen toimivuus	39
3.2.8	Mallirakenteet	41
4	PU-teollisuuden kohteita	44
4.1	Kohde 8 Kokkola	44
4.1.1	Yleistiedot	44
4.1.2	Sijainti tontilla	44
4.1.3	Rakenteet	44
4.1.4	Talotekniikka	45

4.1.5	Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso	45
4.1.6	Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon	46
4.1.7	Rakenteiden kosteustekninen toimivuus	47
4.1.8	Mallirakenteet	48
4.2	Kohde 9 Mäntyharju	49
4.2.1	Yleistiedot	49
4.2.2	Sijainti tontilla	49
4.2.3	Rakenteet	49
4.2.4	Talotekniikka	50
4.2.5	Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso	50
4.2.6	Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon	51
4.2.7	Rakenteiden kosteustekninen toimivuus	51
4.2.8	Mallirakenteet	53
4.3	Kohde 11 Oulu	54
4.3.1	Yleistiedot	54
4.3.2	Sijainti tontilla	54
4.3.3	Rakenteet	54
4.3.4	Talotekniikka	55
4.3.5	Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso	55
4.3.6	Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon	56
4.3.7	Rakenteiden kosteustekninen toimivuus	56
4.3.8	Mallirakenteet	58
5	EPS-teollisuuden kohteita	59
5.1	Kohde 12 Littoinen	59
5.1.1	Yleistiedot	59
5.1.2	Sijainti tontilla	59
5.1.3	Rakenteet	59
5.1.4	Talotekniikka	60
5.1.5	Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso	61
5.1.6	Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon	61
5.1.7	Rakenteiden kosteustekninen toimivuus	62
5.1.8	Mallirakenteet	63
5.2	Kohde 13 Littoinen	64
5.2.1	Yleistiedot	64
5.2.2	Sijainti tontilla	64
5.2.3	Rakenteet	64
5.2.4	Talotekniikka	65

5.2.5	Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso	66
5.2.6	Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon	66
5.2.7	Rakenteiden kosteustekninen toimivuus	67
5.2.8	Mallirakenteet	68
6	XPS-teollisuuden kohteita	69
6.1	Kohde 14 Espoo	69
6.1.1	Yleistiedot	69
6.1.2	Sijainti tontilla	69
6.1.3	Rakenteet	69
6.1.4	Talotekniikka	70
6.1.5	Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso	71
6.1.6	Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon	71
6.1.7	Rakenteiden kosteustekninen toimivuus	72
6.1.8	Mallirakenteet	73
6.2	Kohde 15 Salo	76
6.2.1	Yleistiedot	76
6.2.2	Sijainti tontilla	76
6.2.3	Rakenteet	76
6.2.4	Talotekniikka	77
6.2.5	Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso	77
6.2.6	Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon	78
6.2.7	Rakenteiden kosteustekninen toimivuus	78
6.2.8	Mallirakenteet	80
7	Viiteluettelo	83

1 Johdanto

Tässä raportissa esitetään olemassa olevista passiivitalohteista poimittuja turvallisia ja terveellisiä passiivitason rakenteellisen energiatehokkuuden malliratkaisuja.

Euroopan Unionia kohtaavat ennen näkemättömät haasteet, jotka johtuvat yhä kasvavasta riippuvuudesta energian tuonnista ja niukoista energiavaroista sekä tarpeesta rajoittaa ilmastonmuutosta ja selvitä talouskriisistä. Energiatehokkuus on yksi arvokas keino, jolla näihin haasteisiin voidaan vastata. Se parantaa Unionin energiansaannin varmuutta vähentämällä primäärienergian kulutusta ja energian tuontia. Se auttaa vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä kustannustehokkaalla tavalla ja siten hillitsemään ilmastonmuutosta. Siirtymisen energiatehokkaampaan talouteen pitäisi myös nopeuttaa innovatiivisten teknologisten ratkaisujen leviämistä ja parantaa Unionin teollisuuden kilpailukykyä, mikä edistää talouskasvua ja luo laadukkaita työpaikkoja useilla energiatehokkuuteen liittyvillä aloilla.

EU on asettanut tavoitteekseen vähentää primäärienergian kulutusta 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä. Tästä tavoitteesta on myös tehty yksi älykkääseen, kestäväan ja osallistavaan kasvuun tähtäävän Eurooppa 2020 -strategian viidestä yleistavoitteesta.

EU tuo entistä enemmän energiaa entistä korkeammin hinnoin. Tätä taustaa vasten energiavarojen saatavuus tulee keskipitkällä aikavälillä nousemaan entistä tärkeämpään asemaan, ja se saattaa myös vakavasti vaarantaa EU:n talouskasvun. Tästä syystä energiatehokkuus on yksi keskeinen näkökohta myös Eurooppa 2020 -strategian lippulaivahankkeessa "Resurssitehokas Eurooppa". Energiatehokkuuden parantaminen on kustannustehokkain ja nopein tapa parantaa energian saannin varmuutta, ja se on tehokas keino vähentää ilmastonmuutokseen vaikuttavia kasvihuonekaasupäästöjä.

Suurimmat energiansäästömahdollisuudet liittyvät rakennuksiin. Energian loppukulutuksesta asuinrakennusten, julkisten ja yksityisten toimistojen, kauppojen ja muiden rakennusten osuus on lähes 40 prosenttia. Asuintaloissa tästä menee kaksi

kolmasosaa lämmitykseen. Ilman hyvin lämmöneristettyä rakennusvaippaa ei voida toteuttaa energiatehokkaasti toimivaa rakennusta.

Myös Suomi on sitoutunut kiristämään uudisrakennusten energiatehokkuusmääräyksiä "lähes nollaenergia" -tasoon vuoteen 2020 mennessä. Jotta 1.7.2012 voimaan astuneiden energiamääräysten mukaisesti toteutettujen uudisrakennusten taloudellinen arvo säilyy lähestyttäessä vuotta 2020, tämä sitoumus on järkevää ottaa huomioon jo näiden rakennusten vaipparakenteiden toteuttamisessa.

Tavoitteena on, että uudisrakennusten olisi mahdollista saavuttaa rakennuksen vaipparakenteiden osalta vuoden 2020 määräystason edellyttämän "lähes nollaenergia"-tason vaatimukset. Tämän johdosta "Energiamääräykset 2012" mukaisesti toteutettujen uudisrakennusten on järkevää rakentaa vaipparakenteiden osalta vastaamaan vähintään "passiivitasoa".

Raportin laatimisessa ovat olleet mukana Matti Aronen (UK-Muovi), Asso Erävuoma (Finnfoam), Jussi Jokinen (Saint-Gobain Rakennustuotteet), Pekka Kalliomäki (Ympäristöministeriö), Tapio Kilpeläinen (ThermiSol), Pasi Käkelä (SPU), Joonas Risto, Ilkka Romppainen (Ekovilla), Tero Virrantuomi (Paroc) sekä Ari Ilomäki (RTT), Antti Koponen (RTT) ja Tuuli Kunnas (RTT).

Raportti on toteutettu yhteistyössä Ympäristöministeriön kanssa.

Helsingissä heinäkuussa 2012

Ari Ilomäki

Taulukko 1. Kohteiden yhteenveto

Kohde	Eriste- materiaali	Eriste- paksuus mm	U-arvo W/m ² K	Eriste- materiaali	Eriste- paksuus mm	U-arvo W/m ² K	Eriste- materiaali	Eriste- paksuus mm	U-arvo W/m ² K
	Alapohja			Ulkoseinä			Yläpohja		
1	XPS	280	0,11	MW	450	0,09	MW+MW	100+600	0,06
2	EPS	420	0,07	MW	480	0,09	MW	650	0,06
3	MW	300-350	0,10	MW	400	0,10	MW+MW	100+600	0,06
4	XPS	300-400	0,10	MW	355	0,10	MW+MW	25+500	0,06
5	EPS	350-400	0,09	MW	300	0,12	MW+MW	100+600	0,06
6	WF	400	0,10	WF	390	0,10	WF	600	0,08
7	WF	500	0,08	WF	425	0,10	WF	525	0,08
8	EPS+ IR-EPS	150+100	0,12	MW+PU	200+90	0,09	PU+MW	30+470	0,07
9	PU	250	0,09	PU	250	0,10	PU	320	0,07
10	PU	260	0,07	PU	280	0,09	PU	360	0,07
11	IR-EPS	350	0,08	EPS+ IR-EPS	160+150	0,12	MW	700	0,08
12	IR-EPS	400	0,05	EPS+ IR-EPS	118+200	0,10	MW+WF	100+700	0,05
13	XPS	210	0,13	MW+XPS	45+280	0,11	XPS	340	0,09
14	XPS	300	0,10	XPS	400	0,07	MW+XPS	50+400	0,07

Taulukossa 1 käytetyt eristemateriaalien lyhenteet:

EPS = Paisutettu polystyreeni

IR-EPS = Tehostetusti IR-säteilyä absorboiva paisutettu polystyreeni

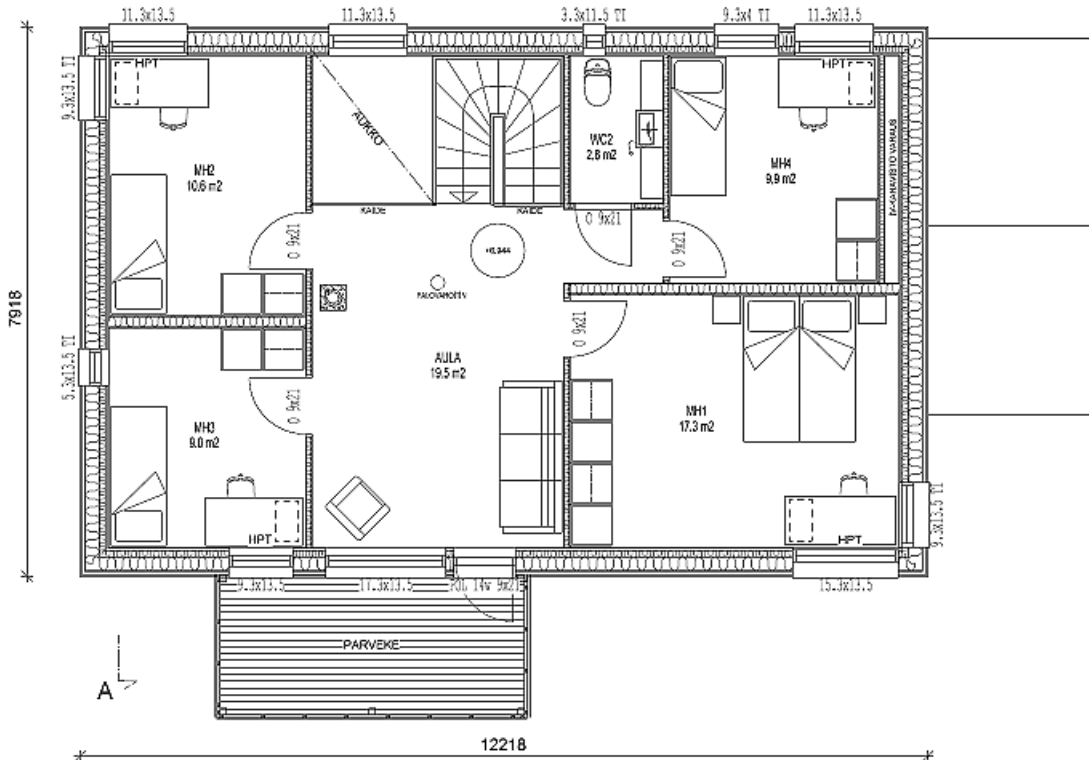
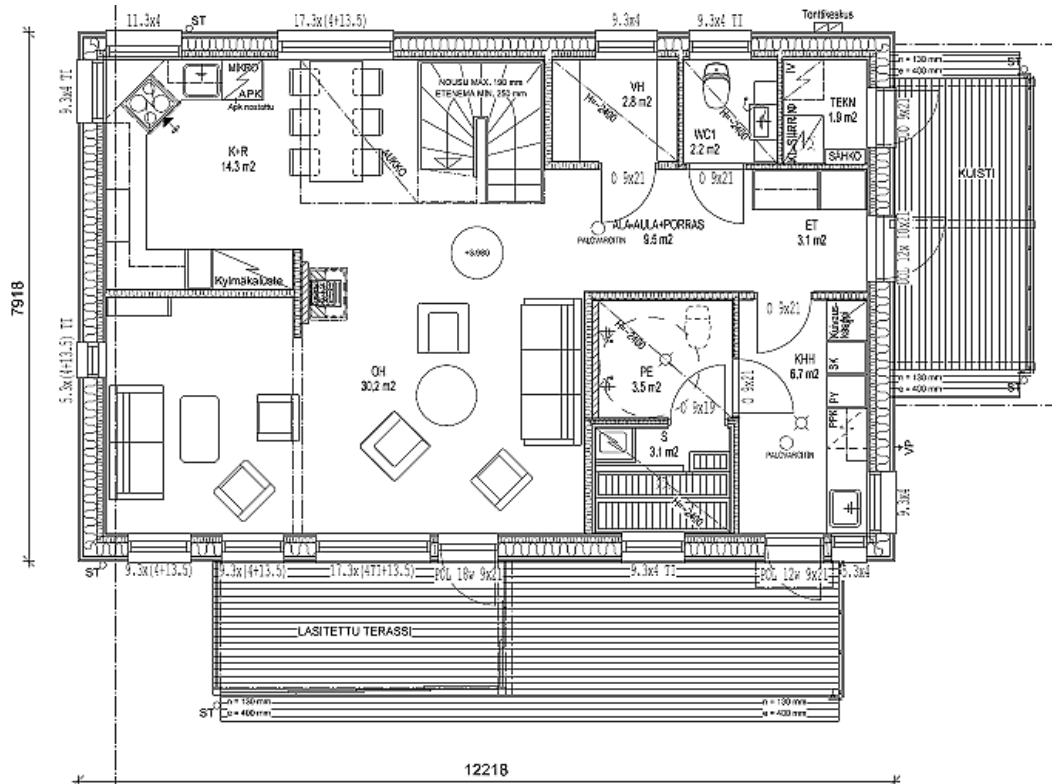
MW = Mineraalivilla

PU = Polyuretaani

WF = Puukuitu

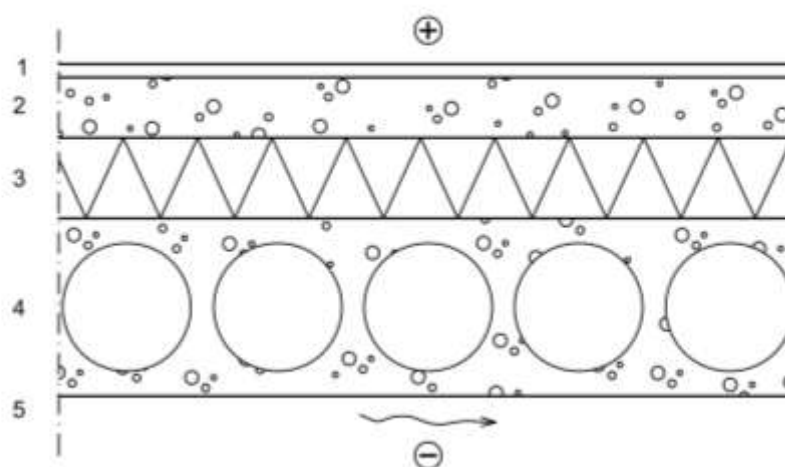
XPS = Suulakepuristettu polystyreeni

Pohjapiirustus, Design-Talo Hailuoto 186A 1:100



Rakenneleikkaukset, määräykset täyttävä pientalo

Tuulettuva alapohjarakenne



Rakenne	1	Pintamateriaalit/käsittely
	2	Betonivalu rakennesuunnitelmien mukaan
	3	SPU AL 120, saumat vaahdotetaan
	4	Kantava ontelolaatta rakennesuunnitelmien mukaan
	5	Tuulettuva tila

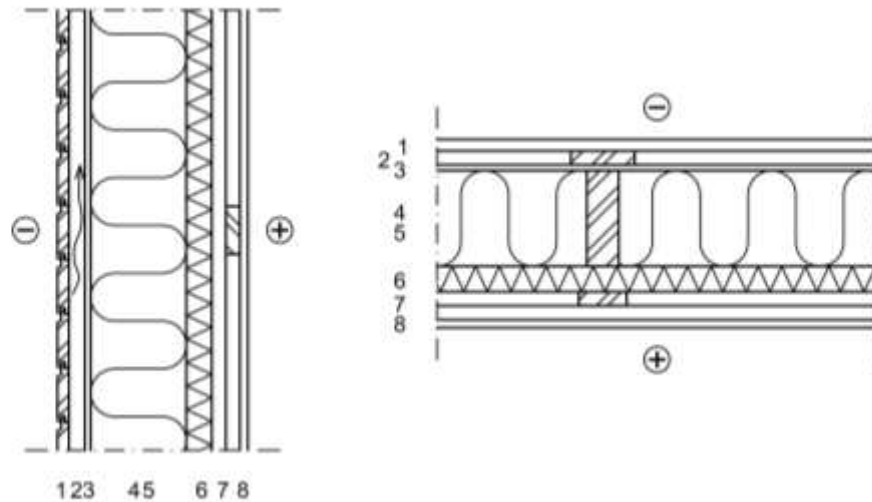
U-arvo 0,17 W/m²K (SPU AL λ_U 0,023 W/mK)

SPU AL eristelevyistä ei tule poistaa laminaattia levyn kummaltakaan puolelta.

SPU Eristeiden vaahdotus tehdään SPU vaahdotusohjeen [nro 101] mukaan.

SPU AL eristeen ja betonivalun välissä voidaan käyttää tarvittaessa valusuojakangasta.

Puurunkoinen ulkoseinärakenne



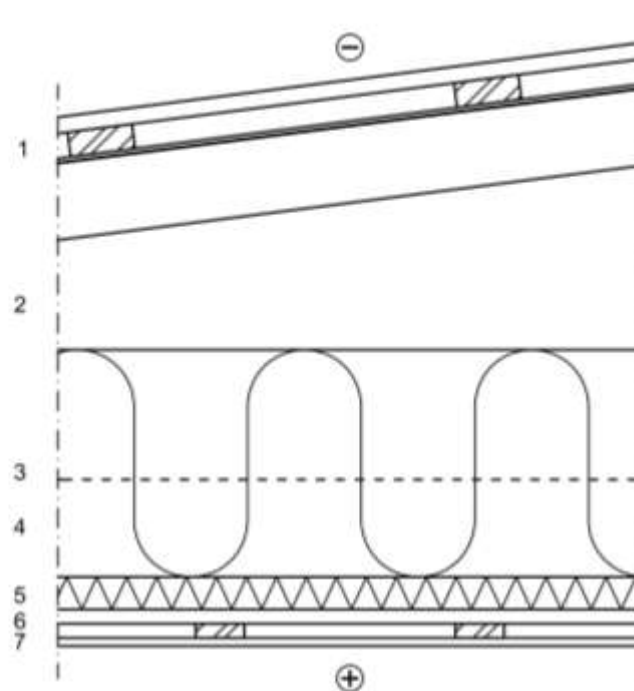
Rakenne	1	Ulkoverhous
	2	Tuuletusväli, pystykoolaus 22x100 mm
	3	Tuulensuojakipsilevy 9 mm
	4	Runkotolpat k600 rakennesuunnitelmien mukaan
	5	Mineraalivilla 150 mm, tiiviisti rungon välissä
	6	SPU AL 40 mm, saumat vaahdotetaan
	7	Asennustila, ristiinkoolaus 22x75 mm, toisiokannattajat k600
	8	Sisäverhouslevy
U-arvo		0,16 W/m ² K (SPU AL λ_U 0,023 W/mK, Mineraalivilla λ_U 0,037 W/mK)
Ilmääneneristävyyys	R_w	~41 dB
	$R_w + C$	~40 dB (lentomelua vastaan)
	$R_w + C_{tr}$	~36 dB (liikennemelua vastaan)

Runko voidaan jäykistää rungon ulkopuolelle tai SPU AL eristelevyn ja mineraalivillan väliin asennettavalla tarkoitukseen sopivalla rakennuslevyllä.

SPU AL eristelevyistä ei tule poistaa laminaattia levyn kummaltakaan puolelta.

SPU Eristeiden asennus tehdään SPU vaahdotusohjeen [nro 101], SPU Eristeiden kiinnitysohjeen [nro 105] ja SPU höyrönsulkuohjeen [106] mukaan. Yhtenäinen SPU AL eristekerros ja asennustilan koolaus kiinnitetään kantavaan runkoon mekaanisilla kiinnikkeillä. SPU AL eristelevyjen saumoissa suositellaan käytettäväksi vaahdotuksen lisäksi teippausta (esimerkiksi alumiiniteippi) tiiviiden varmistamiseksi.

Puurunkoinen yläpohjarakenne



Rakenne	1	Huopa-, pelti- tai tiilikate alusrakenteineen
	2	Tuulettuva tila ≥ 100 mm, tuuletus harjalta ja päädystä
	3	Puhallusvilla 350 mm
	4	Alapaarre k900 rakennesuunnitelmien mukaan
	5	SPU AL 50 mm, saumat vaahdotetaan
	6	Asennustila, ristiinkoolaus 22x75 mm, toisiokannattajat k400
	7	Sisäverhouslevy

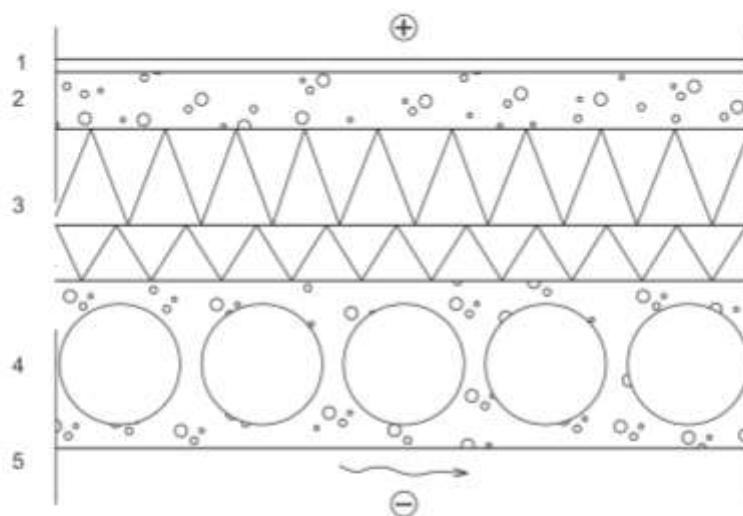
U-arvo 0,09 W/m²K (SPU AL λ_U 0,023 W/mK, Puhallusvilla λ_U 0,042 W/mK)

SPU AL eristelevyjen saumoissa suositellaan käytettäväksi vaahdotuksen lisäksi teippausta (esimerkiksi alumiiniteippi) tiiviyden varmistamiseksi.

SPU Eristeiden asennus tehdään SPU vaahdotusohjeen [nro 101], SPU Eristeiden kiinnitysohjeen [nro 105] ja SPU höyrynsulkuohjeen [106] mukaan. Yhtenäinen SPU AL eristekerros ja asennustilan koolaus kiinnitetään kantavaan runkoon mekaanisilla kiinnikkeillä.

Rakenneleikkaukset, passiivitalo

Tuulettuva alapohjarakenne



Rakenne	1	Pintamateriaalit/käsittely
	2	Betonivalu rakennesuunnitelmien mukaan
	3	SPU AL 100 + 150 mm saumat liimitään, saumat vaahdotetaan
	4	Kantava onteoloaatta rakennesuunnitelmien mukaan
	5	Tuulettuva tila

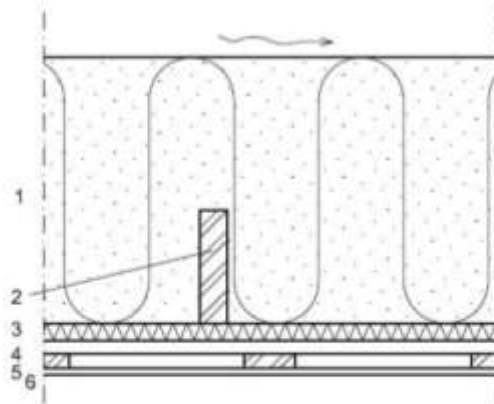
U-arvo 0,07 W/m²K (SPU AL λ_U 0,023 W/mK)

SPU AL eristelevyistä ei tule poistaa laminaattia levyn kummaltakaan puolelta. Kahden SPU AL eristelevyn väliin jääviä laminaatteja ei tule myöskään poistaa.

SPU Eristeiden vaahdotus tehdään SPU vaahdotusohjeen [nro 101] mukaan.

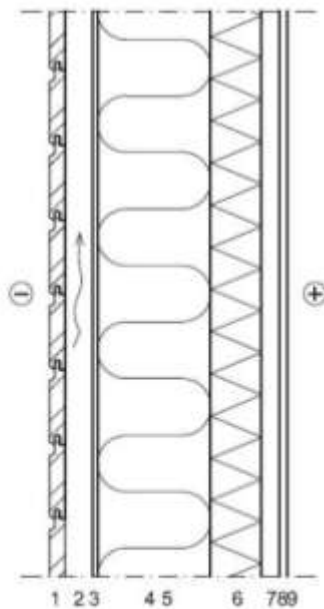
SPU AL eristeiden ja betonivalun välissä voidaan käyttää tarvittaessa valusuojakangasta.

Puurunkoinen ulkoseinä- ja yläpohjarakenne



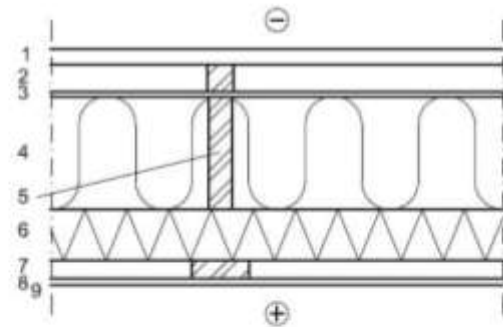
YLÄPOHJARAKENNE, U-arvo 0,07 W/m²K

1. Puhallusvilla 470 mm
2. Kattoristikön alapaame
3. PU eriste 30 mm, yhtenäisenä kerroksena rungon sisäpuolella
4. Asennustila, ristiikoolaus 24x90mm k400
5. Kipsilevy 13 mm
6. Pinnoite



ULKOSEINÄRAKENNE, U-arvo 0,10 W/m²K

1. Ulkoverhouslauta 28 mm
2. Tuuletusväli, pystyynkoolaus 48x48mm k600
3. Tuulensuojakipsilevy 9 mm
4. Mineraalivilla 200 mm
5. Runkotolpat, 42x198 k600
6. PU eriste 90 mm, yhtenäisenä kerroksena rungon sisäpuolella
7. Asennustila, pystyynkoolaus 32x100mm k600
8. Kipsilevy 13 mm
9. Pinnoite



ENERGIASELVITYS

RakMk D3 2012 ja RakMk D5 2012

Kohde: Määräykset täyttävä pientalo

Osoite: Esimerkkikuja 1

Kokkola

Käyttöveden lämmitysjärjestelmän kuvaus: Kaukolämpö

Tilojen lämmitysjärjestelmän kuvaus: Vesikiertoinen lattialämmitys (meno 40°C/paluu 35°C)

Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus: Sunair 481 EC-LT (31-139 L/s)

Selvityksen antaja:

Joonas Risto

Metropolia AMK

Allekirjoitus:

Selvityksen tilaaja:

Selvityksen antamispäivä:

28.01.2013

ENERGIASELVITYKSEN PÄÄTIEDOT (RakMk D3, kappale 5.)**Rakennuskohde**

Osoite	Esimerkkikuja 1, Kokkola
Rakennuksen käyttötarkoitus	Pientalo
Rakennusvuosi	
Lämmitetty nettoala	156.0 m ²

Rakennuksen kokonaisenergian kulutus (E-luku)

	Ostoenergia kWh/(m ² a)	E-luku kWh/(m ² a)	
Tilojen lämmitys (2)	69.83	55.12	
Ilmanvaihdon lämmitys (3)	6.57	4.60	
Lämmin käyttövesi	50.24	35.17	
Sähkölaitteet	31.54	53.61	
Jäähdytys	0.00	0.00	
Yhteensä	158.17	148.50	
<small>(2) sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa.</small>			
<small>(3) jälkilämmityspatteri, laskettu lämmöntalteenoton kanssa.</small>			
	E-luku	149	kWh/(m ² a)
	E-luvun raja-arvo	162	kWh/(m ² a)

Todellinen ostoenergia

	kWh/a	kWh/(m ² a)	
Tilojen lämmitys	10418	66.78	
Ilmanvaihdon lämmitys	827	5.30	
Lämmin käyttövesi	7837	50.24	
Sähkölaitteet	4780	30.64	
Jäähdytys	0	0.00	
Yhteensä	23862	152.96	

Laskettu sijaintipaikkakunnan vyöhykkeen mukaisilla säätiedoilla.

(E-luku laskennassa käytetty vyöhykettä I)

Energialaskennan lähtötiedot ja tulokset

RakMk D3 2012 kohdan 5.3 mukaisesti erillisessä liitteessä.

Kesäaikainen huonelämpötila kohdan 2.2 mukaan ja tarvittaessa jäähdytysteho

RakMk D3 2012 kohdan 2.2 mukaan.

(muille kuin pientaloille erillisen laskelman mukaan)

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuus

RakMk D3 2012 kohdan 2.4 mukaan erillisessä liitteessä.

Rakennuksen lämmitysteho mitoituslaitteissa

	kW	W/m ²	
Tilojen lämmitys	5.77	37	
Ilmanvaihdon lämmitys (jälkilämmityspatteri)	1.40	9	
Lämmin käyttövesi	67.24	431	
Jäähdytys	0.00	0	
Rakennuksen lämmitystehontarve	82.84	531	

Laskettu sijaintipaikkakunnan vyöhykkeen mukaisilla mitoitusarvoilla.

Lämpimän käyttöveden tehontarve hetkellisen mitoitusvirtaaman mukaan.

Rakennuksen energiatodistus

Energiatodistusasetusluonnoksen 2012 (tai energiatodistusasetus 2007) mukaisesti erillisessä liitteessä.

E-luokka: C (Energiatodistusasetusluonnoksen 2012 mukaisesti)

Laskentatyökalun nimi ja versio numero

Laskentatyökalun nimi ja versio numero

www.laskentapalvelut.fi, versio 1.1 (15.10.2012)

ENERGIASELVITYS

RakMk D3 2012 ja RakMk D5 2012

Kohde: Passiivitasoinen pientalo

Osoite: Esimerkkikuja 1

Kokkola

Käyttöveden lämmitysjärjestelmän kuvaus: Kaukolämpö

Tilojen lämmitysjärjestelmän kuvaus: Vesikiertoinen lattialämmitys (meno 40°C/paluu 35°C)

Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus: Sunair 481 EC-LT (31-139 L/s)

Selvityksen antaja:

Joonas Risto

Metropolia AMK

Allekirjoitus:

Selvityksen tilaaja:

Selvityksen antamispäivä:

28.01.2013

ENERGIASELVITYKSEN PÄÄTIEDOT (RakMk D3, kappale 5.)**Rakennuskohde**

Osoite Esimerkkikuja 1, Kokkola
 Rakennuksen käyttötarkoitus Pientalo
 Rakennusvuosi
 Lämmitetty nettoala 156.0 m²

Rakennuksen kokonaisenergian kulutus (E-luku)

	Ostoenergia kWh/(m ² a)	E-luku kWh/(m ² a)	
Tilojen lämmitys (2)	35.99	28.29	
Ilmanvaihdon lämmitys (3)	6.57	4.60	
Lämmin käyttövesi	50.24	35.17	
Sähkölaitteet	31.54	53.61	
Jäähdytys	0.00	0.00	
Yhteensä	124.33	121.67	
<small>(2) sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa.</small>			
<small>(3) jälkilämmityspatteri, laskettu lämmöntalteenoton kanssa.</small>			
	E-luku	122	kWh/(m ² a)
	E-luvun raja-arvo	162	kWh/(m ² a)

Todellinen ostoenergia

	kWh/a	kWh/(m ² a)	
Tilojen lämmitys	5304	34.00	
Ilmanvaihdon lämmitys	827	5.30	
Lämmin käyttövesi	7837	50.24	
Sähkölaitteet	4780	30.64	
Jäähdytys	0	0.00	
Yhteensä	18748	120.18	

Laskettu sijaintipaikkakunnan vyöhykkeen mukaisilla säätiedoilla.

(E-luku laskennassa käytetty vyöhykettä I)

Energialaskennan lähtötiedot ja tulokset

RakMk D3 2012 kohdan 5.3 mukaisesti erillisessä liitteessä.

Kesäaikainen huonelämpötila kohdan 2.2 mukaan ja tarvittaessa jäähdytysteho

RakMk D3 2012 kohdan 2.2 mukaan.

(muille kuin pientaloille erillisen laskelman mukaan)

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuus

RakMk D3 2012 kohdan 2.4 mukaan erillisessä liitteessä.

Rakennuksen lämmitysteho mitoitustilanteessa

	kW	W/m ²	
Tilojen lämmitys	3.90	25	
Ilmanvaihdon lämmitys (jälkilämmityspatteri)	1.40	9	
Lämmin käyttövesi	67.24	431	
Jäähdytys	0.00	0	
Rakennuksen lämmitystehontarve	80.65	517	

Laskettu sijaintipaikkakunnan vyöhykkeen mukaisilla mitoitusarvoilla.

Lämpimän käyttöveden tehontarve hetkellisen mitoitusvirtaaman mukaan.

Rakennuksen energiatodistus

Energiatodistusasetusluonnoksen 2012 (tai energiatodistusasetus 2007) mukaisesti erillisessä liitteessä.

E-luokka: C (Energiatodistusasetusluonnoksen 2012 mukaisesti)

Laskentatyökalun nimi ja versio numero

Laskentatyökalun nimi ja versio numero

www.laskentapalvelut.fi, versio 1.1 (15.10.2012)

Rakennustyyppi: Pientalo

Käyttöönottovuosi:

Osoite:

Muutama kysymys asuntonne

SISÄILMASTOSTA

Kysymyksiin vastataan asuntokohtaisesti merkitsemällä väite,
joka on lähimpänä mielipidettänne

Jos vastaajien mielipiteet poikkeavat toisistaan, merkitään
vastausten keskiarvo

Jos teillä on kysyttävää, ottakaa rohkeasti yhteyttä

Haluamme selvittää kuinka viihdytte asunnossanne ja mitä mieltä olette asuntonne sisäilmasta

1. Kuinka tyytyväisiä tai tyytymättömiä olette...

	erittäin tyytyväinen	melko tyytyväinen	en tyytyväinen, enkä tyytymätön	melko tyytymätön	erittäin tyytymätön
asuntonne kokoon?	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
asuntonne suunnitteluun?	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
asuntonne laatutasoon?	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
asuntonne vuokraan/hintaan?	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
asuntoonne kokonaisuudessaan?	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>

LÄMPÖ JA LÄMPÖTILA

2. Millainen lämpötila asunnossanne on talvisin?

	liian kylmä	kylmä	sopiva	lämmin	liian lämmin
keittiössä	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
olohuoneessa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
wc/kylpyhuoneessa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
makuuhuoneessa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>

3. Millainen lämpötila asunnossanne on kesäisin?

	liian kylmä	kylmä	sopiva	lämmin	liian lämmin
keittiössä	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
olohuoneessa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
wc/kylpyhuoneessa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
makuuhuoneessa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>

4. Aiheuttaako asuntonne ulkoilman lämpötilasta johtuva sisäilman lämpötilanvaihtelu epämukavuutta?

- 1 kyllä, usein
 2 kyllä, joskus
 3 ei, harvoin tai ei koskaan

5. Onko teillä mahdollisuus säätää asuntonne lämpötilaa lämmitysjärjestelmän avulla?

- 1 hyvä mahdollisuus
 2 jonkinlainen mahdollisuus
 3 ei mahdollisuutta

6. Onko asunnossanne kylmät...

- | | kyllä | ei | emme osaa sanoa |
|----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| lattiat? | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> |
| seinät? | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> |

7. Tunnetteko vetoa asunnossanne? Jos tunnette, niin merkitkää missä huonetilassa ja mistä se tulee. Voitte valita useita vaihtoehtoja.

- | | ei vetoa | vetoa: | | | | |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| | | lattiasta | ikkunasta | ovesta | ulkoseinästä,
ikkunan reunoista | tuuletusventtiilistä |
| keittiössä | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> |
| olohuoneessa | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> |
| wc/kylpyhuoneessa | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> |
| makuuhuoneessa | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> |
| eteisessä | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> |

8. Minkä kokonaisarvosanan antaisitte asuntonne lämpömukavuudelle...

- | | erittäin hyvä | melko hyvä | ei hyvä,
eikä huono | melko huono | erittäin huono |
|-----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| kesäisin? | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> | 5 <input type="checkbox"/> |
| talvisin? | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> | 5 <input type="checkbox"/> |

ILMANVAIHTO

9. Mitä mieltä olette asuntonne sisäilmasta?

kuiva vai kostea?

erittäin kuiva	melko kuiva	ei kuiva, eikä kostea	melko kostea	erittäin kostea
1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>

puhdas vai pölyinen?

erittäin puhdas	melko puhdas	ei puhdas, eikä pölyinen	melko pölyinen	erittäin pölyinen
1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>

raikas vai tunkkainen?

erittäin raikas	melko raikas	ei raikas, eikä tunkkainen	melko tunkkainen	erittäin tunkkainen
1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>

10. Onko asunnossanne ollut ongelmia seuraavien epä mukavuuksien kanssa?

Jos on, niin kertokaa kuinka usein...

	kyllä, usein	kyllä, joskus	ei koskaan
ruuanlaitosta aiheutuvat hajut	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
naapureiden ruuanlaitosta aiheutuvat hajut	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
naapurista tuleva tupakan savun tai jokin muu haju	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
ulkoa tulevat hajut, kuten pakokaasun, grillauksesta aiheutuvan savun tai teollisuuslaitoksen haju	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
kuiva ilma	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
vaikeuksia kuivattaa pyykkiä/märkiä pyyhkeitä wc:ssä tai kylpyhuoneessa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
veden tiivistyminen ikkunalasien väliin	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
veden tiivistyminen ikkunan sisäpinnalle	<input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>

11. Esiintyykö jokin seuraavista hajuista asunnossanne?

	kyllä	ei
pistävä haju	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
homeinen haju	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
ummehtunut haju	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
tunkkainen haju	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>

12. Minkälainen ilmanlaatu on seuraavissa huonetiloissa?

	erittäin hyvä	melko hyvä	ei hyvä, eikä huono	melko huono	erittäin huono
olohuoneessa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
makuuhuoneessa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
koko asunnossa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>

13. Onko teillä mahdollisuus vaikuttaa asuntonne ilmanlaatuun säätämällä ilmastointijärjestelmää?

- 1 hyvä mahdollisuus
 2 jonkinlainen mahdollisuus
 3 ei mahdollisuutta

14. Onko asunnossanne keskuspölynimuria?

- 1 kyllä
 2 ei

15. Kuinka usein puhdistatte tai vaihdatte asuntonne...

	joka kuukausi	joka kuudes kuukausi	kerran vuodessa	harvemmin	en koskaan	ei asennettu
poisto- ja tuloilmaventtiilit?	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>
liesituulettimen rasvasuodattimen?	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>
ilmanvaihtolaitteen suodattimen?	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>

16. Kuinka usein yleensä tuuletatte asuntonne lämmityskauden aikana?

- 1 päivittäin/lähes päivittäin
- 2 kerran viikossa
- 3 kerran tai kaksi kuukaudessa
- 4 harvemmin tai ei koskaan

17. Kun yleensä tuuletatte asuntonne, teettekö sen ...

- 1 pitämällä ikkunoita ja parveke-/terassiovia auki koko päivän/yön?
- 2 pitämällä ikkunoita ja parveke-/terassiovia auki muutaman tunnin ajan?
- 3 avaamalla ikkunat ja parveke-/terassiovet läpivedon aikaansaamiseksi muutaman minuutin ajaksi?
- 4 emme tuuleta koskaan

TERVEYSNÄKÖKOHDAT

18. Asunnon sisäilman laadulla voi olla yhteys asukkaiden terveyteen.

Oletteko kärsineet tai kärsittekö...

- | | kyllä | ei |
|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| astmasta tai muista hengitysoireista? | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> |
| heinänuhasta? | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> |
| ihottumasta? | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> |

19. Onko teillä esiintynyt jotain seuraavista oireista tai vaivoista viimeisten kolmen kuukauden aikana?

	kyllä usein(viikottain)	kyllä joskus	ei ei koskaan	JOS KYLLÄ: Uskotteko tämän johtuvan asuinympäristöstä?	
				kyllä	ei
väsymystä	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
päänsärkyä	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
silmien kutinaa, kirvelyä tai ärsytystä	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
ärtynyt, tukkoinen tai vuotava nenä	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
käheyttä, kurkun kuivumista	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
yskää	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
kuiva tai punoittava iho kasvojen alueella	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>

ÄÄNI- JA VALAISTUSOLOSUHTEET

20. Oletteko havainneet häiritseviä ääniä asunnossanne? Jos olette, merkitkää mistä häiritsevät äänet tulevat.

	kyllä, usein	kyllä, joskus	harvoin tai ei koskaan
hanoista, viemäreistä tai viemäristöstä	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
ilmanvaihtojärjestelmästä	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
naapurista	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
ulkopuolelta (esim. liikenteestä, teollisuuslaitoksesta tai lasten leikeistä)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>

21. Onko asuntonne hiljainen vai meluisa?

erittäin hiljainen	melko hiljainen	ei hiljainen, eikä meluisa	melko meluisa	erittäin meluisa
1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>

22. Millainen on asuntonne sisätilojen valoisuus?

aivan liian valoisa	liian valoisa	sopiva	liian pimeä	aivan liian pimeä
1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>

23. Kuinka paljon asuntonne sisätilat saavat suoraa auringonvaloa...

	liikaa	jonkin verran liikaa	sopivasti	jonkin verran liian vähän	liian vähän
talvisin?	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
kesäisin?	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>

24. Seuraavaksi pyydämme teitä arvioimaan mahdollisia ongelmia, joita voisi esiintyä asunnossanne. Merkitkää kohta, joka on lähinnä mielipidettänne.

	täysin samaa mieltä	osin samaa mieltä	en lainkaan samaa mieltä	ei mielipidettä
Meillä ei ole mahdollisuutta säätää asunnon lämpötilaa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
Asunnon ilma tuntuu usein liian kuivalta	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
Asunnossa tuntuu usein liian kylmältä aamuisin	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
Olemme usein harmissamme ruuanlaiton aiheuttamista hajuista asunnossa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
Kuulemme usein ääniä naapuritaloista	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
Asunnon lattia tuntuu usein liian kylmältä	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>

	täysin samaa mieltä	osin samaa mieltä	en lainkaan samaa mieltä	ei mielipidettä
Asunnossa haistaa usein ummehtuneelle	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
Asunnossa on usein liian kylmä talvisin	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
Meillä ei ole mahdollisuutta säätää asunnon ilmastointia	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
Pyyhkeiden kuivattaminen kylpyhuoneessa kestää liian kauan	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
Tunnen usein vetoa ikkunoista ja parvekkeen ovesta	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
Vesiputkien äänet häiritsevät meitä usein	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
Veden tiivistymistä ikkunoissa esiintyy usein, kun laitamme ruokaa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
Ilmanvaihtojärjestelmän äänet häiritsevät meitä usein	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>

TAUSTAKYSYMYKSET

25. Montako huonetta asunnossanne on?

- 1 1 huone ja keittiö/keittokomero
 2 2 huonetta ja keittiö/keittokomero
 3 3 huonetta ja keittiö
 4 4 huonetta ja keittiö
 5 5 huonetta ja keittiö
 6 6 huonetta ja keittiö
 7 7 huonetta ja keittiö tai suurempi

26. Onko asunnossanne tehty kunnostus- tai korjaustoimenpiteitä? Jos on, niin kertokaa mitä asunnossa on tehty.

- 1 kyllä, _____
 2 ei

27. Kuinka monta henkilöä asuu taloudessanne?

- _____ aikuisia
 _____ lapsia, alle 6 vuotta
 _____ lapsia, 7-17 vuotta

28. Onko asunnossanne kotieläimiä? Jos on, niin kertokaa mitä.

- 1 ei
 2 kyllä, _____

29. Kuinka monta tuntia asuntonne on tyhjillään arkipäivisin? Jos asuntonne on tyhjillään 15 tuntia tai enemmän vastatkaa kysymykseen 30.

- tyhjillään
- 0 – 4 tuntia 1
 5 – 9 tuntia 1
 10 – 14 tuntia 1
 15 tuntia tai enemmän 1

30. Pidättkö 15 tuntia tai enemmän tyhjillään olevassa asunnossanne peruslämpöä yllä?

kyllä 1
ei 2

31. Kuinka kauan olette asuneet asunnossanne?

0 alle vuoden
1 6 –12 kuukautta
2 1 – 3 vuotta
3 4 – 5 vuotta
4 6 – 10 vuotta
5 yli 10 vuotta

32. Tupakoidaanko asuntonne sisätiloissa?

1 kyllä
2 ei