

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Energiatekniikan osasto

DIPLOMITYÖ

UUSIEN ENERGIANORMIEN VAIKUTUS PIENTALOJEN
RAKENTEISIIN YMPÄRISTÖN KANNALTA

Diplomityön aihe on hyväksytty energiatekniikan osaston osastoneuvoston kokouksessa 13.12.2000

Työn tarkastaja ja ohjaaja: professori Esa Marttila

Lappeenrannassa 3.5.2001

Pertti Hartikka
Ilvesmäentie 64, 04240 Talma
Puh. 09-2396 409
050-5758 903

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu

Osasto: Energiatekniikan osasto

Tekijä: Pertti Hartikka

Työn nimi: Uusien energianormien vaikutus pientalojen rakenteisiin

ympäristön kannalta

Diplomityö

Vuosi: 2001

89 sivua, 18 kuvaa, 9 taulukkoa, 6 kaaviota

Tarkastaja: Professori Esa Marttila

Tehokkaimpia keinoja vähentää rakennusten lämmitysenergian kulutusta ja lämmityksen aiheuttavia hiilidioksidi- ja happamoitavia päästöjä on tiukentaa rakentamismääräysten lämmöneristysvaatimuksia. Hyvin lämmöneristetyissä, tiiveissä ja ilmanvaihdoltaan optimoiduissa taloissa on pienet lämpöhäviöt. Näin ympäristöä kuormittava vaikutus saadaan paljon vähemmäksi kuin nykynormien mukaisissa asuinrakennuksissa.

Johtumislämpöhäviö pienenee suoraan eristekerroksia paksuntamalla ja siihen on helpointa vaikuttaa. Mitä suurempiin eristepaksuuksiin mennään sen suuremmaksi tulee konvektion osuus kokonaislämpöhäviöstä. Tulevaisuudessa parempia ratkaisuja haetaan erityisesti konvektiosta ja säteilystä aiheutuvien lämpöhäviöiden pienentämiseksi.

Eristeen osastointi ilmanpitävillä, vesihöyryä diffuusisesti läpäisevillä pystysuuntaisilla konvektiokatkoilla vähentää tehokkaasti paksun seinäeristeen kuljettumisilmavirtauksia. Katkoina käytetään erilaisia kalvoja ja rakennuspapereita, joilla on pieni emissiviteetti. Katkojen merkitys kasvaa, kun mennään uusien normien mukaisiin eristepaksuuksiin.

Lämmöneriste voidaan toteuttaa myös kokoamalla ohuita kalvoja paketiiksi, jotka jakavat ilmatilan ja siis eristeelle varatun paksuuden suljettuihin ilmaväleihin. Kun kalvoiksi valitaan pieniemissiviteettisiä pintoja, saadaan säteilylämmönsiirto lähes eliminoiduksi. Tällaisen ilmatilan lämmönjohtumisluku lähestyy paikallaan pysyvän ilman lämmönjohtumislukua, $\lambda = 0,025 \text{ W/Km}$, eli tällä rakennusteemillä on mahdollista toteuttaa ohuempia rakenteita kuin perinteisillä eristeillä.

Hygroσκοoppisen massan käyttö sisäilman kosteutta tasaavana rakenteena voi olla tulevaisuutta. Kehitystyö tuottaa uusia, kosteusteknisesti toimivia sovelluksia. Toisaalta palomääräykset tulevat kehitystyötä vastaan. Hygroσκοoppinen pintamateriaali on kevyt (pieni tiheys) ja paloteknisesti arka.

Suoraa sähkölämmitystä ei voida pitää ympäristöystävällisenä. Sen jalostusketju on pitkä ja monivaiheinen. Millä peruspolttoaineella sähköä tuotetaan, vaikuttaa asiaan luonnollisestikin. Suoraa sähkölämmitystä voidaan suositella vain yksinäisen ihmisen taloudessa lämmitysmuotona taloudellisista syistä. Halvan polttoaineen säästöllä ei voida maksaa suuria laiteinvestointeja.

Aurinkoenergian hyvä hyödyntäminen edellyttää hyvää säätöä, joka kytkee lämmityksen pois päältä silloin, kun aurinko lämmittää. Auringon hetkelliset säteilytehot ovat suuria verrattuna rakenteen lämpöhäviöihin ja huonetilojen lämmöntarpeeseen. Ratkaisu aurinkoenergian hetkellisyyteen ja paikallisuuteen on energian siirtäminen lämmöntarpeen mukaan rakennuksen eri osiin ja sen varastoiminen päivätasolla. Kun varastoivasta massasta ei ole suoraa yhteyttä ulos, voidaan kerääjäeristeeltä saatu lämpö käyttää häviöttömästi huonetilojen lämmittämiseen.

Vaikka lämmitysenergian käytössä päästään 30 % vähennyksiin uudisrakennusten osalta, ei kokonaisenergian käyttö merkittävästi pienene, jos taloussähkön kulutus pysyy vakiona. Sama pätee myös CO₂ -päästöihin. Saavutettava etu lämmitysenergian kulutuksessa voidaan hukata yhä suurenevaksi taloussähkön käytöksi, mikä olisi erityisen huono asia ympäristön kannalta.

SUMMARY

Lappeenranta University of Technology

Department: Department of Energy Technology

Writer: Pertti Hartikka

Title: Effects to small house structures caused by new energy regulations taking account of environmental aspects

Master's thesis

Year: 2001

89 pages, 18 figures, 9 tables, 6 diagrams

Supervisor: Professor Esa Marttila

Finnish energy regulations for buildings are going to be renewed. The aim is to reduce heat losses 30 % from the present level. It seems that those regulations are going to be into rule in the beginning of 2003 and the ordinary chancing time is planned after it. New construction work will be done immediately according to the new regulations.

The story tries to summarize the main ways of reducing heating energy loss through building envelope of detached houses. The best ways are thicker layers of insulation, advanced windows, heat recovery from exhaust air in ventilation and more strict house technology. These steps will meet the becoming requirements. But it is needed some more complicated structures for future if we want to gain better improvements.

Convection air flows are increasing when using thicker mineral wool layers in external walls. This energy loss is possible to eliminate by using air tight but vapour permeable vertical convection barriers.

Thermal insulation structures is possible to realize by using only low-emissivity foils and air cavities instead of classical insulation layers. These solutions are effect to prevent thermal radiation and convection air flows. Thermal conductivity of these structures are almost equal to stable air. So the total thickness of insulation layer in this way can be more slender than using conventional wool layers.

An effect way to reduce long-wave thermal radiation from crawl space is to install a low-emissivity foil under the floor structure. It improves thermal resistance of the

basic floor by raising surface temperature several degrees. Due to this relative humidity of crawl space diminishes.

Active solar energy heating is for future. The heat transfer can be realized on natural convection from collector wall through an air duct to storage wall, which brings the heating energy in the space. Collector wall consist of transparent insulation layer and thin concrete mass as an absorbator. Storage wall, light weight concrete, is inside the building. There is no direct conduct to out, so the heat transfer is utilized completely inside.

It is difficult to reduce effectively CO₂ –emissions by pure 30 % cut to heating energy. Use of household electricity is rather increasing. So the reduction of total energy consumption is fairly slight.

ALKUSANAT

Työn otsikko on kirjoittajan omaehtoteinen. Työ tehtiin kirjoittajan tulevalle yritykselle, Nikkari-ideoille, jossa aletaan harjoittaa rakennusten kuntokartoitusta, energiateknistä neuvontaa, pienimuotoista suunnittelua yms.

Haluan korostaa, että pelkästään energianormien kiristyminen ei johda kirjoituksessa esitettyihin kaikkiin asioihin. Normimuutoksen taso edellyttää vain parempaa lämpöeristystä, tarkempaa talotekniikkaa ja taloudellisempaa ilmanvaihtoa. Muu ”kuvitus” on myöhemmin tulevaa kehitystä, minkä jo nykyinen edistysellinen uudisrakentaja voi ottaa huomioon ratkaisuisaan.

Kirjoitus on monilta osin tekijän näkemys, eräänlainen ennustus tulevasta. Kerrottu ei välttämättä toteudu, se toteutuu voimakkaampana tai heikompana.

Haluan kiittää prof. Esa Marttilaa, joka suhtautui myötämielisesti ehdottamaani aiheeseen.

Ajatuksen kulku on seuraava:

Uudet energianormit ja miksi niitä tarvitaan → Paksummat eristykset ja niihin liittyvät rakenteet, parempi talotekniikka → Vähäisempi lämmittämisen tarve → Pienemmät päästöt

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

SUMMARY

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

KÄYTETYJÄ MERKINTÖJÄ

1	JOHDANTO.....	5
2	ENERGIANKULUTUS JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMINEN.....	7
	2.1 Syitä päästöjen vähentämiseen.....	7
	2.2 Kansainvälisiä sopimuksia.....	8
	2.3 Suomen energiankulutus ja hiilidioksidipäästö vuositasolla.....	8
	2.4 Suomen päästövähennystavoite.....	9
3	RAKENNUSTEN LÄMMITYKSEEN KULUVA ENERGIA.....	9
	3.1 Energiaa vähemmän kuluttava talo.....	11
	3.2 Neliömetriperusteinen energiankulutus.....	12
	3.3 Lämmitysenergian ominaiskulutus.....	13
	3.4 Lämmitysenergian säästön ohjaukeinot.....	14
4	PIENTALON ELINKAAREN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSISTA.....	14
	4.1 Epäsuorat ympäristövaikutukset.....	16
	4.2 Lämmitysenergian osuus kokonaisenergiasta.....	16
	4.3 Arvio pientalon energiankulutuksesta.....	16
5	RAKENTEIDEN VAIPPAPINNAT.....	17
	5.1 Seinät.....	18
	5.1.1 Konvektion vaimentaminen seinäeristeessä.....	18
	5.1.1.1 Konvektiokatko.....	19
	5.1.1.2 Konvektiokatkon muita tehtäviä.....	23
	5.1.2 Kalvoeristetyt seinärakenteet.....	24
	5.1.3 Ilmaväli eristeen lämpimämmällä puolella.....	25
	5.2 Alapohja.....	26
	5.2.1 Ryömintätilaiset alapohjat.....	26
	5.2.1.1 Pieniemissiviteettikalvon merkitys lämmönsiirtoon.....	27
	5.2.1.2 Koetuloksia.....	29
	5.2.1.3 Epäpuhtauksien vaikutus kalvoon.....	30
	5.2.2 Maanvaraiset alapohjat.....	31
	5.3 Yläpohjat.....	32
	5.4 Ikkunat.....	32
	5.4.1 Ikkunatyypin lämmönläpäisystä.....	33
	5.4.2 Korjausrakentamisen ratkaisuja.....	35
6	ILMANVAIHTO.....	36
	6.1 Tiiviiden merkitys.....	36
	6.2 Lämmön talteenoton merkitys.....	37

6.3	Hybridi-ilmanvaihto.....	38
6.4	Perinteinen painovoimainen ilmanvaihto.....	40
6.5	Kosteuskuormitusta tasaavat rakenteet.....	40
7	LÄMMITYSTAVOISTA.....	42
7.1	EU:n säädöksiä lämmitykseen.....	42
7.2	Lämmitysjärjestelmän valintakriteereitä.....	43
7.3	Lämmitysjärjestelmän osat.....	44
7.4	Päälämmitysjärjestelmät.....	45
7.4.1	Huonekohtainen sähkölämmitys.....	45
7.4.2	Öljylämmitys.....	46
7.4.3	Puulämmitys.....	47
7.4.4	Kaukolämmitys.....	48
8	AURINKOLÄMMITYS.....	50
8.1	Passiivinen aurinkolämmitys.....	50
8.1.1	Lämmön varastointi ja hyödynnettävyys.....	51
8.1.2	Ilman esilämmitys.....	51
8.1.3	Poistoilmaikkuna.....	52
8.2	Aktiivinen aurinkolämmitys.....	52
8.2.1	Tasokerääjistä.....	53
8.2.2	Kerääjän hyötysuhde.....	54
8.2.3	Käyttöveden lämmitys.....	56
8.3	Lämpöpumpuista.....	56
8.3.1	Poistoilmalämpöpumppu.....	58
8.3.2	Maalämpöpumppu.....	59
8.3.3	Lämpöpumppu aurinkolämmityksessä.....	60
8.3.4	Ilmalämpöpumppu.....	61
8.4	Valoa läpäisevät eristeet.....	62
8.4.1	Ylilämmön torjuntakeinoja.....	62
8.4.2	Valoa läpäisevän eristeen lämmönjohtumisluku.....	63
8.4.3	Säteilylämpöä siirtävä seinärakenne.....	63
8.4.4	Rakennuksen lämmöntarve ja aurinkoenergian saatavuus.....	65
8.4.5	Omavoimaisen ilmankiertojärjestelmän toimintaperiaate.....	67
8.4.5.1	Laskennallinen tarkastelu.....	68
9	LÄMMÖNERISTÄMISEN KANNATTAVUUS.....	70
9.1	Lämmöneristeen toiminta.....	70
9.2	Hirsiseinän mahdollisuus tulevaisuuden seinärakenteena.....	71
9.3	Esimerkkiratkaisu lämmöneristämisen kannattavuudesta.....	72
9.3.1	Energiansäästön investoinnit.....	72
9.3.2	Rakentamiskustannussäästöt.....	73
10	PIENTALON ELINKAAREN AIKAINEN ENERGIAANKULUTUS.....	75
10.1	Ennen käyttöä kuluva energia.....	77
10.2	Käytön aikainen energiankulutus.....	78
10.3	Käytön jälkeinen energia.....	78

11	ENERGIAN KÄYTÖSTÄ AIHEUTUVAT PÄÄSTÖT.....	79
11.1	Rakennusmateriaalien valmistuksen ja rakentamisen päästöt.....	80
11.2	Rakennuksen käytön aikaiset päästöt.....	81
11.2.1	Kasvihuonekaasupäästöt.....	82
11.2.2	Happamoittavat päästöt.....	83
11.3	Käytön jälkeiset päästöt.....	83
11.4	Pientalon elinkaaren aikaiset kokonaispäästöt.....	84
12	YHTEENVETO JA LOPPUPÄÄTELMÄT.....	85
	LÄHTEET.....	88

KÄYTETTYJÄ MERKINTÖJÄ**Alapohjan säteilylämpövirta**

q_{rad}	säteilylämpövirran tiheys kahden yhdensuuntaisen pinnan välillä [W/m^2]
σ	Stefan-Bolzmanin vakio $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2\text{K}^4$
e_{12}	pintojen välinen tehollinen emissiviteetti (laaduton)
T_1	alapohjan alapinnan lämpötila [K]
T_2	ryömintätilassa maan pintalämpötila [K]
T_m	edm. pintojen keskiarvolämpötila [K]
α_{rad}	säteilyteho pinta-alaa ja lämpötila-astetta kohti [$\text{W}/\text{K}\text{m}^2$]

Tasokerääjä

C''	lämpökapasiteettivirta [$\text{W}/\text{K}\text{m}^2$]
T_1	kerääjään menevän nesteen lämpötila [K]
T_2	kerääjästä palaavan nesteen lämpötila [K]
α	keräyspinnan absorptiosuhde (laaduton)
τ	kerääjän katteen läpäisyysuhde (laaduton)
I	auringon säteilyn intensiteetti [W/m^2]
k_L	kerääjän katemateriaalin lämmönläpäisykerroin [$\text{W}/\text{K}\text{m}^2$]
T_u	ulkoilman lämpötila [K]
T_a	absorptiopinnan keskilämpötila [K]
c_p	kerääjän nestevirran lämpökapasiteetti [$\text{J}/\text{kg}^\circ\text{C}$]
q_v	kerääjän nesteen tilavuusvirta [m^3/s]
ρ	kerääjän nestevirran tiheys [kg/m^3]
A	kerääjän pinta-ala [m^2]
F_R	lämpökapasiteettivirran C'' korjauskerroin (laaduton)
η	kerääjän hyötysuhde (laaduton)

1 JOHDANTO

Kioton ympäristösopimusten täyttämiseksi suomalaisten rakennusten lämmitysenergian kulutusta on alennettava. Ympäristöministeriössä valmistellaan normien tiukennusta siten, että uusien rakennusten lämmitykseen käytettävän nettoenergian kulutusta saadaan pienemään 30 prosenttia. /23/. Osuuteen vaikutti arvio, miten eri lämmitystapojen painottaminen vähentää hiilidioksidipäästöjä. Lämmitystapojen valintaan tai suosimiseen vaikuttaa oleellisesti lähitulevaisuuden voimalaratkaisut sähköntuotannossa.

Sähkölämmitystä tullaan tarkastelemaan kriittisesti uusissa normeissa, ja sähkölämmitykselle asetetaan tiukemmat vaatimukset kuin muille lämmitystavoille. Suoran sähkölämmityksen sijaan voitaisiin siirtyä käyttämään lämpöpumppuja. Sähköntuotannon yhteydessä saatavan kaukolämmön suosiminen on hyvä asia. Pelkkään lämmöntuotantoon erikoistuneet aluelämpökeskukset eivät ole edullisia.

Suomessa on paljon lämpötaloudellisesti epäkelpoja pientaloja. Kaikkia ei voida peruskorjata tulevien normien mukaisiksi, mutta rakennusten heikkoa energiatasetta voidaan kompensoida valitsemalla paikallisesti suositeltava lämmitystapa. Vähemmän halutuille lämmitysjärjestelmille voidaan antaa tiukemmat lämmöneristysarvot kuin suositeltavimmille.

Kannattaa selvittää myös, onko mm. hirsirakentamisen säilyttämiseen kansallisena rakennustapana löydettävissä jokin korvaavuus ilman, että hirsiseiniä pitää lisäeristää. Se on meille perinteisesti tyypillinen ja hyväksi havaittu terveellinen seinäratkaisu. Ikkunoiden normien tiukennus on selvää jo teknologian kehityksen takia.

Lämmöneristysmääräysten yhteydessä uusitaan myös ilmanvaihtomääräykset. Lämmön talteenotto selvitetään paitsi energian myös terveystieteiden valossa.

Uusien normien tulisi ottaa kantaa myös siihen, mitä vaihdettavan ilman määrään vaikuttavat esim. päästövapaat pintamateriaalit, tiukentunut tupakkalaki tai vaikkapa pyykin kuivaus sisällä.

Ministeriön esityksen uusista energianormeista piti lähteä lausunnolle vuoden 2001 alussa. Määräyksiä kaavailtiin tulevan voimaan 2002 alussa, mutta se siirtynee 2003 alkuun ja sen jälkeen mietitään sopivaa siirtymäaika.

Kirjoitus pyrkii selvittämään pääkeinot, joilla pientalojen lämmitysenergian kulutus saadaan väheneään normien edellyttämät 30 %. Niitä ovat rakenteiden vaippapintojen paksumpi lämmöneristys, paremmat ikkunat, lämmön talteenotto poistoilmasta ja tarkempi talotekniikka.

Kirjoituksessa esitetään myös muita ratkaisuja, jotka saattavat olla tulevaisuutta ja joilla päästään jo huomattavasti parempaan energiatalouteen kuin normien edellyttämä taso. Lisäksi tarkastellaan lämmityksestä aiheutuvia päästöjä.

2 ENERGIANKULUTUS JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMINEN

2.1 Syitä päästöjen vähentämiseen

Fossiilisten polttoaineiden polttaminen tuottaa ilmakehään suuren määrän haitallisia kemiallisia yhdisteitä kuten rikkidioksidia (SO_2) ja typen oksideja (NO_x), jotka aiheuttavat ilmakehän, maaperän ja vesistöjen saastumista ja happamoitumista.

Ilmastoa lämmittäväksi uhkaksi koetaan hiilidioksidin (CO_2) lisääntyvä määrä alailmakehässä. Hiilidioksidia ei luokitella saasteeksi, vaan vain haitalliseksi aineeksi, koska viherkasvit pystyvät sitä hyödyntämään ja koska sitä on ilmakehässä muutenkin ilman lisääntyviä polttoprosesseja.

Toisaalta ilmaan jäävä hiilidioksidi lisääntyy myös siksi, että sitä hyödyntävien suurviherkasvien eli puiden määrä vähenee laajojen hakkuiden vuoksi Kauko-Idän ja Etelä-Amerikan sademetsistä. Näin hiilidioksidimäärän kasvua ilmakehässä ei ole osattu pitää suurena ongelmana kuin vasta viimeisinä vuosikymmeninä.

Nykyisin ihmisen toiminnan seurauksena ilmakehään vapautuu vuosittain noin 3200 miljoonaa tonnia hiilidioksidia (WWF:n arvio). Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on noussut noin 29 prosenttia teollisen vallankumouksen alkamisen jälkeen ja on nyt 0,036 tilavuusprosenttia. Maapallon keskilämpötila on noussut 1900-luvun aikana noin $0,5\text{ }^\circ\text{C}$ (YK:n ilmastopaneeli IPCC).

Hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen, lähinnä metaanin (CH_4) ja typpioksiduulin (N_2O) pitoisuuksien arvioidaan nousevan kaksinkertaisiksi esihistorialliseen aikaan verrattuna noin vuoteen 2030 mennessä. Kaksinkertaiset pitoisuudet nostavat keskilämpötilaa $1,5 - 4,5\text{ }^\circ\text{C}$, jolla olisi ennalta arvaamaton vaikutus maapallon ilmastoon. /1/

2.2 Kansainvälisiä sopimuksia

Kasvavasta energiankulutuksesta johtuvan kasvihuonekaasupäästöjen lisääntymisen aiheuttaman ilmastonmuutoksen torjumiseksi solmittiin Yhdistyneitten Kansakuntien ilmastopimus, jonka suuri osa maailman valtioista allekirjoitti Rio de Janeirossa 1992. Myös Suomi allekirjoitti tämän sopimuksen.

Sopimuksen tavoitteena on saada aikaan kasvihuonekaasujen pitoisuuksien vakiinnuttaminen sellaiselle tasolle, ettei ihmisten toiminnasta aiheudu vaarallista häiriötä ilmastossa. Tämä taso tulisi saavuttaa aikavälillä, joka sallii ekosysteemien sopeutua ilmastonmuutokseen luonnollisella tavalla, varmistaa ettei elintarviketuotanto ole uhattuna ja mahdollistaa kestäväen taloudellisen kehityksen.

Rion ilmastopimus oli puitesopimus, jossa ei vielä määritelty tarkemmin eri maiden toimenpiteitä kasvihuoneilmiön torjumiseksi ja päästöjen vähentämiseksi. Myöhemmin Kiotossa 1997 päätettiin tavoitteeksi pysäyttää kasvihuonekaasupäästöt vuoden 1990 tasolle.

Päästöjen vähentäminen ei ole maailmanlaajuisesta teollistumisesta ja yhä kasvavasta energiantarpeesta johtuen helppoa. Riassa solmitun ilmastopimuksen tavoitteen toteuttamistapoja oli tarkoitus täsmentää Haagissa syksyllä 2000. Kokous päättyi USA:n ja EU-maiden erimielisyyksiin.

2.3 Suomen energiankulutus ja hiilidioksidipäästö vuositasolla

Suomen energiankulutus vastasi vuonna 1998 yhteensä 30,8 miljoonaa öljytonnia (Mtoe). Yli puolet energiantarpeesta otetaan fossiilisilla polttoaineilla, joiden polttaminen vapauttaa ilmakehään hiilidioksidia (CO₂). Myös suuri osa sähköstä tuotetaan fossiilisilla polttoaineilla. Suomen vuosittaiset hiilidioksidipäästöt ovat

tällä hetkellä noin 60 miljoonaa tonnia eli noin 12 tonnia henkeä kohti, mikä on maailman kärkeä. /2/

Hiilidioksidi muodostaa päästöjen suuren suhteellisen osuuden vuoksi yli 80 prosenttia Suomen kaikkien kasvihuonekaasupäästöjen vaikutuksista, joten päästöjen rajoitustoimien onkin kohdistuttava juuri hiilidioksiidiin. CO₂ on ongelma myös siksi, ettei sitä voida rajoittaa polttotekniikalla eikä poistaa savukaasuista ja että sitä syntyy kaikkia hiilipohjaisia polttoaineita polttamalla.

2.4 Suomen päästövähennystavoite

Suomi on sitoutunut Rion sopimuksessa vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään vuoden 1990 tasolle. Tuolloin hiilidioksidipäästöt olivat noin 54 miljoonaa tonnia vuodessa, mihin pääseminen vaatii tiukkoja energiansäästötoimia, koska teollisuuden, liikenteen ja rakennusten energiankulutus jatkuvasti lisääntyy talouskasvun seurauksena. /2/

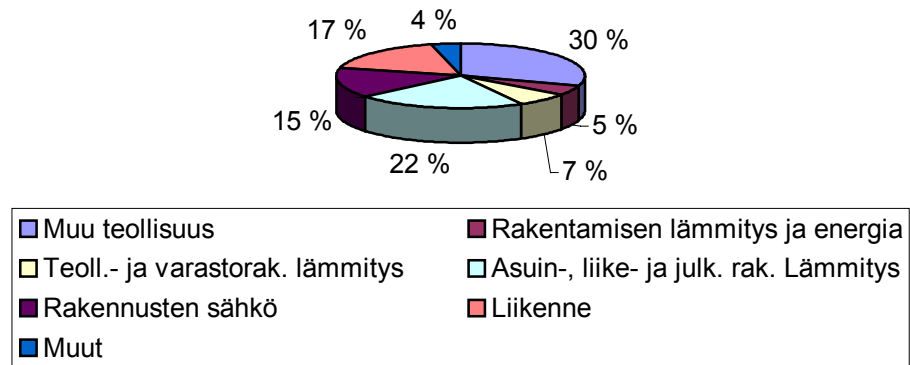
3 RAKENNUSTEN LÄMMITYKSEEN KULUVA ENERGIA

Rakennusten lämmittämiseen kuluu Suomessa 22 prosenttia energian kokonaiskulutuksesta, mikä ei sisällä valaistusta eikä muuta toiminnoista aiheutuvaa käyttöä. Vertailun vuoksi voidaan ottaa liikenne, jonka osuus energian kokonaiskulutuksesta on 17 prosenttia.

Suomessa hyödynnetään hyvin sähköntuotannon sivutuotteena syntyvää hukkalämpöä talojen lämmityksessä. Kaukolämmön osuus rakennusten lämmitysenergiasta oli vuonna 1997 49 prosenttia. Tämä lämmitystapa ei sovi

maaseutumaiseen haja-asutukseen, vaan siellä on sovellettava paikallisesti järkevintä lämmittämistapaa.

Kaavio 1. Suomen perusenergian kulutuksen jakauma, yht. 30,8 Mtoe 1998.



Fossiilisten polttoaineiden osuus lämmitysenergiantuotannossa on suuri. Öljy- ja sähkölämmityksen osuus rakennusten lämmitysenergiasta on 38 prosenttia ja sähköstä suuri osa tuotetaan hiilen ja maakaasun avulla. (Tilastokeskus 1997)

Näitä osuuksia voidaan pienentää suosimalla yhä selkeämmin hukkalämmön käyttöä lämmitykseen ja ne osuudet saadaan riittämään samojen talojen lämmitykseen pidemmäksi ajaksi energiankäyttöä ohjaavien normien avulla, jossa otetaan kantaa sekä tuotettavan lämmön lähteeseen, lämmitystapaan että kuluvaan energian määrään ja sitä kautta myös eristepaksuuksiin.

Uusia asuntoja rakennetaan maassamme 15 000 – 20 000 vuosittain, joista yhden perheen tai kytkettyjä pientaloasuntoja on 10 000 – 15 000. Talojen lämpötaloutta parantamalla saadaan isohko pienennys lämmitysenergian tarpeeseen talon elinkaaren, noin 50 vuoden aikana.

3.1 Energiaa vähemmän kuluttava talo

Energiaa säästävällä rakentamisella tarkoitetaan:

1. Normien vähimmäisvaatimuksia parempaa lämmöneristystä rakenteiden vaippapinnoissa
2. Lämpötaloudellisesti tehokkaita ikkunoita
3. Rakenteiden ilmanpitävyyttä
4. Lämmön talteenottoa ilmanvaihdon poistoilmasta

Näillä toimenpiteillä saadaan yleensä myös rakennuksen sisäilman laatu paremmaksi. Eli hiilidioksidi- ja radonpitoisuudet pysyvät alhaisina hallitun ilmanvaihdon avulla. Energiaa säästävästä talosta voidaan puhua, kun lämmitysenergiaa kuluu korkeintaan puolet tavallisen samankokoisen talon lämmitysenergian määrästä.

Taulukko 1. Energiaa säästävän talon eri osien lämmönläpäisykertoimet ja likimääräiset eristepaksuudet, kun käytetään villaeristeitä. [3]

Rakenne	Lämmönläpäisykerroin [k] = W/Km ²	Eristyksen paksuus, [mm]
ikkuna	1,0 – 0,8	
ulko-ovi	0,5 – 0,3	80 -100
yläpohja	0,11 – 0,09	400 - 500
alapohja	0,19 – 0,13	200 - 300
ulkoseinä	0,16 – 0,13	250 - 300

Energiaa säästävä rakentaminen tai energiaa säästävä talo on käsitteenä harhaan johtava. Talon lämmittäminen ei luonnollisestikaan säästä mitään, pitäisi mieluummin puhua energiaa vähemmän kuluttavasta talosta.

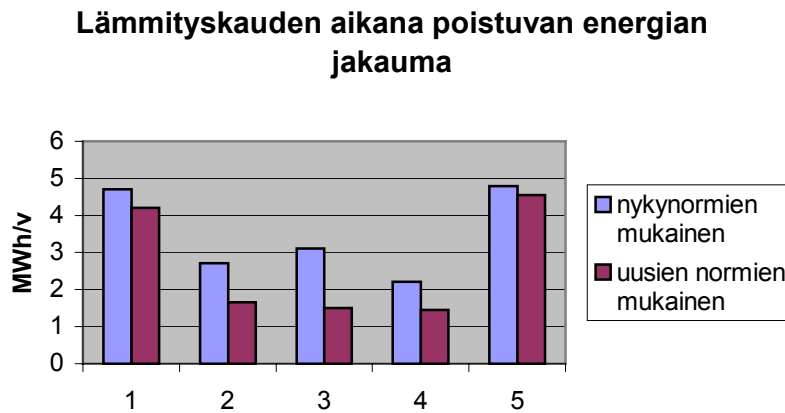
Matalaenergiakoerakentamiskohteissa lämmitysenergiankulutus on pienennetty parhaimmillaan jopa viidesosaan verrattuna minimieristettyyn taloon. Rakennusten

käytöstä johtuva elinympäristön kuormitus pienenee vastaavasti ja on menemistä luontoa vähemmän kuormittavaan rakentamiseen.

3.2 Neliömetriperusteinen energiankulutus

Rakennusten lämmitysenergian kulutusta mitataan energiayksiköllä lattianeliömetriä kohti vuodessa ($\text{kWh/m}^2\text{v}$). Nykyinen tyypillinen pientalo kuluttaa energiaa lämmitykseen noin $120 - 150 \text{ kWh/m}^2\text{v}$ Etelä-Suomen oloissa. Se on parempi kuin nykyisten lämmöneristysnormien (C3) vähimmäisvaatimusten mukaan eristetty, joka kuluttaa noin 160 kWh/m^2 vuodessa. Eli yleensä rakennuksen vaippapintoja on eristetty paksummin kuin minimi k-arvo edellyttää. Ns. energiaa säästävä talo tai matalaenergiatalo kuluttaa vastaavasti vuodessa $40 - 80 \text{ kWh/m}^2$. /3/

Kaavio 2.



1 = Ilmanvaihto, 2 = Ulkoseinät, 3 = Alapohja, 4 = Yläpohja, 5 = Ikkunat

Uusien normien mukainen tarkoittaa 30 % pienempää lämmitysenergian kulutusta kuin nykynormitaso. Kaavion 2 tapauksessa ei ole uusittu ikkunoita.

Normien k-arvotasolla saadaan aikaan rakennusvaipan passiivinen säästö. Sen lisäksi tullaan tulevaisuudessa hyödyntämään paremmin ilmaisenergioita. Kesäaikaan käyttövesi lämmitetään vesikatolla olevilla aurinkopaneeleilla. Kevään ja syksyn 8 – 12 °C:een ulkolämpötiloja voidaan hyödyntää sisätilojen lämmittämiseen ikkunalasien läpi kasvihuonevaikutuksena. Tuolloin talvella niin tarpeellinen monilasinen versio on huono, sen läpäisevä säteily määrä jää vähäiseksi.

3.3 Lämmitysenergian ominaiskulutus

Ominaiskulutuksella tarkoitetaan lämmitysenergian kulutusta rakennustilavuutta kohti (kWh/m³). Se on toinen tapa mitata rakennuksien lämpötaloutta ja ehkä jopa parempi kuin kWh/m². Nykyisin on tapana rakentaa ylikorkea olohuone, joka ei näy neliöperusteisessa kulutuksessa. Eli poikkeamiset normaalista huonekorkeudesta antavat huonomman vertausluvun neliöperusteiseen kulutukseen. Toisaalta ylikorkea rakentaminen ei ole suositeltavaa energian kulutuksen kannalta. Nykyisten uudisrakennusten lämmitysenergian ominaiskulutus on alle 50 kWh/m³.

1970-luvulla tiukennettiin lämmöneristysmääräyksiä öljykriisin ja sen jälkeen olleen yleisen energiakriisin vaikutuksista. Se näkyi pienentyneenä lämmitysenergian ominaiskulutuksena pitkään, aina 1980-luvun alkuun asti. Tuolloin energiakriisin jäljiltä ajatuksena säästössä oli asumismukavuuksista tinkiminen; huonelämpötilojen pudotus ja ilmanvaihdon vähentäminen.

Tuon jälkeen rakennuskannan uudistuessa talojen lämpötalous keskimäärin parani, mutta lisääntynyt ilmanvaihto ja tottumukset oleskella mieluummin korkeammissa lämpötiloissa pitivät ominaiskulutuksen muuttumattomana itse asiassa aina 1990-luvun puoliväliin asti. Korkeahkona pysynyt ominaiskulutus johtuu myös siitä, että lämmöneristämisen viranomaismääräyksiä ei ole uudistettu pitkään aikaan.

3.4 Lämmitysenergian säästön ohjauskeinot

Tehokkaimmat keinot vähentää rakennusten lämmitysenergiankulutusta ja lämmityksen aiheuttamia hiilidioksidi- ja saastepäästöjä ovat tiukentaa rakentamismääräysten lämmöneristysvaatimuksia. Energiaverotuksen avulla voidaan saattaa epäsuosioon välittömät ilmansaastuttamisen lämmitysmuodot ja toisaalta suosia luontoa vähemmän kuormittavia lämmitystapoja pienemmällä energiaverotuksella.

4 PIENTALON ELINKAAREN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSISTA

Rakennuksen ympäristövaikutuksia arvioidaan ns. elinkaariarvioilla, joilla pyritään selvittämään tuotteen aiheuttamat merkittävimmät ympäristövaikutukset aina valmistukseen tarvittavien raaka-aineiden otosta tuotteen hävittämiseen asti. Arviointimenetelmässä perusaineiston muodostavat materiaali- ja energiavirrat, jotka syntyvät rakennusmateriaalin tai tuotteen elinkaaren tai sen osan aikana. Elinkaariarvioiden tuloksille on tyypillistä, että niitä voidaan käyttää vain eri vaihtoehtojen vertailemiseen.

Elinkaaren vaiheet jakautuvat seuraavasti

- Raaka-aineiden otto
- Valmistusprosessit
- Paikalla rakentaminen ja komponenttien asennus
- Käyttö, huolto ja kunnostus
- Purkaminen, hävittäminen ja kuljetukset kaatopaikalle

Materiaalivirtoihin kuuluvat tuotteen valmistuksessa tarvittavat raaka-aineet ja energian raaka-aineet, varsinaiset tuotteet, sivutuotteet, päästöt ilmaan ja veteen sekä muut jätteet ja näistä aiheutuvat päästöt. Lisäksi tulee huomioida maa-alueen kuluminen raaka-aineen otossa, rakentamisessa sekä tehdä rakennukselle arvio käyttöiästä. Vaikutuksia tutkitaan ilmaston lämpenemiseen, happamoitumiseen, rehevöitymiseen, vaarallisuuteen terveydelle ja vaarallisuuteen ympäristölle.

Arvioidaan päästöjen ympäristövaikutukset sekä mahdolliset säästöt sivutuotteiden käytössä, energiankulutus eri vaiheissa ja kuljetuksissa ja mahdolliset hukkaenergian hyötykäytöstä aiheutuvat säästöt. Raaka-aineiden lämpöarvo selvitetään siltä osin mitkä osat mahdollisesti poltetaan energiaksi hävitettäessä. Myös raaka-aineiden kulutus tuotteen valmistuksessa selvitetään ja mahdollinen säästö sivutuotteiden käytöstä otetaan huomioon.

Jokainen rakenne- ja materiaalivalinta vaikuttaa siihen, miten rakennus toimii elinikänsä aikana ja kauanko se kestää. On selvää, että ollakseen ympäristöystävällinen rakennuksen ja sen osien tulee kestää pitkään ilman jatkuvaa huoltotarvetta ja materiaalien uusimista. Rakennusmateriaalien osittainen uusiokäyttö rakennus purettaessa on materiaalien kierrätystä ja rakentamisen ympäristönsuojelua, mutta lähtökohta on luonnollisestikin pitkä elinkaari. Eli tuotteiden kestävyys alkuperäisessä käytössä on osa hyvää rakennustapaa ja ympäristöystävällistä rakentamista.

4.1 Epäsuorat ympäristövaikutukset

Rakennusten sijoitus aiheuttaa lisäksi epäsuoria ympäristövaikutuksia. Tällaisia ovat mm. liikenne asuntojen ja työpaikkojen välillä, johon voidaan vaikuttaa kaavoituksella ja joukkoliikenteen ratkaisuilla sekä omilla yksilöllisillä ratkaisuilla. Tosin kaavoitus sanelee aika pitkälle asumiskäyttöön tarkoitettua aluetta. Ympäristökuormitusten arvioinnissa ei voi pidättäytyä vain rakennusmateriaalien tuotannon ja rakentamisen vaatimiin prosesseihin, vaan vaikutukset tulee nähdä pidemmälle.

4.2 Lämmitysenergian osuus kokonaisenergiasta

Energiankulutus on tärkein rakennuksen ympäristöön kohdistuvista mittareista. Energiankulutus vaikuttaa suoraan syntyvien kasvihuonekaasujen ja muiden päästöjen määrään. Asuin- ja liikerakennukseen käytetystä energiasta kuluu vain noin 15 % rakentamiseen ja rakennusosien ja –materiaalien valmistamiseen ja kuljetuksiin. Tähän sisältyy myös rakennuksen purkaminen ja jätteen kuljetus, kun rakennus poistetaan käytöstä. Jäljelle jäävä 85 % osuus kuluu rakennuksen käytön aikaiseen lämmittämiseen, valaistukseen ja muuhun toiminnan kulutukseen. /4/

4.3 Arvio pientalon energiankulutuksesta

Tyypillinen suomalainen omakotitalo kuluttaa lämmitysenergiaa 150 kWh/m²v. Se vastaa 17 litraa lämmitysöljyä lattianeliömetriä kohti vuodessa. Nykypäivän tyypillinen omakotitalo, 150 m², kuluttaa lämmitysöljyä vuodessa tästä laskettuna 2550 litraa ja 50 vuoden aikana 128 000 litraa. Asia ei paljon parane ympäristön kannalta vaihtamalla sähkölämmitykseen, jos suuri osa sähköstä tuotetaan hyötysuhteeltaan huonolla lauhdevoimatekniikalla. Puulla lämmitettäessä 50 vuoden kulutus vastaisi noin 305 000 kg halkoja. Kaikki tämä on sitä energiaa, joka kulkeutuu rakenteiden läpi pääasiassa johtumalla ja ilmanvaihdon mukana.

5 RAKENTEIDEN VAIPPAPINNAT

Lämmön siirtyminen rakenteissa tapahtuu johtumalla, konvektiona ja pitkäaaltoisena lämpösäteilynä. Tulevaisuudessa, energianormien kiristyessä, tullaan kehittämään teknisiä ratkaisuja, joilla voidaan vaikuttaa näihin eri mekanismeilla tapahtuviin lämmönsiirtymismuotoihin. Samalla pyritään parantamaan rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta.

Uusia ratkaisuja haetaan erityisesti konvektiosta ja lämpösäteilystä (IR-säteilystä) aiheutuvien lämpöhäviöiden pienentämiseksi. Näin siksi, että johtumisen lämpöhäviö pienenee suoraan eristekerroksia paksuntamalla ja siihen on helpointa vaikuttaa.

Lämmöneristyksen paksuntaminen lisää epäideaalisuuksia ja konvektiota rakenteessa. Esimerkiksi 300 mm:n paksuinen eristekerros vastaa kovalla pakkasella laskennallisesti noin 250 mm:n paksuisen eristeen k-arvoa vastaavaa lämmönläpäisyä, jos konvektion osuus ei ole mukana johtumiseen perustuvassa laskennassa. Tavallinen k-arvolaskelma ei tätä huomioi.

Mineraalivillaeristeessä tapahtuva pitkäaaltoinen lämpösäteily muodostaa merkittävän osan eristyksen kokonaislämmönsiirrosta. Lämpösäteilyä heijastavan kalvon käyttö suoraan lämpöeristettä vasten vähentää säteilyn lämpövirtaa kalvoon rajoittuvassa eristekerroksessa. Himmeän muovin korvaamisella alumiinipintaisella kalvolla saadaan höyrynsululle näin lisäominaisuus.

Ikkunoiden kautta saadaan sisätiloja lämmittävää energiaa suoraan kasvihuonevaikutuksena. Tämä johtaa erilaiseen lämmitystehon tarpeeseen rakennuksen eri puolilla. Tilannetta voidaan tasoittaa kehittämällä aktiivisia järjestelmiä, joilla siirretään absorboituvaa energiaa sinne, missä lämmitystehoa tarvitaan enemmän.

5.1 Seinät

Seinät muodostavat rakennuksessa pinta-alaltaan suurimman yhtenäisen vaippapinnan. Näin ollen parantamalla seinien energiataloutta pystytään koko rakennuksen energiankulutusta pienentämään huomattavasti. Uudistuvat energianormit vastaavat seinien osalta noin 50 mm:n paksumpaa eristekerrosta uusissa normimuutoksen jälkeen rakenteille tulevissa asuinrakennuksissa.

Nykyisissä 80-luvun lopun jälkeen valmistuneissa omakotitaloissa seinäeristyksen paksuus on 150 - 175 mm; riippuen siitä, onko tuulensuojana käytetty levytuotteita vaiko kovempia lämpöeristeitä. 175 mm:n paksuudessa on mukana 20 - 25 mm kovempaa, tuulenpitävää eristettä. Näin tulevaisuuden seinissä on eristepaksuutta 225 mm tuulensuoja mukaan luettuna.

5.1.1 Konvektion vaimentaminen seinäeristeessä

Eristeen osastointi ilmanpitävillä, vesihöyryä diffuuisesti läpäisevillä pystysuuntaisilla konvektiokatkoilla eliminoidaan tehokkaasti paksun seinäeristeen kuljettumisvirtauksia. Katkoina käytetään erilaisia kalvoja ja rakennuspapereita, joilla on pieni emissiviteetti.

Mitä paksumpia eristekerroksia käytetään, sen suuremmaksi tulee konvektion osuus kokonaislämpöhäviöstä. Nykyisillä eristepaksuuksilla ei yleensä käytetä rakennuspapereita eristetilassa, mutta jo uusien normien tuomilla eristepaksuuksilla niillä on suurempi merkitys. Suurta eristepaksuutta ei hyödynnetä täysin, ellei näitä katkoja käytetä.

Materiaalikerrosten rajapintojen epäideaalinen kontakti edistää ilman virtausta rajapinnassa ja siten kasvattaa rakenteiden lämpöhäviöitä verrattuna laskennalliseen

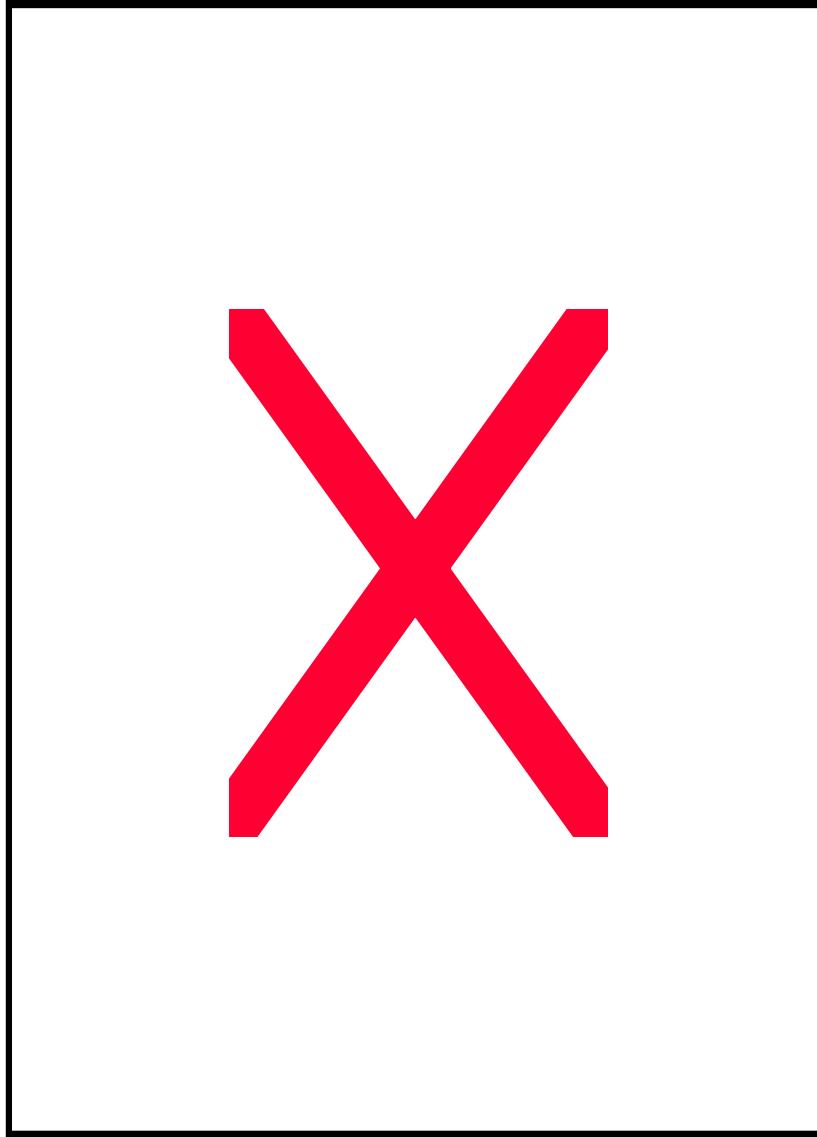
tilanteeseen. Epäideaalisuus ei tässä tarkoita kerrosten asennusvirheitä vaan se kuuluu kerroksellisen rakenteen ominaisuuksiin. Työvirheet ja huolimattomuus toki lisäävät ilmanvirtausta vielä tästäkin, mutta niiden täysi eliminointi on mahdotonta eikä niiden osuutta voida kuin arvioida.

Paksuissa, yli 200 mm:n lämmöneristekerroksissa pelkästään rakenteen epäideaalisuudet voivat aiheuttaa yli 20 % lämpöhäviöiden kasvun mitoitusolosuhteisiin. Vaihteluväli 10 – 20 % on mittausten perusteella tyypillinen. /5/

5.1.1.1 Konvektiokatko

Konvektiokatkot ovat ilmatiiviitä pystysuoria kerroksia, jotka liitetään ala- ja yläosistaan rakenteeseen. Seuraavassa esimerkissä tarkastellaan yhden ja kahden sisäisen konvektiokatkon tapauksia. Yhden konvektiokatkon tapauksessa jaetaan lämmöneristyskerros keskeltä kahteen yhtä paksuun osaan. Kaksi katkoa sijoitetaan siten, että eristekerrokseen tulee kolme yhtä paksua kerrosta. Rajapintojen raot ja reunojen liittyminen muihin rakenteisiin muodostavat epäideaalisuuskohtia, joissa konvektiota tapahtuu. /6/

Tarkasteltava rakenne on normaali 2,5 m korkea seinä, eristeenä 300 mm lasivillaa, joka muodostaa ulkopuolisilta ilmanvirtauksilta suljetun ontelon. Vaakapinnat ovat adiabaattisia, ts. rakenteen vaakapintojen läpi ei ole lämpövirtausta. Lämpötilat rakenteen ulkopuolella olivat +20 °C ja –20 °C ja lämmönsiirtokertoimet pystypinnoilla 15,0 ja 7,5 W/ Km². /6/



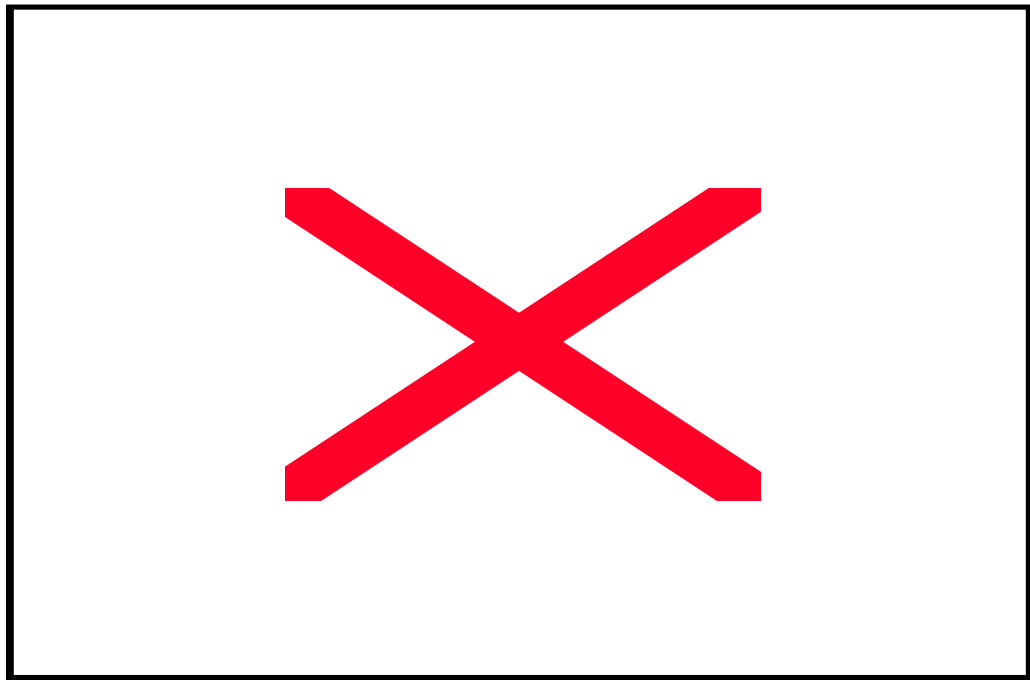
Kuva 1. Tarkastellut rakennetapaukset

Kuvissa 2 ja 3 esitetään lasketut suhteelliset lämpöhäviöt lämmöneristeen permeabiliteetin funktiona. Permeabiliteetti (kaasun läpäisevyys) on kuitusuuntaa vastaan oleva, normaaliasennuksessa rakenteen paksuussuuntainen arvo [m²]. Kaasun ollessa ilmaa, on permeabiliteetti ilman läpäisevyys.

Pääosa voimistuneesta paikallisesta ilmanvirtauksesta tapahtuu rakenteen reunoilla, joihin lämpötilaero aikaansaa suurimman luonnollisen konvektiovirtauksen.

Epäideaalinen 3. rajapinta keskellä rakennetta ei lisää kuljettumista, koska symmetria-akselin tuntumassa ei rajapinnan suunnassa ole virtausta tuottavaa riittävää paine-eroa.

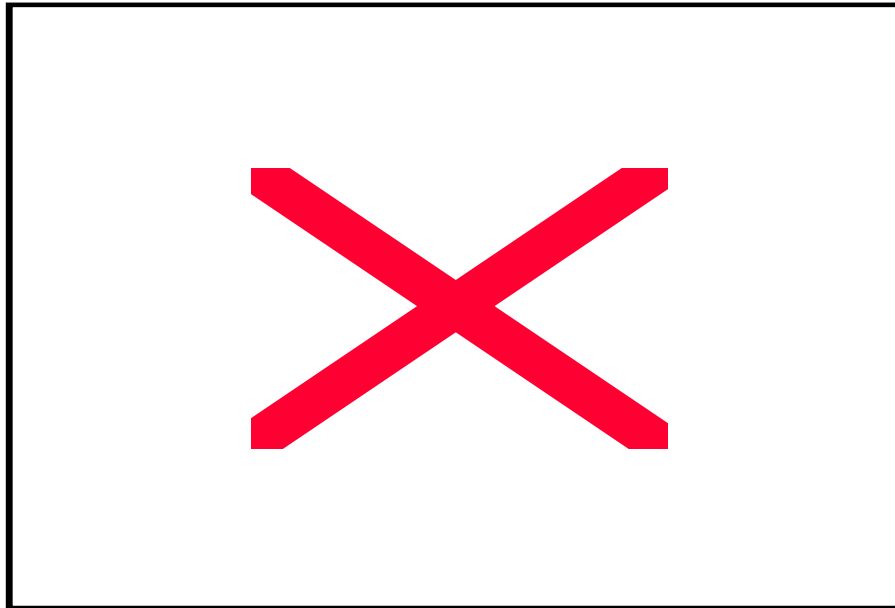
Neljä reaalista rajapintaa (3 x 100 mm:n lämmöneriste kuvassa I) sai valitulla lämpötilaerolla vain vähän muita tapauksia suuremman lämpöhäviöiden kasvun. Neljän rajapinnan tapausta käytetään todellisten tapausten referenssinä vertailuissa, koska se on normaali tapa lämmöneristää, kun ei käytetä kuljettumiskatkoja eristekerrosta osastoimassa.



Kuva 2. Epäideaalisuuksien aiheuttama suhteellisten lämpöhäviöiden (Nu^) kasvu 300 mm paksun suljetun lämmöneristerakenteen kautta, kun lämpimän ja kylmän puolen ilmatilojen lämpötilat ovat + 20/-20 °C.*

Kuvassa 2 epäideaaliset tapaukset koostetaan monesta eri eristekerroksesta niin kuin paksu eristys tehdään, ei konvektiokatkoja. Ideaalinen tapaus koostuu yhtenäisestä eristekerroksesta, jossa oletetaan täydellinen kontakti muihin rakenteisiin. Sellaista ei kuitenkaan saavuteta normaalissa rakentamisessa.

Myös lämmöneristeen permeabiliteetin kasvu lisää lämpöhäviöitä. Idealisella rakenteella suhteelliset lämpöhäviöt saavat arvon 1, kun ilmanläpäisevyys pienenee riittävän pieneksi. Todellisilla rakenteilla permeabiliteetin lähestyessä nollaa on mukana rajapintojen epätäydellisen kontaktin tuoma lisäys, mikä on noin 10 % luokkaa. /6/



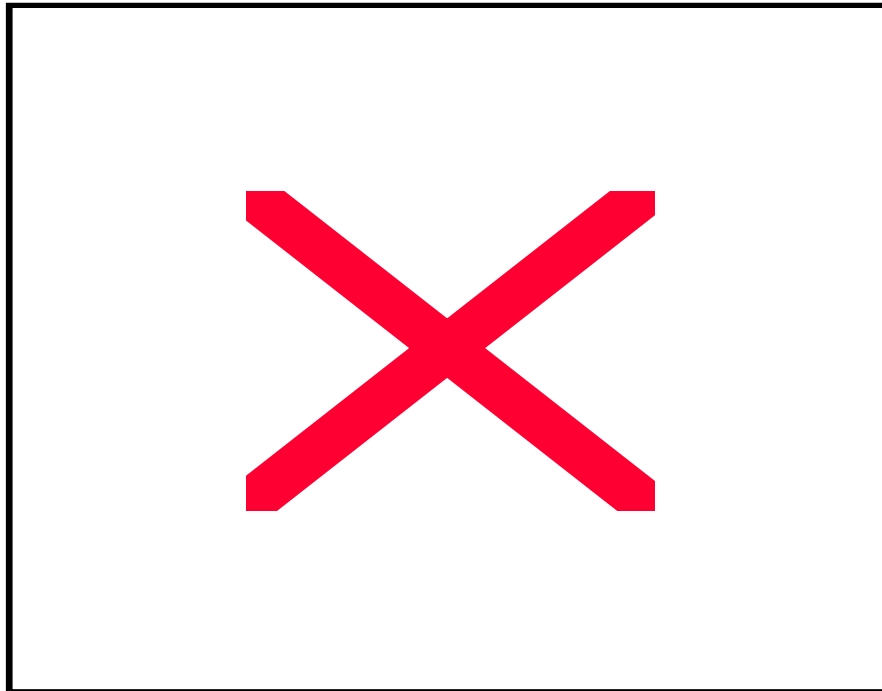
Kuva 3. Suhteellisten lämpöhäviöiden (Nu^) kasvu lämmöneristeen permeabiliteetin funktiona, kun 300 mm paksussa epäideaalisessa lämmöneristerakenteessa on yksi tai kaksi pystysuuntaista konvektiokatkoa.*

Kuvassa 3 on vastaavat tapaukset laskettu tilanteissa, joissa on yksi tai kaksi pystysuoraa konvektiokatkoa (kuvat II ja III) ja lisäksi katkojen molemmin puolin on samanlaiset paikallista ilmanvirtausta lisäävät rajapinnat kuin muissakin rajapinnoissa. Yhden konvektiokatkon tapauksessa on rajapintoja neljä ja kahden

katkon tapauksessa kuusi. Lisääntyvät rajapinnat lisäävät konvektiolämpöhäviöitä.

/6/

Kuvasta 3 nähdään myös, että konvektiokatolla varustetun erityskerroksen paremmuus vain korostuu, kun mennään ilmaa enemmän läpäiseviin eristeisiin. Käytännössä yksi konvektiokatko eristekerroksen keskelle sijoitettuna riittää pitämään vaipan sisäisen konvektion lisälämpöhäviöt vähäisellä tasolla.



Kuva 4. Luonnollisen konvektion vaikutus 2,5 m korkean lämmöneristerakenteen teholliseen paksuuteen todellisen paksuuden funktiona eri epäideaalisuustapauksissa. Yhdellä konvektiokatolla riippuvuus on ideaalisen rakenteen luokkaa. Käsitellyt tapaukset: 1; eristyskerros on yhtenäinen, kontakti ympäröiviin pintoihin on lievästi epäideaalinen, 2; eristys on tehty 100 mm kerroksista, joiden välissä epäideaalinen kontakti, A; lievästi epäideaalinen, B; enemmän epäideaalinen.

5.1.1.2 Konvektiokatkon muita tehtäviä

Konvektiokatko parantaa parhaimmillaan rakenteen kosteusteknistä toimintaa. Se estää kosteuden siirtymisen lämmöneristeen sisäisen kuljettumisen vaikutuksesta

suoraan sisäpuolen kerroksista rakenteen kylmiin osiin paikallisia vuotokohtia pitkin. Siten riski paikallisesta vesihöyryn tiivistymisestä tai sen hygroskooppisesta kerääntymisestä eristyskerroksen sisään pienenee katkoa käytettäessä.

Konvektiokatko toimii kosteudensiirtovastuksena, mutta sen on oltava diffuusion läpäisevä, ettei se muodosta toista höyrynsulkua rakenteen sisään. Eli sen vesihöyrynvastuksen tulee olla pienempi kuin sisäpinnan vesihöyrynvastuksen.

Yleensä seinän ilmatiivein kerros on sisäverhouksen alla oleva höyrynsulku. Se kuitenkin lähes aina puhkotaan eri kiinnityksillä ja läpivienneillä, joten se ei ole yhtenäinen. Kun tämä tiivis kalvo vaurioituu, voi ilmavirtauksille avautua suora reitti sisäilmasta rakenteen kylmiin osiin, jos kuljettumiskatkoa ei ole. Tästä aiheutuu suuri kosteusriski.

Konvektiokatko keskellä lämmöneristystä varmistaa rakennusvaipan ilmatiiviyttä ja estää hallitsemattomia ilmavirtauksia rakenteen läpi. Kuljettumisen mukana siirtyvä kosteus voi olla huomattavasti suurempi kuin diffuusiotyypinen, jolloin höyrynsulun merkitys diffuusiokatkona on vähäisempi kuin ilmanvirtausten rajoittajana. Tämän takia olisi höyrynsulun oltava ehdottomasti ehjä, jos paksussa eristekerroksessa ei ole konvektiokatkoa.

5.1.2 Kalvoeristetyt seinärakenteet

Lämpö etenee ohuessa ilmavälissä pääasiassa johtumalla ilmassa ja vastakkaisten pintojen välisenä säteilynä. Konvektio ilmavälissä voimistuu ja tulee merkittäväksi, kun välin paksuus kasvaa.

Lämmöneriste on mahdollista toteuttaa kokoamalla ohuita kalvoja paketiksi, jotka jakavat tilan konvektion kannalta paksuudeltaan sopiviin suljettuihin ilmaväleihin. Tällöin jokaisen yksittäisen ilmavälin toinen tai mieluummin

molemmat pinnat ovat ns. pieniemissiviteettipintoja. Näin säteilylämmönsiirto saadaan lähes eliminoiduksi. Konvektion vaikutus on vähäinen, kun on sopivat kalvoetäisyydet, jolloin hallitseva lämmönsiirtomuoto on johtuminen ilmatilassa. /6/

Pieniemissiviteettipinnan emissiviteetti kasvaa lähelle mustaa kappaletta, jos pintaan kondensoituu vettä. Myös pinnan likaantuminen lisää emissiviteettiä ja kerrosvälin lämmönjohtavuus moninkertaistuu. On tärkeää, että kalvot saadaan pysymään ehjinä.

Jos lisäksi rakenteen sisä- ja ulkopinnat valitaan emissiviteetiltään pieniksi ja ilmatilaa vasten, lähestytään periaatteessa paikallaan pysyvän ilman lämmönjohtavuutta, n. 0,025 W/Km, joka on parempi kuin normaalisti käytettävillä lämmöneristeillä. /6/ ja /7/

Konvektion kasvua paksummilla ilmaväleillä voidaan pienentää lisäämällä ilman kitkaa ilmavälissä, esim. sijoittamalla ilmaväliin kuituja. Kuitujen tulisi olla IR-säteilyn kannalta mahdollisimman läpinäkyviä ja olla pieniemissiviteettipintojen välissä. Muussa tapauksessa kuitujen lisääminen johtaa säteilyosuuden kasvuun ja näin kokonaislämmönsiirron kasvuun huolimatta konvektion vähenemisestä. On eduksi, jos kuitumateriaalin tiheys on hyvin pieni; esim. lasivillaa, jonka tiheys on $3 - 10 \text{ kg/m}^3$. /6/

5.1.3 Ilmaväli eristeen lämpimämmällä puolella

Säteilylämmönsiirtoa palautuvasti takaisin rakennuksen sisäpuolelle voidaan parantaa käyttämällä paperiin laminoitua alumiinifoliopintaista höyrynsulkua lämmöneristekerroksen sisäpinnassa ja jättämällä ilmarako kalvon ja sisustuslevyn väliin. Tämä on tuttu rakenne saunan seinästä. Luonnollisestikaan se ei voi toimia asuintiloissa yhtä hyvin kuin saunassa, pienemmän lämpötilaeron takia.

Järjestely mahdollistaa alumiinifoliolle kolme eri funktiota; se on diffuusiotiivis höyrynsulku, ilmansulku ja lisälämmöneriste. Eli ilmaväli toimii ylimääräisenä lämmöneristeenä ja antaa tilaa sähköjohdoille ja putkituksille. Näin myös osa höyryn- ja ilmansulun läpivienneistä jää tarpeettomiksi.

5.2 Alapohja

5.2.1 Ryömintätillaiset alapohjat

Maanpinnan lämpötila muuttuu säämuutoksiin nähden pitkällä viiveellä, mikä johtuu maan suuresta lämpökapasiteetista ja suoran auringonsäteilyn puuttumisesta. Alapohjan alapinnan ja ryömintätillan ilman välillä tapahtuu konvektiolämmönsiirtoa ja vastaavasti maanpinnan välillä säteilylämmönsiirtoa. Alapohjan alapinnan lämpötila voi olla säteilynä tapahtuvasta lämpöhäviöstä johtuen ilman lämpötilaa paljon matalampi. Alhainen tuuletusvälin lämpötila pitää ilmatilassa suhteellisen kosteuden korkeana, mikä siirtää kosteutta rakenteisiin ja antaa olosuhteet homeen kasvulle tai alapohjarakenteiden lahovaurioille. Ääritapauksessa kosteuspitoisuus nousee kastepistelämpötilaa vastaavaksi ja vesihöyry tiivistyy rakenteen pintaan pisaroiksi ellei tuuletuksen korvausilmaa tule riittävästi.

Tuuletusvälin korkea suhteellinen kosteus voi johtua seuraavista tekijöistä:

- tuuletusilma tulee kesäaikana ulkoilmaa kylmempään tilaan, mikä pitää ilmatilan suhteellisen kosteuden ryömintätillassa korkeana
- maassa rakennuksen alla tapahtuu veden höyrystymistä

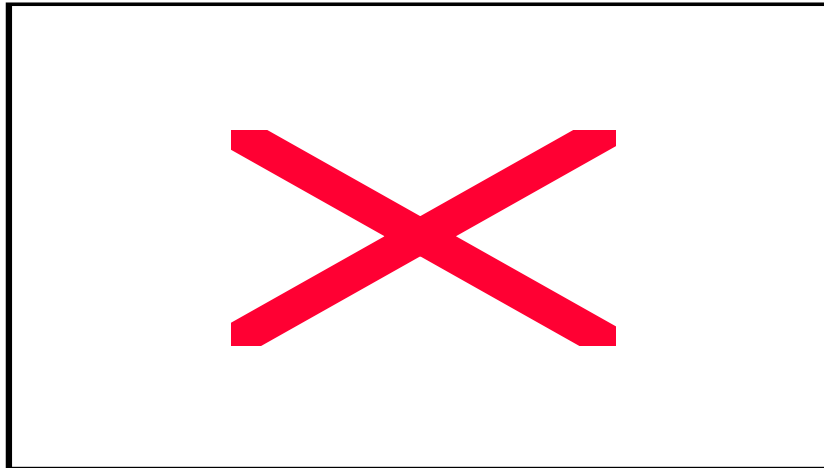
Alapohjan alapinnan lämpötilaa nostamalla voidaan pienentää ryömintätillan kosteusongelmaa ja samalla vähentää alapohjan lämpöhäviöitä. Keinoina voidaan

käyttää pieniemissiviteettipintaista kalvoa alapohjan alapinnassa, maanpinnan lämpöeristämistä tai kosteussulun asentamista maahan.

5.2.1.1 Pieniemissiviteettikalvon merkitys lämmönsiirtoon

Lämpövirta kulkee ryömintätilaisessa alapohjassa sisältä ulos eli alaspäin. Suunta on näin päin myös kesällä, sillä ilman lämpötila ryömintätilassa ei kohoa ulkoilman lämpötilan tasolle. Ryömintätilan ilmvälin lämmönvastukseen vaikuttaa kolme tekijää; johtuminen ilmassa, konvektio ja pitkäaaltoinen lämpösäteily.

Ryömintätilaan johtaa vain pienehköjä tuuletusaukkoja, joten ilmavirtaus ei aiheuta pakotettua konvektiota. Tuuli ei ”huuhtelee” rakenteita. Ilman pienestä lämmönjohdavuudesta seuraa, että säteily on hallitsevin lämmönsiirtymismuoto. Niinpä ryömintätilan ilmvälin kokonaislämpövastus koostuu merkittävästi pintojen emissiviteetistä.



Kuva 5. Ryömintätilainen alapohja. e_1 ja e_2 ovat pintojen emissiviteetit.

Säteilylämpövirta kahden yhdensuuntaisen pinnan välillä voidaan esittää likimain kaavalla 1.

$$q_{\text{rad}} = e_{12} 4\sigma T_m^3 (T_1 - T_2) = \alpha_{\text{rad}} (T_1 - T_2) \quad (1)$$

missä

δ on Stefan-Bolzmannin vakio $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

e_{12} on pintojen välinen tehollinen emissiviteetti, $e_{12} = 1/(1/e_1 + 1/e_2 - 1)$

T_m on pintojen 1 ja 2 lämpötilojen keskiarvo [K]

Pintojen välinen säteilylämpövirta riippuu merkittävästi emissiviteetiltään pienemmästä pinnan emissiviteetistä. Tehollinen emissiviteetti e_{12} riippuu lähes lineaarisesti matalammasta emissiviteetistä, jos toisen pinnan emissiviteetti on lähellä yhtä. Jos pintojen emissiviteetit ovat 0,04 ja 0,95 ja pintojen lämpötilojen keskiarvo on 283 K, on säteilylämmönsiirtokerroin noin $0,2 \text{ W/Km}^2$, mikä vastaa 200 mm kerrosta normaalia lämmöneristettä, jonka lämmönjohtumisluku on $0,04 \text{ W/Km}$.

Oletetaan alapohjarakenne, jonka k -arvo on $0,2 \text{ W/Km}^2$. Rakenteen alapinnan emissiviteetti saa erilaisia arvoja ja maanpinnan emissiviteetti on 0,95. Taulukkoon 2 on laskettu arvoja, jotka osoittavat, miten alapohjan alapinnan lämpötila ja kokonaislämmönläpäisykerroin (huoneilmasta maanpintaan) muuttuu pinnan emissiviteetin muuttuessa. Sisäilman lämpötila on $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ja maanpinnan $0 \text{ }^\circ\text{C}$. /6/

Taulukko 2. Alapohjan alapinnan emissiviteetin vaikutus pinnan lämpötilaan ja koko rakenteen lämmönläpäisykerroimeen. /6/

Alapohja, emissiv. e	0,04	0,08	0,12	0,16	0,2	0,5	0,95
Alapohjan alapinnan lämpötila [°C]	9,9	6,6	4,9	4,0	3,3	1,5	0,9
Alapohja, kokonaislämmönläpäisykerroin k [W/ Km ²]	0,1	0,13	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19

Alapohjan alapinnan lämpötiloissa on 9 °C :n ero emissiviteetin ääriarvojen välillä. Emissiviteetti 0,95 vastaa tavallista kalvottoman alapinnan emissiviteettiä. Kun emissiviteetti nousee arvosta 0,04 arvoon 0,2 laskee alapinnan lämpötila 6,6 °C. Samalla menetetään 70 % pienemmissiviteettipinnan eristävästä vaikutuksesta.

5.2.1.2 Koetuloksia

Laboratorio-olosuhteissa tutkittiin alapohjan alle, noin 50 mm etäisyydelle rakenteen alapinnasta, sijoitetun pienemmissiviteettikalvon ($\epsilon = 0,04$) vaikutus alapohjan lämpötilaan. Alapohjarakenteen lämmöneristys oli 200 mm solupolystyreeniä. Maaperässä on 50 mm hiekkakerros, jonka sisässä jäähdytysputkisto. Järjestelmä tehtiin ilmatiiviiksi ja sivuseinämien kautta tuuletettiin ryömintätilaa koneellisesti vaihtelevalla ilmamäärällä (0 – 1,0 l/h). Ryömintätilan korkeus oli 0,6 m, tosin nykyisin pyritään 0,8 m:n korkeuteen. Rakennuksen syvyys oli 10 m.

Analysoitiin kolme erilaista rakennetta:

- Normaali alapohja, ei kalvoa $\epsilon = 0,9$
- Kalvopintainen alapohja, $\epsilon = 0,04$
- Normaali alapohja, ei kalvoa. Maassa 50 mm solupolystyreeni

Havaittiin, että maanpinnan eristämällä ei ollut yhtä suurta vaikutusta alapohjan alapinnan lämpötilaan kuin kalvon asentamisella; (3 – 7 °C kalvolla ja vastaavasti 1 – 2 °C maanpinnan eristämällä). Eristekerros vähentää kosteusvirtaa maaperästä ryömintätilan ilmaan. /6/

Muita havaintoja:

- Tuuletusilmavirralla (0 – 1,0 l/h) ei ollut suurta merkitystä lämpötiloihin.
- Lämpötilat maassa olivat n. 1,5 °C korkeampia, kun kalvoa ei käytetä alapinnassa.
- Vastaavasti lämpötilat alapohjan alapinnassa olivat n. 3 °C korkeampia käytettäessä kalvoa.
- Lämpötilat pinnoissa vähän nousivat (n.0,5 °C) mentäessä suurempaa tuuletusta kohti.
- Pieniemissiviteettikalvolla oli suuri merkitys alapohjan alapinnan lämpötilaan verrattuna kalvottomaan tilanteeseen ja pieniemissiviteettikalvo vaikuttaa maanpinnan eristämistä paremmin alapohjan lämpöhäviön pienentäjänä.
- Molemmilla tavoilla voidaan parantaa tuuletusvälin ja siis alapohjan alapinnan kosteusoloja.

5.2.1.3 Epäpuhtauksien vaikutus kalvoon

Pieniemissiviteettikalvon pinnan ominaisuudet riippuvat paitsi kalvomateriaalista myös kalvon epäpuhtauksista. Eli kalvon emissiviteetti kasvaa, jos kalvon pintaan tiivistyy vettä tai kalvo pölyyntyä. Vaikutus on sama kuin jo todettiin seinärakenteiden yhteydessä.

Vähäinen määrä vettä riittää suurentamaan pinnan emissiviteetin merkittävästi. Vain $0,7 \text{ g/m}^2$ ($0,7 \text{ }\mu\text{m}$) nostaa pinnan emissiviteetin arvosta 0,04 arvoon 0,2, mikä riittää vaimentamaan kalvon edut. Näin kalvot ovat herkkiä osia.

Kalvon pölyntyessä lähestyy kalvon emissiviteetti pölyn emissiviteettiä. Emissiviteettiin vaikuttava tekijä on pölyn peittämän alan osuus koko kalvopinnan alasta. Pölykerroksen paksuus, joka riittää muuttamaan pinnan emissiviteetin lähelle pölyn emissiviteettiä on hyvin pieni, sillä pölyhiukkasten koko on $5 \dots 50 \text{ }\mu\text{m}$. /6/

Kalvo tulee asentaa tavalla, joka pitää pieniemissiviteettipinnan mahdollisimman puhtaana ja kuivana. Pieniemissiviteetipinta ei saa olla kalvon yläpinnassa, jolloin kalvo jäähtyy ja huurtuu. Eli kalvo ei toimi väärin päin asennettuna. Pintakondenssi tai pölyn kerääntyminen tuhoaa pinnan pienen emissiviteetin.

5.2.2 Maanvaraiset alapohjat

Maanvaraisten alapohjien osalta lämmöneristyksen parantamisen vaikutus on erilainen kuin ryömintätilaisten, sillä rakenteen ulkopuolella lämpötila ei ole ulkoilman lämpötila, vaan sitä nostaa lattian kautta siirtyvä lämpöenergia. Vuositasolla tarkasteltuna lattian osuus rakennuksen lämmitysenergian kulutuksesta on suurempi kuin vastaavan k-arvoisen yläpohjan.

Rakenteen routimattomuus perustuu siihen, että lämpöhäviöt pitävät perustukset ja lattian alapuolisen maan sulana. Betonilaatan alapuolelle sijoitettavat putkivedot asennetaan routimattomaan sorakerrokseen. Jos lämmöneristystä lisätään, vähenee alapohjan lämpöhäviöt ja routimisvaara ja putkien jäätymisvaara lisääntyy. Jäätymisvaara on merkittävä, kun eristepaksuus kasvaa yli 150 mm:n .

Maanvarainen alapohja alkaa olla vanhanaikainen ratkaisu pientaloissa. Nykyisin rakennetaan lattia yleensä ryömintätalaiseksi. Putkivuodon tai muun kosteusvaurion sattuessa on maanvarainen alapohja työläs korjata, koska betonilaatta joudutaan purkamaan. Yhtä lailla joudutaan lattia purkamaan, kun vesijohtoputket uusitaan 30 – 45 vuoden kuluttua rakentamisesta. Toisaalta maanvarainen alapohja on alttiimpi maakosteusvaurioille, joten senkin takia ryömintätalaiset ratkaisut ovat yleistyneet.

5.3 Yläpohjat

Yläpohjien kautta virtaa lämmitysenergiaa ulos noin 12 % pientalon kokonaislämpöhäviöistä ja uusien normien mukaisella 30 % pienemmällä lämmöntarpeella noin 11 %, jos vaipan osien eristystä parannetaan suhteessa nykyisiin eristepaksuuksiin. Yli 500 mm eristepaksuuksiin ei kannata mennä. Yläpohjan paksuissa eristeissä tulee sama sisäisten ilmanvirtausten ongelma kuin seinissäkin. Ellei konvektiokatkoa käytetä, alentavat paikalliset ilmanvirtaukset eristeen lämpötilaa ja kokonaislämmönsiirto kasvaa.

5.4 Ikkunat

Ikkunat ovat rakennuksen vaipassa lämmöneristyskyvyltään selvästi heikoin rakennusosa. Vaippapinnan kokonaisuuden kannalta on ikkunoissa suuri kehityspotentiaali edelleenkin, vaikka yhä parempia ikkunaratkaisuja on toteutettu jo pitkään.

Lämpötaloudellisesti hyvän ikkunan k-arvon rajana voidaan pitää $1,5 \text{ W/ Km}^2$. Nykyisin tuotetaan valoaukkoratkaisuja, joiden lämmönläpäisykerroin valoaukon keskellä on alle $1,0 \text{ W/ Km}^2$. Näissä ikkunoissa karmin ja puitteen osuus koko ikkunan lämmönläpäisystä nousee merkittävästi. Tulevaisuudessa lasiosat

luultavasti ulotetaan seinärakenteen sisään, jolloin karmi- ja puiterakenteet jäävät kokonaan pois.

Nykyiset normit sallivat ikkunan päästävän lävitseen yli seitsemän kertaa enemmän energiaa kuin umpiseinän. Sallitut maksimi-k-arvot ovat seinällä $0,28 \text{ W/Km}^2$ ja ikkunalla $2,1 \text{ W/Km}^2$. Lämpötaloudellisesti huono ikkuna ja k-arvoltaan paljon parempi seinärakenne aikaansaavat paikallisen konvektion, mikä aiheuttaa sisäilman epäviihtyvyyttä ikkunan läheisyydessä, kun lasien sisäpinnat ovat talvella paljon huoneilman lämpötilan alapuolella.

Kun tulevaisuudessa päästään ikkunoissa k-arvotasolle $0,5 - 0,7 \text{ W/Km}^2$, voidaan lämmityspattereista luopua ikkunoiden alla. Lämmityslaitteita ja lämmönjakojärjestelmiä voidaan yksinkertaistaa ja saada nykyistä edullisemmiksi.

5.4.1 Ikkunatyypien lämmönläpäisyistä

Ikkunoiden lämmöneristävyys vaikuttaa kolme tekijää: lasiosan eli valoaukon lämmöneristävyys, karmi- ja puiterakenteen lämmöneristävyys sekä ikkunan tiiviys niin puitteen ja karmin saumassa kuin karmin liitoksessa seinään. Parannettaessa ikkunan lämpötaloutta on helpoin ja ensimmäinen keino parantaa tiiveyttä. Uretaanivaahdot kehitettiin aikoinaan juuri tätä tarkoitusta varten.

Valoaukon kautta karkaavasta lämmöstä noin kaksi kolmasosaa menee säteilyinä lasin läpi ja kolmannes sekä johtumalla lasin läpi että konvektiona ikkunan lasien välissä liikkuvan ilman mukana tapahtuvana lämmönsiirtona. Pinnoittamalla lasit valmistusvaiheessa voidaan talon sisältä ulos pyrkivää lämpösäteilyä kääntää takaisin huoneeseen. Tällainen ns. selektiivinen pinta saadaan joko päällystämällä lasi ohuella, läpinäkyvällä metalli- tai metallioksidikerroksella (selektiivipinta) tai sekoittamalla metallia tai metallioksidia lasimassaan (selektiivilasi). Pinnoite ei näy

eikä muuta lasin väriä. Pinnoite sijoitetaan umpiolasin sisäpintoihin, jossa se ei likaannu eikä vaurioidu. /3/

Lämmön johtumista lasimateriaalin läpi ei voi vähentää, mutta johtumista voidaan pienentää korvaamalla umpiolasissa täyteenä oleva ilma kaasulla. Täytekaasuina käytetään argonia ja kryptonaa. Lasi on johtumisen kannalta huono materiaali, sen lämmönjohtumisluku on korkea ($\lambda = 0,8 \text{ W/Km}$) eli se on lämmönjohteen luokkaa, ei eristeen. Jos korvaisimme lasin esim. himmeämmällä akryylimuovilla ($\lambda = 0,25$) olisi ikkuna lämpötaloudellisesti parempi.

Kun ikkunan lasiosien lämmönläpäisyä pienennetään noin puoleen nykyisestä ($0,7 - 1,0 / 1,5 - 2,0 \text{ W/Km}^2$), tulee karmista ja puitteesta ikkunan heikoimmin lämmöneristetty kohta. Haluttaessa koko ikkunaan samantasoinen eristävyys, pitää karmi- ja puiteosat halkaista lämmöneristeellä. Puu ($\lambda = 0,15$) on käytetyistä karmi- ja puiteaineista selvästi paras verrattuna alumiiniin ($\lambda = 230$) tai muoviin ($\lambda = 0,25$).

Taulukko 3. Ikkunatyypin lämmönläpäisykertoimia. /3/

Ikkunatyypin	MSE	MSE ja selektiivipinta	MSE selektiivipinta ja argontäyte	Superlasi	Superlasi ja selektiivipinta	Kaksi umpiolasia, selektiivikalvot ja argon
Koko ikkunan k-arvo	1,8	1,4	1,35	1,1	1,0	0,6
Lasiaukon k-arvo	1,8	1,4	1,2	0,95	0,75	0,55
Lasin sisäpinnan lämpötila yöaikaan, kun lämpötila ulkona $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ ja sis. $+20 \text{ }^\circ\text{C}$	+ 9 C	+ 11 C	+ 11,5 C	+ 13 C	+ 14 C	+ 17 C

- MSE-ikkunassa on ulkopuolella yksi lasi ja sisäpuolella kaksilasinen umpioelementti
- ”Superlasissa” on umpiolasielementin lasiväli optimoitu ja argontäyte

5.4.2 Korjausrakentamisen ratkaisuja

Julkisivujen kokonaiskorjauksia varten tulee kehittää erityisesti korjaustoimintaan soveltuvia ikkunatyyppejä. Näiden avulla vältetään lisäeristämisen yhteydessä helposti ikkunoiden pieliin syntyviä kylmäsiltoja. Ulkopuolista lisäeristystä käytettäessä tulee löytää ikkunatyyppi, jossa uloin lasi tai lasielementti viedään lisäeristeen ulkopinnan tasolle. Ikkunoita uusittaessa tulee uuden ikkunan k-arvon olla vähintään $1,2 \text{ W/Km}^2$, eli tarvitaan selektiivilasi ja suojakaasu.

Etulasiratkaisulla voidaan parantaa 2-lasisia ikkunoita 3-lasisiksi, mikä on se perinteinen korjaustapa ja sillä päädytään vastaavaan kuin uudisikkunoissakin, jotka ovat 3-lasisia. Niin ei kuitenkaan päästä parhaiden 3-lasisten selektiivikalvolla ja suojakaasulla varustettujen ikkunatyyppien tasolle. Tätä parempi on 2-lasinen umpioetulasi, joista ulompi on selektiivilasi ja välissä argon tai krypton suojakaasu.

Näin voidaan hyväkuntoinen, vanha 2-lasinen ikkuna parantaa 4-lasiseksi, jonka k-arvo on $<1,0 \text{ W/Km}^2$. Rakenne paranee vielä sillä, jos umpioetulasiementin karmi halkaistaan lämpöeristeellä ja umpiolasielementti sijoitetaan lisäeristykseen tasoon. Näin koko 4-lasinen ikkunajärjestelmä tulee riittävän ulos, jolloin korjauksen jälkeen julkisivun ulkonäkö on lähes entinen.

6 ILMANVAIHTO

Ilmanvaihdon tehtävänä on poistaa sisäilman epäpuhtauksia ja tuoda tilalle puhtaampaa korvausilmaa. Kaikki epäpuhtaudet eivät poistu, mutta niiden pitoisuudet pysyvät sopivan alhaisina riittäväällä yleisilmanvaihdolla. Erityisesti hiilidioksidin ja vesihöyryn pitoisuudet saadaan pidettyä terveellisellä tasolla.

6.1 Tiiviiden merkitys

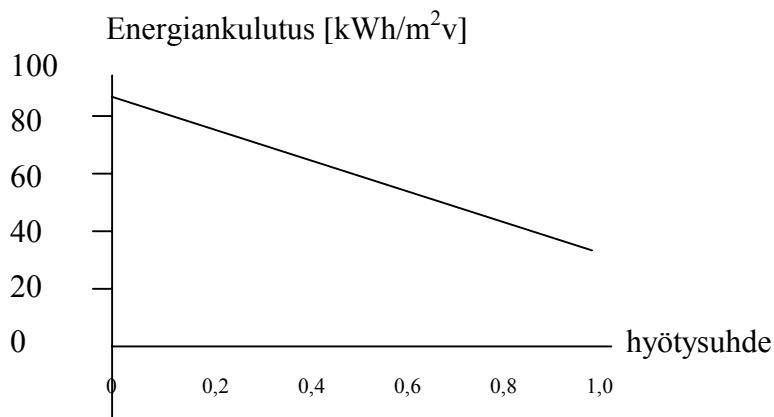
Ilmanvaihdon osuus rakennuksen lämpöhäviöistä on kaikkein suurin. Rakennuksen vaipan tiiviyden on tärkeä kosteudensiirtoon ja ilmanvaihdon toimintaan vaikuttava tekijä. Ilmanvaihto pystytään helpommin hallitsemaan tiiviissä rakennuksessa, jossa lähes kaikki ilma kulkee ilmanvaihtojärjestelmän kautta. Ilmatiiviydellä varmistetaan rakenteiden painesuhteiden hallinta ja estetään sisäilman vuotojen aiheuttama kosteuden kulkeutuminen rakenteisiin.

Usein sisäilman ongelmista syytetään liian tiiviitä rakenteita. Itse tiiviyden ei kuitenkaan ole ongelmien syy, vaan sisäilman epäpuhtauslähteet ja puutteellinen ilmanvaihto niiden torjunnassa. Tiivis rakennus voi olla ongelma, jos ilmanvaihto ei toimi. /8/

Harvan rakennuksen ilmanvaihtoa ei ole mahdollista hallita edes koneellisesti, koska säästä riippuvilla vuotoilmavirroilla on suuri merkitys. Vuotoilmanvaihdon lämmityksen kuluva energia ei ole mahdollista saada talteen ilmanvaihdon lämmön talteenottolaitteilla. /8/

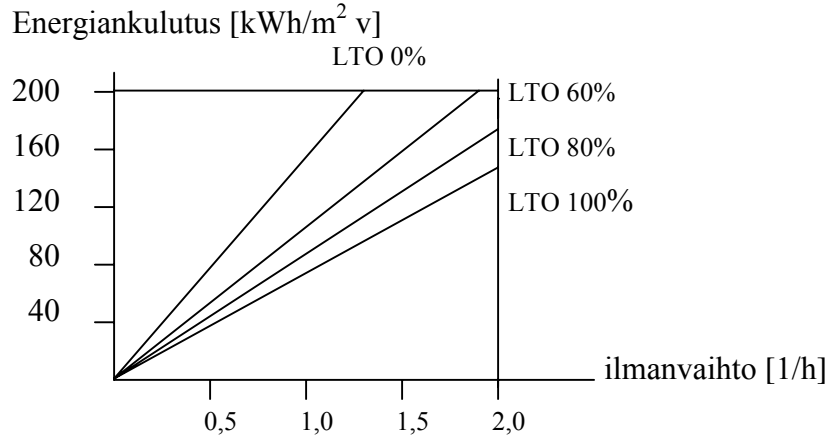
6.2 Lämmön talteenoton merkitys

Rakennuksissa, joissa lämpöhäviöt on saatu vähäisiksi paksuilla eristekerroksilla ja ilmatiiviydellä, tulee yllämmön poistaminen ongelmaksi. Yllämmön poistaminen on tärkeää asumisviihtyvyyden kannalta. Lisääntyvä lämpöenergian poistaminen on hyödytöntä, ellei poistoilmasta oteta lämpöä talteen riittävän tehokkaasti tuloilman lämmitykseen. Osan aikaa vuodesta on lämmin poistoilma silti ajettava hyödyttömänä ohi talteenottolaitteiston.



Kuva 6. Ilmanvaihdon lämmitysenergiankulutus huoneisto-m² kohti lämmön talteenoton hyötysuhteen funktiona vuositasolla. /9/

Voidaan todeta, että vaikka lämmön talteenoton hyötysuhde olisi täysi 1,0, on ilmanvaihdon lämmitysenergian laskennallinen kulutus lähes 40 kWh/m² vuodessa. Se on silloin pääasiassa yllämmön poistamista, vuotoilmanvaihto luonnollisestikin vähenee hyvin eristetyssä talossa.



Kuva 7 . Ilmanvaihdon kuluttama lämmitysenergian määrä huoneisto- m^2 kohti lämmön talteenoton eri hyötysuhteilla. /9/

Ylimmän (ei talteenottoa) ja alimman (LTO 100%) suoran erotus on aluetta, mihin lämmön talteenoton tehokkuudella voidaan vaikuttaa. Normaalilla 0,5 1/h-ilmanvaihdolla on ero kulutuksessa n. $70 - 35 = 35$ kWh/m²v maksimissaan. Eli säästö on 0 – 35 kWh/m²v. Esimerkiksi, jos talteen otetaan 25 kWh/m²v, saa LTO maksaa < 7,5 mk/kWh energian hinnalla 0,3 mk/kWh. Lisäksi on huomattava, että ilmanvaihdon energiankulutus kasvaa suuresti, jos halutaan suurempaa ilmanvaihtoa kuin 0,5 1/h. Tarvitaanko parempaa ilmanvaihtoa, kun pinnoissa on päästövapaat materiaalit ja tupakkalaki kieltää polttamasta sisätiloissa.

6.3 Hybridi-ilmanvaihto

Hybridi-ilmanvaihdoksi kutsutaan eräänlaista tehostettua painovoimaista täsmäilmanvaihtoa, joka yhdistää painovoimaisen ja koneellisen ilmanvaihdon. Siinä raitis ilma otetaan rakennuksen ulkopuolelta, josta se johdetaan maanalaista tunnelia pitkin rakennukseen. Tarvittaessa käytetään puhallinta, joka takaa lämpimänä vuodenaikana riittävän ilman kierron. Talvella sisään tulevaa ilmaa lämmitetään pattereilla ennen sen edelleen kierrättämistä, jolloin se saa enemmän koneellisia piirteitä.

Ilmanvaihtoa voidaan tehostaa erilaisilla avattavilla ja säädettävillä venttiileillä ja ikkunoilla tai huonekohtaisilla imureilla. Kun puhaltimet ja imurit eivät ole päällä, on systeemi painovoimainen. /10/

Maanalainen ilmankanava tehdään betonista. Kanava tasoittaa luonnonmukaisella tavalla eri vuodenaikojen lämpötilavaihteluita. Kylmänä vuodenaikana maa esilämmittää ilmaa ja lämpimänä vuodenaikana kylmentää, maan alta johdettava ilma on viileämpää. Maakosteus ei vuosien käyttökokemusten perusteella ole aiheuttanut ongelmia Ruotsissa, kun kanava tehdään betonista. Muussa tapauksessa tulee hajuongelmia. /10/

Maanalaiset kanavat tehdään suurina poikkileikkauksina, ihmisen kuljettavaksi, joten ne on helppo pitää puhtaina. Koneellisen ilmanvaihdon ongelma on juuri kanavat. Putkistoa tarvitaan paljon ja niiden puhdistus jää yleensä tekemättä, mikä pienentää ilmanvaihdon tehoa.

Hybridi-ilmanvaihdon etuja ja haittoja; vaatii kehittämistä, voi olla tulevaisuutta meilläkin.

Etuja:

- Hiljaisuus; pääosin painovoimaan perustuvana ilmanvaihtona.
- Suuret kanavat on helppo pitää puhtaina.
- Vuodenaikojen lämpötilavaihteluita tasoittava vaikutus.

Haittoja:

- Suuri perustamiskustannus; vaikeasti toteutettava betonikanava. Sopii koulu- ja toimistorakennuksiin, omakotitaloihin ehkä turhan massiivinen ja tilaa vievä. Kokemukset Ruotsista.

- Huono energiatehokkuus (Suomalaiseen tasoon nähden), lämmön talteenottoa vaikea järjestää. Tosin energiankulutusta voidaan rajata kohdentamalla ilmanvaihtoa.

6.4 Perinteinen painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimainen ilmanvaihto ei oikein toimi nykyisissä taloissa, joihin tehdään lappeen myötäisiä korkeita sisäkattoja. Pesuhuone rakennetaan alakertaan ja sieltä vesihöyry karkaa asunnon sisällä korkeampiin huoneisiin, ellei pesuhuonetta osastoida ja vesihöyryä imuroida sieltä nopeasti pois. Lämmin vesihöyryinen ilma tunkeutuu yläpohjan rakenteisiin ellei sitä ole tehty höyrynpitäväksi.

Vesihöyryä läpäisevät ilmasululliset rakenteet ja painovoimainen ilmanvaihto eivät sovi nykypäivän asumiseen, missä veden käsittelymäärät ovat suuria. Painovoimainen sopii edelleenkin erinomaisesti vanhaan asumismuotoon ja mökkimäiseen oleskeluun, jos vedenkäyttö on vähäistä.

6.5 Kosteuskuormitusta tasoittavat rakenteet

Kosteutta sitovilla, hygrooskooppisilla materiaaleilla on sisäilman kosteutta tasaava vaikutus. Sisäilman kosteuden huipputasoja voidaan hetkellisesti alentaa pintarakenteisiin, kunhan välittömästi pinnan alla on höyryntiivis kalvo estämässä vesihöyryn pääsyä syvemmälle rakenteisiin. Sisäilman kosteusvaihteluiden tasoittaminen pintarakenteellisin keinoin antaa parannusta asumisviihtyvyyteen.

Pintarakenteen kykyyn tasoittaa sisäilman kosteutta vaikuttavat seuraavat tekijät:

- Rakenteen pintavastus vesihöyrylle
- Materiaalien vesihöyrynläpäisevyys
- Kerrosten hyödynnettävissä oleva paksuus ja pinta-ala

Luonnollisesti on selvää, että rakenteen sisäpinnan ensimmäisellä materiaalilla on suurin merkitys kosteuden tasoittumisessa.

Sisäilman kosteusvaihteluiden tasoittaminen ei ole riittävä peruste ilmanvaihdon pienentämiselle, vaan ilman epäpuhtauksien poistamisesta on huolehdittava. Tyypillinen esimerkki, missä kosteustasausta tarvitaan, on pyykin kuivaus sisällä. Rakenteille se on suuri yksittäinen vaaratilanne, mutta inhimillisistä syistä se pitää voida hyväksyä talvikuukausina. Silloin hygroskooppinen pintamateriaali sitoo hetkellisesti vesihöyryä, mikä alentaa sisäilman suhteellista kosteutta sopivasti.

Hyvällä perusilmanvaihdolla huolehditaan, ettei pintamateriaalien kosteuspitoisuus ole pitkään liian korkea. Sisäilman kosteutta tasaavat rakenteet ovat kosteusteknisesti toimivia, kun tasaava materiaali on heti sisimmässä pinnassa. Tällöin vesihöyrynvastuksen aleneminen ulospäin alkaa vasta seuraavasta materiaalista, millä tulee olla suurin vastus.

Rakenteiden hygroskooppisen massan käyttö sisäilman parantamiseksi on antanut hyviä tuloksia. Kehitystyö voi tuottaa uusia, tavanomaisia rakenteita paremmin toimivia sovellutuksia. Toisaalta palomääräykset tulevat kehitystyötä vastaan. Hygroskooppinen pintamateriaali on yleensä kevyt (pieni tiheys) ja paloteknisesti arka.

7 LÄMMITYSTAVOISTA

Hyvin lämmöneristetyissä, tiiveissä ja ilmanvaihdoltaan optimoiduissa taloissa on pienet lämpöhäviöt. Näin lämmityksen ympäristöä kuormittava vaikutus saadaan paljon vähemmäksi kuin tavallisissa nykynormien mukaisissa asuinrakennuksissa.

Tulevaisuudessa tullaan hyödyntämään yhä enemmän auringon ilmaisenergiaa keräämällä lämpöä aurinkokeräimien avulla käyttöveteen.

Lämpötaloudellisesti hyvissä taloissa on käytettävissä kaikki samat lämmönlähteet kuin yleensäkin rakennusten lämmityksessä, ellei EU:n lainsäädäntö karsi tulevaisuudessa joitakin lämmitystapoja pois esimerkiksi ympäristösyistä. Eri lämmönlähteitä voidaan käyttää yksin tai yhdessä jonkin toisen tai ns. ilmaisenergian kanssa. Lämmityksen edullisuus riippuu lämmitysjärjestelmän hinnasta ja käyttökustannuksista.

7.1 EU:n säädöksiä lämmitykseen

Energiahuoltoa pyritään siirtämään yhä enemmän uusiutuvien energialähteiden suuntaan. Toinen säädös on kattilalämmityksen hyötysuhdedirektiivi. Markkinoilla olevien öljy- ja kaasulämmityslaitteiden tulee olla testattuja ja kattiloista pitää löytyä tehokkuuden kertova leima.

Kolmas säädös on rakennusten energiatodistukset, joita jäsenmaat joutuvat kehittämään. Energiatodistus vastaa kylmälaitteiden energiamerkkiä. Tulevaisuudessa pientalon ostaja saa nähtäväkseen energiatodistuksen, jota hän voi verrata toisen myynnissä olevan pientalon energiatodistukseen. /11/

7.2 Lämmitysjärjestelmän valintakriteereitä

Pientalon lämmitysjärjestelmää, jonka investointikustannukset olisivat pienet, energiakustannukset alhaiset ja ympäristöystävällisyys hyvä ei ole olemassa. Yleensä valitussa systeemissä toteutuu yksi tai korkeintaan kaksi näistä kolmesta kriteereistä.

Ympäristövaikutusten kannalta kaikkein parasta olisi rakentaa mahdollisimman vähän energiaa kuluttava talo ja lämmitellä mahdollisimman vähän ja uusiutuville polttoaineilla. Tällaisen lämmitysjärjestelmän investointikustannus on korkea ja se tarvitsee tuekseen toisen lämmönlähteen, joten ympäristövaikutus suurenee.

Yksi tärkeimmistä valintakriteereistä on lämpimän käyttöveden käytön määrä, mihin vaikuttaa asuvien lukumäärä. Energialaskussa lämpimän käyttöveden vaihtelu tuo suuren säätövaikutuksen, ei sisätilojen lämmitys.

Yksinelävän rakentaessa hyvin eristetyn, tiiviin ja ilmastoidun omakotitalon itselleen, on suora sähkölämmitys todennäköisesti taloudellisin vaihtoehto. Vedenkulutus on vähäistä ja huoneiden lämpötilaa voidaan vaihdella asumisrytmin mukaan. Suoran sähkölämmityksen investointikustannus on pieni ja sähkö polttoaineena kallista. Kun talon energiantarve on pieni, on energialaskukin kohtuullinen. Halvemman polttoaineen säästöllä ei voida maksaa takaisin suurta laiteinvestointia.

Toisaalta, kun talo rakennetaan 4-henkiselle perheelle, kuluu vettä paljon, eli käyttökustannukset tulee suuriksi. Tällöin polttoaineen hinnalla on suuri merkitys ja laitteisiin voi investoida enemmän.

Lämmitysjärjestelmän käyttövarmuus on yksi sen tärkeimmistä ominaisuuksista. Yksinkertaisessa järjestelmässä on vähän vikaantumisriskejä. Hyväksi on myös, jos järjestelmä on riippumaton ulkoisista toimitushäiriöistä eli jos voidaan hyödyntää useita energismuotoja.

Lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttavat rakennuksen koko, rakennuspaikka, perheen koko, asumistottumukset, arvostukset ja asenteet; esim. mikä koetaan ympäristöystävälliseksi ja asumistarpeiden muutokset. Yhä enemmän tulee vaikuttamaan paikallisen polttoaineen suosiminen.

7.3 Lämmitysjärjestelmän osat

Pientalon lämmitysjärjestelmä jakautuu toiminnallisesti kolmeen osaan:

- lämmönkehityslaitteisiin
- lämmön varastointiin
- lämmönjakolaitteisiin

Yleisimpiä lämmönkehityslaitteita ovat:

- keskuslämmityskattilat
- kaukolämpölaitteet
- lämpöpumput

Lämmönjako perustuu vesikiertoiseen järjestelmään, ilmankiertoon tai ilmanvaihtoon tai erilaisiin huonekohtaisiin ratkaisuihin. Lämmönjakojärjestelmään kuuluu siirtoputkistot ja kanavat, huonetilojen tuloilman lämmityslaitteet sekä niihin liittyvät säätö- ja ohjausjärjestelmät.

7.4 Päälämmitysjärjestelmät

Suomessa on sähköllä lämmitettäviä asuntoja n. 600 000. Näistä on valtaosa pientalo- ja rivitaloasuntoja. Pientalojen lämmitysmuotona sähkö on yleisin. Erityisesti uudisrakennusten lämmitykseen valitaan useammin sähkö- kuin öljylämmitys. Öljylämmityksen osuus on vähentynyt viime vuosina, sähkö- ja kaukolämmityksen yleistyessä. Rivitaloissa sähkö- ja kaukolämmityksen osuus on molemmilla n. 40 % ja öljylämmityksen osuus n. 20 %.

Kerrostaloissa vallitseva lämmitysmuoto on kaukolämpö, lähes 85 %. Uusista kerrostaloista 90 % liitetään kaukolämpöön. Tiheästi rakennetuilla taajama-alueilla kaukolämmön verkkoinvestoinnit ja –häviöt pysyvät kohtuullisina lämmitettävää pinta-alaa kohti, mikä tekee sen taloudelliseksi. Sähkölämmitys taas sopii haja-asutusalueelle, mihin ei kannata rakentaa kaukolämmitystä. /12/

7.4.1 Huonekohtainen sähkölämmitys

Huonekohtaisessa sähkölämmityksessä yhdistyy sekä lämmönjakoon että lämmönkehitysjärjestelmään. Huonekohtainen sähkölämmitys on yksinkertainen ja hankintakustannuksiltaan edullinen. Sähkölämmitys voi olla suora tai varaava.

Varaava

Halvempi yösähkö sopii veden lämmittämiseen varaajassa ja lämmitysenergian varastointiin päiväajaksi. Lämmön varastointi rakennuksen massaon on hyvä ratkaisu. Tällöin sisäpuoliset tiili- tai betoniseinät antavat mahdollisuuden yösähköllä tuotetun lämmön varastointiin.

Massavaraaja

Massavaraajassa sähkövastusten tuottama lämpöenergia varastoidaan keraamiseen massaon ja siirretään lämmitettävään tilaan säädettävällä ilmavirtauksella. Kun

vesivaraajan käytössä joudutaan tyytymään alle 100 °C lämpötiloihin, voidaan keraamisissa massavaraajissa varastoida energiaa 600 – 700 °C lämpötilaan. Suuri lämpömäärä voidaan varastoida pieneen tilavuuteen. Massavaraajan käytöllä voidaan paremmin hyödyntää yösähköä, eli suoraa sähkölämmitystä voidaan muuttaa varaavammaksi.

Suora

Suorassa sähkölämmityksessä järjestelmän lämpökapasiteetti on pieni. Järjestelmä kuluttaa sähköenergiaa lämmöntarvetta vastaavasti. Säädettyvyys on helppoa ja nopeaa. Lämmönsiirto huoneeseen katkeaa pienellä viiveellä, kun lämpökuorma nostaa huoneen lämpötilaa. Tämä säästää energiaa. Vastaavasti lämmöntarpeen muutoksiin reagoidaan nopeasti, jos lämmitysteho on riittävä. Huonekohtaisessa sähkölämmityksessä voidaan yhdistää erilaisia lämmönjakotapoja, joista perinteisiä ovat patteri-, lattia- ja kattolämmitys. /12/

Suoraa sähkölämmitystä ei voida pitää ympäristöystävällisenä. Sen jalostusketju on pitkä ja monivaiheinen. Millä peruspolttoaineella sähköä tuotetaan, vaikuttaa asiaan luonnollisestikin.

Sähkö on houkutteleva muoto talon energialähteeksi. Sähköä tarvitaan joka tapauksessa talon valaistukseen ja kodinkoneiden ja laitteiden käyttövoimaksi. Jos lämmityskin toimii sähköllä, ovat järjestelmät yksinkertaisia.

7.4.2 Öljylämmitys

Öljylämmityslaitteet pystyvät hyödyntämään 85 – 95 % polttoöljyn energiasta. Hyötysuhteeltaan paras on pelkästään öljyn käyttöä varten suunniteltu tavanomainen yksipesäkattila.

Laitteet, joita yleensä käytetään nykynormien mukaisissa omakotitaloissa ovat 15 – 25 kW:n tehoisia. Ne ovat turhan tehokkaita uusien normien mukaisiin ja hyvin lämmöneristettyihin taloihin, joiden lämmittämiseen riittää 10 - 15 kW. Laitetehoa mitoitettaessa tulee ottaa huomioon asukkaiden lämpimän veden tarve ja varata sen tuottamiseen riittävä teho. Tehon pienenemisestä seuraa pienenevä polttoaineen kulutus, jolloin myös tarve varastoida polttoainetta vähenee. Öljyn varastointiin tarvittavaa tilaa voidaan pienentää, mikä on selvä etu. /3/

Öljyllä lämmitävä tarvitsee mm. öljykattilan, -polttimen, lämmönsäätö-automatiikkaa ja öljysäiliön mutta ei erillistä lämminvesivaraajaa, sillä kattilan oma vesitilavuus riittää myös käyttöveden lämmitykseen. Jos saatavilla on puuta, voidaan hankkia kaksoispesäkattila, joka varustetaan erillisellä varaajalla. /11/

Öljylämmitys vaatii suuria investointikustannuksia. Käyttö on suhteellisen halpaa, lämmitysöljyn hinta on alhainen moniin muihin polttoaineisiin verrattuna. Ympäristöystävällisyys on vähintäänkin kyseenalaista. Rikki on saatu pois kevyestä polttoöljystä lähes täysin, mutta öljyn polttaminen on tulevaisuudessa arveluttavaa hiilidioksidipäästöjen takia.

7.4.3 Puulämmitys

Puukattilan valitseva joutuu päättämään pääasiallisen polttoainetyypin. Polttoaineena voi käyttää halkoja, pilkkeitä, haketta tai pellettejä. Kattilan toiminta-periaate määräytyy sen mukaan, mitä kattilassa aiotaan polttaa.

Kattilan hankkiessa joutuu päättämään, ostaako ylä- vai alapalokattilan. Pilkkeitä voi polttaa niin ylä- kuin alapalokattilassakin, haketta alapalokattilassa. Alapalokattilassa polttoaineet palavat tasaisemmin ja niitä lisätään harvemmin kuin yläpalokattilassa. /13/

Puu palaa nopeasti ja näin vapautuva lämpö on saatava varastoitua sopivalla tavalla pidemmäksi aikaa. Samalla on estettävä ylikuumeneminen tilassa, jossa tulisija sijaitsee. Lämmitysenergiaa hyvin pitävän talon tulisija saa luovuttaa ympäristöönsä lämpöä enintään 1 – 2 kW:n teholla. Tulisijan pitää tuottaa lämpöä asuintiloihin mahdollisimman tasaisesti ja pitkään. Sen tulee olla kuorirakenteinen ja sen pintalämpötilan alhainen, 50 – 60 C°. /3/

Varaajalla varustetussa järjestelmässä kattilan kehittämä lämpö siirretään ensin varaajaan ja sieltä edelleen patteriverkkoon lämmönluovuttimiin. Suorassa lämmityksessä kattila kytketään patteriverkostoon. Lämmin käyttövesi lämmitetään erillisessä 200 – 500 litran varaajassa. /11/

Puu on uusiutuva luonnonvara, sen käyttö meillä lämmityspolttoaineena on perusteltua. Puun poltto on kuitenkin välitöntä hiilidioksidin vapauttamista yhtä hyvin kuin fossiilisia polttoaineitakin poltettaessa. Hiilidioksidipäästöt eivät tunne mitään korvaavuusperiaatteita, jonka mukaan sama määrä hiilidioksidia vapautuu ilmakehään myös lahoamalla. Hiukkaspäästöjä mitattaessa puun poltto on arveluttavaa. Tulisijatyypeille on tulossa päästöjä koskevat kriteerit. Laiteinvestointi on kallis kuten öljylläkin.

7.4.4 Kaukolämmitys

Kaukolämpöä saadaan lämpökeskuksista tai lämpöä ja sähköä tuottavista voimalaitoksista. Kaukolämmön käyttö on yhteiskunnan ja ympäristön kannalta suositeltavaa aina, kun sitä on taloudellisesti saatavilla.

Lämmitysvoimalaitokset tuottavat sekä sähköä että lämpöä. Niiden etu on hyvä polttoaineen hyödyntäminen. Kun halutaan tuottaa 100 yksikköä lämpöä ja 55 yksikköä sähköä, tarvitaan sähkön ja lämmön erillistuotannossa 51 % enemmän polttoaine-energiaa kuin yhteistuotannossa. /12/. Ero tulee sähkön puolelta; suuresta lauhdutushäviöstä vain sähköä tuotettaessa.

Pelkän lämmön tuottaminen ei ole sinänsä epätaloudellista, mutta kun sekä sähköä että lämpöä tarvitaan, kannattaa ne tuottaa yhteistuotannossa. Polttoaineen määrällä on suuri merkitys paitsi taloudellisesti myös hiilidioksidipäästöjen kannalta, kun yleisimmät polttoaineet ovat maakaasu, kivihiili, turve ja öljy.

Talon omistajan kannalta kaukolämpö ei aina ole taloudellista, koska hyvin lämpöeristetyin talon lämmönkulutus on alhainen ja kaukolämmön liittymis- ja perusmaksut ovat korkeat. Vähäisen energiantarpeensa vuoksi energiaa vähän kuluttavat tulevaisuuden talot voisivat olla liitettynä vain kaukolämmön paluuviesiputkeen. Patteriverkoston paluuvettä käytettäisiin ilmanvaihdon tuloilman lämmitykseen. Paluuveden lämpötila alenee, mikä olisi voimalaitokselle edullista.

Kun kaukolämmön hinta on sama ympäri vuorokauden, ei lämmön varastointi ole mielekäästä. Lämmintä vettä saadaan riittävästi ilman lämminvesivaraajaa. Lämmitykseen ja lämpimään käyttöveteen tarvittava energia saadaan lämmönsiirtimen kautta. Lämmönjakojärjestelmiksi sopivat vesikeskuslämmitys, ilmanvaihtolämmitys, ilmalämmitys tai vesikiertoinen lattialämmitys. /11/ ja /3/

Ympäristöystävällisyys riippuu voimalaitoksen käyttämästä polttoaineesta. Toisaalta keskitettynä lämmitysmuotona on fossiilinen polttoainekin hyväksyttävä parempana vaihtoehtona kuin jokaisen asunnon omatoiminen lämmitys.

8 AURINKOLÄMMITYS

8.1 Passiivinen aurinkolämmitys

Passiivisella aurinkolämmityksellä tarkoitetaan aurinkoenergian hyödyntämistä rakennuksen sijoituksella, muodolla, rakenteilla ja ennen kaikkea ikkunoiden suuntaamisella siten, että ne vähentävät rakennuksen muun lämmitysenergian käyttöä. Se ei vaadi lisäinvestointeja, vain aurinkolämmön huomioon ottamista suunnittelussa.

Passiivinen aurinkolämmitys tapahtuu käyttämällä ikkunoita auringon säteilyn kerääjinä ja rakenteita lämmön varastona. Suuntaamalla ikkunat siten, että niiden läpi tulee lämmityskauden aikana rakennukseen sopivasti auringon lämpöä, voidaan ostetun lämmitysenergian määrää vähentää huomattavasti. Samalla pitää huolehtia siitä, etteivät huoneet lämpene auringon vaikutuksesta liikaa silloin, kun lämmitystä ei tarvita. /12/

Pientaloissa aurinkoenergian passiivisella hyödyntämisellä saavutetaan merkittävä säästö, 200 – 500 kWh/ kk silloin, kun etelään ja länteen suunnattujen ikkunoiden pinta-ala on noin 10 % lattia-alasta, eli 2/3 ikkunoiden kokonaispinta-alasta. Aurinkoenergian hyvä hyödyntäminen edellyttää hyvää säätöä, joka kytkee lämmityksen pois päältä silloin, kun aurinko lämmittää.

Ilmalämmityksen avulla voidaan siirtää ikkunoilla kerättyä energiaa aurinkoiselta julkisivulta varjoisalle. Huoneiston sisäiset ilmavirtaukset tasaavat myös lämpötilaeroja. Kynnyksettömien oviaukkojen kautta lämpötilaerot huoneissa tasoittuvat.

8.1.1 Lämmön varastointi ja hyödynnettävyys

Aurinkolämmön hyödynnettävyys riippuu siitä, tarvitaanko lämpöä silloin kun sitä on saatavilla ja kuinka paljon sitä voidaan varastoida rakenteisiin. Rakennuksen koko lämpökapasiteetti ei toimi lämmön varastojana, sillä vain osa seinien massasta ehtii lämmetä ja jäähtyä aurinkolämmön ja sisäisten lämpökuormien vaikutuksesta. Toisaalta lämmön varastointikapasiteetti rajoittaa lämmitysenergian hyödynnettävyyttä. Massiivisiin rakenteisiin voidaan varastoida aurinkolämpöä enemmän kuin kevyisiin, mutta silti aurinkolämmön osuutta ei voida kasvattaa kovin suureksi.

8.1.2 Ilman esilämmitys

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää ilmanvaihtoilman lämmittämiseen. Sovellus on erinomainen, jos rakenteita voidaan käyttää auringon kerääjinä. Lämmitettävän aineen lämpötila on alhainen, joten kerääjän ei tarvitse olla teknisesti etevä. Pientaloissa ilmanvaihtoilman esilämmittäminen rakenteisiin yhdistetyllä aurinkoenergiaa keräävällä ulkoilman esilämmittimellä tuottaa mittausten mukaan lämpöä noin 100 kWh/m^2 kerääjää vuodessa /12/

Korkeilla ja pinta-alaltaan suurilla lasijulkisivuilla voidaan tuleva ulkoilma lämmittää auringonsäteilyllä. Auringon esilämmittämä ilma otetaan lasijulkisivun takana olevasta välitilasta. Lasin takana oleva seinä on tuolloin tummaa metallia. Kesäaikana, kun lämmitystä ei tarvita, pitää tuloilma ottaa pohjoisivulta.

8.1.3 Poistoilmaikkuna

Poistoilmaikkunassa huoneen poistoilma virtaa lasien välissä ja lämpenee tummiin sälekaihtimiin absorboituneen auringonsäteilyn vaikutuksesta. Kun ikkuna yhdistetään ilmalämmitysjärjestelmään, voidaan lämmennyt ilma käyttää varjon puolella olevien huoneiden lämmittämiseen. /12/.

Talvella poistoilma lämmittää ikkunaa ja vähentää konvektiota, mikä pienentää johtumislämpövirtaa huoneilmasta ikkunaan. Samalla ikkunan ulkolasin lämpötila nousee, joten uloimman lasin lämpöhäviö kasvaa. Näin poistoilman lämpötila ikkunassa laskee ja ilman talteenotolle ei jää hyödynnettävää. Kylmimmillä ilmoilla hyödyksi jää ainoastaan konvektiovirtauksen vaimeneminen.

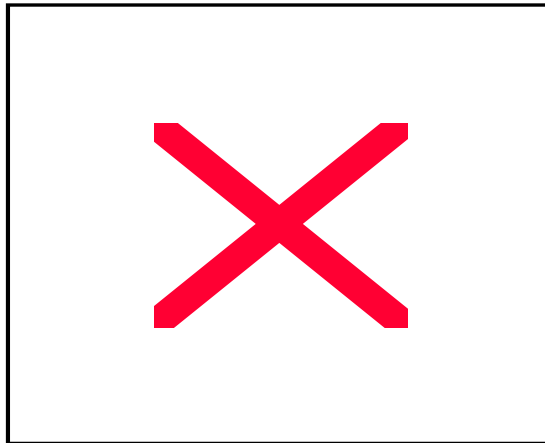
8.2 Aktiivinen aurinkolämmitys

Aktiivisessa aurinkolämmityksessä hyödynnetään aurinkoenergiaa sitä varten rakennettujen lisälaitteiden avulla. Tavallisimpia ovat aurinkokerääjät, lämpövarastot ja niihin liittyvät putkistot ja säätölaitteet. Kerätty lämpö varataan ja käytetään tarpeen mukaan.

Aurinkolämmön aktiivinen kerääminen voi tapahtua joko keskittävillä tai tasokerääjillä. Keskittävillä kerääjillä päästään korkeaan lämpötilaan, tarvittaessa jopa höyryn tuottamiseen. Keskittävät kerääjät toimivat voimakkaassa suorassa auringonsäteilyssä, ne eivät pysty hyödyntämään hajasäteilyä.

Tasokerääjillä hyödynnetään hajasäteilyä. Niillä kerätyn lämmön lämpötilataso on alhaisempi kuin keskittävillä. Suomessa ne ovat ainoa käyttökelpoinen kerääjätyyppi. Kun kerätyn lämmön lämpötilataso on alhainen, voidaan sitä

hyödyntää lämmitysjärjestelmässä sen paremmin mitä alhaisemmalla lämpötilatasolla lämmitys toimii. Tästä seuraa, että aurinkolämmityksen yhteydessä ns. matalalämpötilaiset lämmitystavat ovat sopivia, esimerkiksi lattialämmitys tai ilmalämmitys.

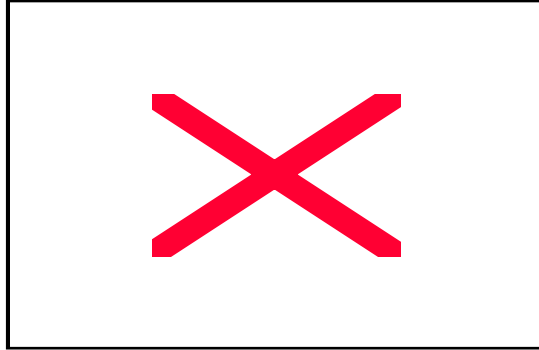


Kuva 8. Vasemmalla tasokerääjiä (vesi tai ilmakierto), oikealla keskittäviä.

Aktiivinen aurinkoenergian hyödyttäminen vaatii aina lisäinvestointeja, jotka huonontavat aurinkolämmityksen kannattavuutta. /12/

8.2.1 Tasokerääjistä

Yleisimmin käytetty aurinkokeräin on nestekiertoinen tasokeräin. Muita keräintyyppjejä ovat ilmakiertoiset tasokeräimet. Nestekiertoisessa tasokeräimessä auringonsäteily lämmittää mustaa absorbtiolevyä, joka on pinnoitettu selektiivisellä lasilla, akryylilevyllä tai polykarbonaattilevyllä (selektiivinen keräin). Absorbtiollevyn ja katteen välissä voi olla lämpöhäviöitä vähentävä alumiini- tai fluorikalvo (selektiivinen pinnoite). Absorbtiollevy on lämmöneristetty alapuolelta.

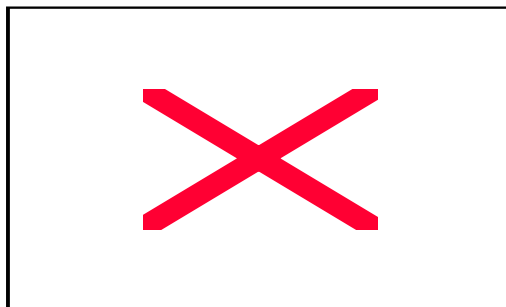


Kuva 9. Tasokerääjän tyypillinen rakenne. 1. Selektiivinen kate, 2. Selektiivinen pinnoite, 3. Absorptiolevy, 4. Lämmöneriste, 5. Kokoojaputki /12/

Lämpö siirtyy keräimen sisällä olevissa putkissa virtaavaan nesteeseen. Lämmönsiirtoaineena käytetään kesällä vettä ja ympärivuotisessa käytössä vesiglykoliseosta. Putket on yhdistetty keräimen ylä- ja alareunoissa kulkeviin kokoojaputkiin. Aurinkoenergia lämmittää tasokerääjässä kiertävän nesteen. Sen avulla saatu aurinkolämpö siirretään lämmitysjärjestelmään tai lämpövarastoon. Kerätyn energian määrä riippuu kerääjien pinta-alasta, eli pinta-alan tulee olla suhteessa lämmöntarpeeseen.

8.2.2 Kerääjän hyötysuhde

Lämpöteknisistä ominaisuuksista tärkein on hyötysuhde. Kerääjän osalta se



määritellään talteen saadun lämmön osuutena keräajaan osuneeseen säteilylämpöön.

Kuva 10. Kerääjän lämpötaseeseen vaikuttavat tekijät.

Kerääjän lämpötaseeksi saadaan kuvan 10 merkinnöin

$$C''(T_2 - T_1) = \alpha \tau I - k_L(T_a - T_u) \quad (1)$$

Missä T_1 on kerääjään menevän nesteen lämpötila,

T_2 on kerääjästä palaavan nesteen lämpötila,

α on keräyspinnan absorbtiosuhde,

τ on kerääjän katteen läpäisysuhde,

I on auringonsäteilyn intensiteetti,

k_L on kerääjän katteen lämmönläpäisykerroin,

T_u on ulkoilman lämpötila,

T_a on absorbtioipinnan keskilämpötila

Lämpökapasiteettivirta C'' saadaan nestevirrasta, sen lämpökapasiteetista c_p ja kerääjän pinta-alasta A

$$C'' = C/A = \rho c_p q_v /A \quad (2)$$

Yleensä kerääjän pintalämpötilaa T_a tunneta ja se korvataan T_1 :llä. Näin tehtävä virhe korjataan kertoimella F_R

$$C'' (T_2 - T_1) = F_R [\alpha \tau I - k_L (T_1 - T_u)] \quad (3)$$

Keräyshyötysuhde η saadaan jakamalla talteen saatu lämpö kokonaissäteilyteholla
/12/

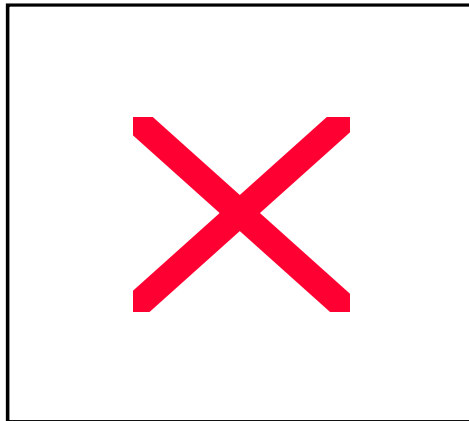
$$\eta = \frac{F_R \alpha \tau - F_R k_L (T_1 - T_u)}{I} \quad (4)$$

Kylmissä oloissa hyötysuhdetta huonontaa suuri lämpötilaero ($T_1 - T_u$) ja pieni säteilyintensiteetti I . Muut tekijät riippuvat yksistään kerääjän ominaisuuksista.

8.2.3 Käyttöveden lämmitys

Tasokerääjän hyötysuhteen yhtälöstä (4) nähdään, että keräyshyötysuhde on parhaimmillaan silloin, kun suhde $(T_1 - T_2) / I$ on pienimmillään. Paras käytötapa on sellainen, jossa kerääjään tulevan nesteen lämpötila on alhainen. Siksi taloudellisimmat aktiiviset aurinkolämmityssovellukset ovat lämpimän käyttöveden lämmityksessä. Suomessa ne toimivat hyvin kesällä, kun ulkolämpötila T_u on korkea ja säteilyintensiteetti korkea. /12/

Yksinkertaisin käyttöveden lämmitysjärjestelmä on ns. termosifoni. Järjestelmässä on kerääjä ja varaaja sekä ne yhdistävä putkisto. Kierto tapahtuu painovoimaisesti. Kerääjästä lämmennyt vesi kiertää varaajaan, josta se johdetaan käyttöpisteisiin. Lisälämpö tuodaan suoraan varaajaan. Järjestelmä ei tarvitse apuenergiaa.



Kuva 11. Käyttöveden lämmitykseen soveltuva painovoimaiseen kiertoon perustuva järjestelmä ns. termosifoni.

8.3 Lämpöpumpuista

Lämpöpumpulla, samoin kuin aurinkokerääjillä, hyödynnetään ns. ilmaisenergioita. Lämpöpumpun käytön edellytys on sopiva lämmönlähde. Muita edellytyksiä ovat kohtuulliset perustamiskustannukset ja sähköenergian kohtuullinen hinta. Sähköä tarvitaan apulaitteiden, kompressorin, lauhtuttimen ja höyrystimen käyttöön.

Lämpöpumpun lämmönlähteitä voivat olla:

- ulko- tai poistoilma
- maaperä
- auringon säteily
- teollisuuden tai yhdyskuntien jätevedet
- vesistöt

Vesistöillä lämpövarastona saattaa olla meillä hyvät edellytykset. Veden lämpötila on korkea lämmityskautena verrattuna ulkoilman lämpötilaan. Näin on mahdollista saavuttaa korkea lämpökerroin. Vesistölämpöpumppujen käyttö saattaa olla paikallisesti harkittava ratkaisu. Taloudellisuus paranee, jos alueella on käytettävissä lauhdutusvoimalaitoksen kaukolämpöä lämmönlähteen lämpötilan kohottamiseen, mikä voi olla tarpeen jo höyrytimen jäätymisvaaran takia.

Hyviä lämmönlähteitä ovat jätevesien puhdistusaltaat. Höyrystin voi olla puhdistusaltaissa tai puhdistettu jätevesi kierrätetään höyrytimen läpi. Lämpö käytetään ensisijaisesti puhdistamon ja siihen liittyvien tilojen lämmittämiseen, mutta aluelämpökäyttönä sitä voidaan johtaa läheiselle asuntoalueelle.

Käyttökohteita

Lämmön hyödyntämisen edellytyksenä on tarpeeksi korkea lämpötilataso, mikä riippuu sovelluskohteesta ja lämmitystavasta. Lämpöpumpun käyttö on sitä edullisempaa, mitä alhaisempaa lämpötilatasoa voidaan hyödyntää. Esimerkiksi:

- ilmalämmitys 20 – 40 °C
- lattialämmitys 20 – 30 °C
- patterilämmitys 40 – 80 °C
- kaukolämmitys 70 – 130 °C /12/

8.3.1 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppujärjestelmään kuuluu kompressori, poistoilmavirtaan sijoitettu höyrystin ja lämmön käyttökohteeseen sijoitettu lauhdutin. Lauhduttimesta lämpö voidaan siirtää suoraan lämmitys- tai käyttövesipiiriin.

Lämpöpumpun avulla saadaan lämpötila nostetuksi lauhduttimessa yli 40 °C. Silloin poistoilmasta talteenotettua lämpöä voidaan käyttää myös muuhun kuin ilmanvaihtoilman lämmitykseen. Edullisin lämmön käyttökohde on se, jonka lämpötila on alhaisin. Se riippuu lämmitysverkon mitoituksesta ja lämmitystehon tarpeesta.

Pientaloissa poistoilmalämpöpumppu voidaan yhdistää myös rakennuksen ilmalämmitysjärjestelmään ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen. Siinä poistoilmasta talteenotetulla lämmöllä lämmitetään ilmalämmitteisen talon tuloilmaa.

Omakotitaloissa poistoilmalämpöpumpuilla voidaan saada 45 % säästö verrattuna vain päälämmitysjärjestelmän käyttöön. /12/. Juuri tässä on se etu. Lämpöpumpun lauhdutinlämpö toimii pienentämässä jonkun perinteisen lämmitysjärjestelmän kuormitusta. Lisälämmitys voi olla kaukolämpö, sähkö-, öljy- tai puulämmitys.

Poistoilmalämpöpumpun lämpökerrointa voidaan parantaa, jos lämmin käyttövesi kiertää suoraan lauhduttimessa ja se varastoidaan kahteen rinnan kytkettyyn varaajaan. Lämpökerroin saadaan jopa 4:ään. Poistoilmalämpöpumppu soveltuu hyvin, kun rakennuksessa ei ole koneellista tuloilmanottoa.

8.3.2 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppu ottaa energiaa maasta matalasta lämpötilasta, kuumentaa sillä järjestelmän väliainetta, joka siirtää energian vesivaraajaan. Maalämpöpumpun lämpökerroin on noin 3. Eli pumppu ottaa sähköenergiaa käyttövoimakseen yhden yksikön ja luovuttaa kolme yksikköä lämpöä talon lämmitykseen ja lämpimän veden tuottoon.

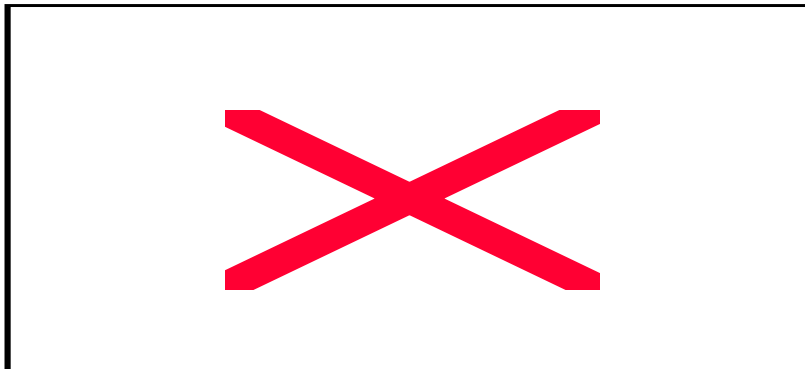
Vähemmän energiaa kuluttavan pientalon maalämpöpumpuksi riittää 7 – 9 kW:n tehoinen pumppu. Lämmönkeruuputkistoa tarvitaan noin 400 metriä, 40 mm:n halkaisijaista muoviputkea, joka sijoitetaan maahan. Toinen mahdollisuus on noin 150 m syvä kallioon porattu, halkaisijaltaan 150 mm:n reikä. Lämpöä siirtävä liuos on jäätymätöntä vesi-glycoliseosta, joka kiertää höyrystimessä.

Lämmönlähteenä oleva maaperä ehtii lämmetä kesän aikana takaisin normaaliin lämpötilaan, kun sen lämpötilaa alennetaan lämmityskautena. Mitä enemmän putkesta otetaan tehoa sitä enemmän maan lämpötila laskee.

Maalämpöpumppu on edullisimmillaan suurten pientalojen lämmönlähteenä. Lämpöpumppujärjestelmän hankintahinta putkistoineen ja lämpimän veden varaajineen on korkea, 40 000 – 50 000 mk. Maan ”ilmaisenergiaa” on kyettävä käyttämään paljon, jotta kallis alkukustannus tulee kuoleetuksi. Lämpöpumppu toimii tehokkaimmillaan, kun se tuottaa lämpöä matalalämpöiseen (+25 °C) lattialämmitykseen eikä joudu nostamaan lämpötilaa käyttöveden lämpötilatasolle (+55 °C).

8.3.3 Lämpöpumppu aurinkolämmityksessä

Aurinkokerääjästä saatavan energian määrää voidaan lisätä kytkemällä mukaan lämpöpumppu. Saatava hyöty on suurempi suurella kerääjällä. Parhaimmillaan aurinkolämmitykseen kytketyllä lämpöpumpulla saadaan hyödynnetyksi kaksi kertaa enemmän auringon energiaa kuin pelkästään nestekerääjäjärjestelmällä. /12/

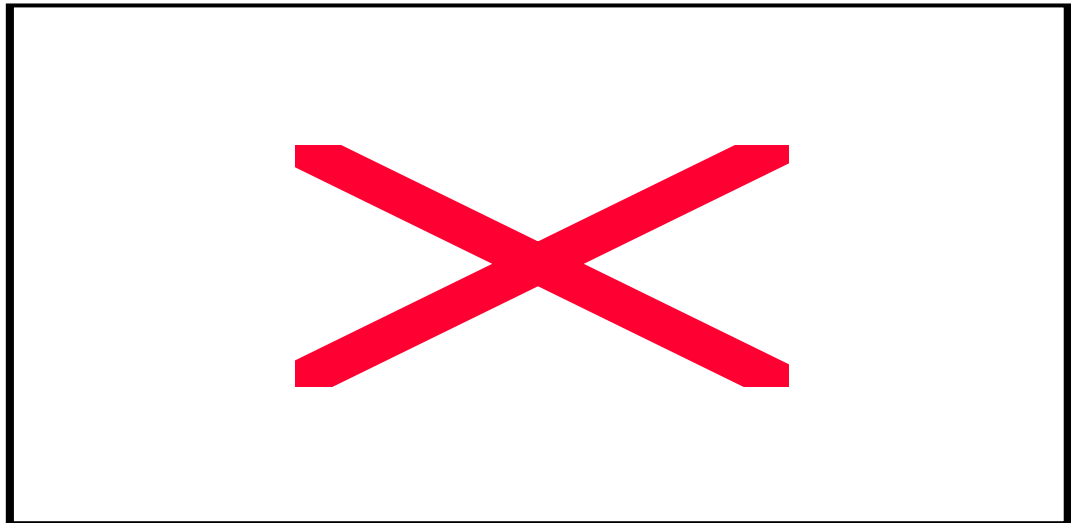


Kuva 12. Maaperää ja aurinkoa lämmönlähteenä käyttävän pientalon lämpöpumpulaitoksen kytkentäesimerkki. 1. Kerääjä, 2. Glykolivaraaja, 3. Muovikenko, 4. Lämpöpumppu, 5. Vesivaraaja, jossa on sähkövastus, 6. Lämmönsiirrin (tuloilman lämmitys), 7. Lämmönsiirrin (raitisilman lämmitys), 8. Lämmönsiirrin (käyttöveden lämmitys)

Kerääjästä saatavaa hyötyenergiaa lisää se, jos lämmönsiirtoaineen lämpötila voidaan pitää kerääjässä alhaisena. Kuvassa 12 on järjestelmä, jossa lämpöpumppu on kytketty kahden varaajan väliin. Lämpöpumpun lämmönlähde on matalassa lämpötilassa oleva glykolivaraaja, josta lämpö siirretään korkeassa lämpötilassa olevaan vesivaraajaan. Vesivaraajassa on lisäksi sähkövastus, jolla tuotetaan lämmitysenergiaa silloin, kun kerääjän tuotto ei riitä. Kerääjästä saatava energia voidaan viedä joko glykolivaraajaan tai vesivaraajaan tarpeen mukaan. Eli tämäkin systeemi vaatii lisäenergiaa. Laiteinvestointi on kallis ja monimutkainen kaksine varaajineen.

Toinen aurinkolämmön ja lämpöpumpun yhdistelmä on kahden kerääjän käyttö maalämpöpumpun järjestelmässä. Isompi kerääjä syöttää energiaa suoraan vesivaraajaan. Höyrystinpuolen kerääjä syöttää energiaa sekä höyrystimeen että maahan. Näin saadaan nousemaan höyrystimeen tulevan nesteen lämpötila.

Höyrystinpuolen kerääjä voi olla rakenteeltaan pelkistetty, koska se toimii matalassa lämpötilassa.



Kuva 13. Aurinkokeräämien yhdistäminen maalämpöpumppujärjestelmään.

1. Keräjä, 2. Vesivaraaja, jossa on sähkövastus, 3. Lämpöpumppu, 4. Höyrystinpuolen kerääjä, 5. Maaputkisto, 6. Lämmönsiirrin (tuloilman lämmitys), 7. Lämmönsiirrin (raitisilman lämmitys), 8. lämmönsiirrin (käyttöveden lämmitys)

Tämä järjestelmä on parempi kuin edellinen. Sähkövastusta ei tarvita vesivaraajaan, jos maaputkistoa varataan määrä, jolla saadaan tarvittava lämmitysteho lämpöpumpulle. Onko järjestelmä aurinkolämpöä hyödyntävä maalämpöpumppulämmitys vaiko maalämpöä hyödyntävä aurinkolämmitys, riippuu siitä kumpaa painotetaan.

8.3.4 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumppu ottaa ulkoilmasta lämmön ja kierrättää sen sisäyksikön kautta huoneilmaan. Ulkolämpötilan laskiessa laskee myös höyrystymislämpötila. Samalla lämpöpumpun teho ja lämpökerroin pienenevät. Kompressori ei pysty puristamaan lämpöä alle -10 °C lämpötilasta eikä lämpöpumpulle tule töitä. Ilmalämpöpumppu tarvitsee aina lisälämmitysjärjestelmän, joka pitää mitoittaa täydelle tehelle.

Ilmalämpöpumppu on silti tulevaisuutta, sillä sen hyödynnettäviä lämpötiloja on suurin osa lämmityskaudesta.

8.4 Valoa läpäisevät eristeet

Valoa läpäisevien eristeiden toimintaperiaatteena on päästää osa auringon säteilystä lävitseen rakenteen sisempiin kerroksiin tai jossain tapauksissa suoraan huonetilaan. Valoa läpäisevä eristekerros asennetaan massiivisen rakenteen ulkopintaan, jolloin rakenteeseen absorboitunut auringon säteilyenergia kohottaa rakenteen lämpötilaa. Näin rakenteen johtumislämpöhäviöt ulospäin pienenevät tai lämpövirran suunta muuttuu rakenteesta huonetilaan päin. /6/, /13/

Massiivirakenteen vuotuiset johtumislämpöhäviöt voidaan pienentää noin puoleen verrattuna vastaavan k-arvon tavanomaiseen seinään, jos käytetään valoa läpäiseviä eristeitä. /13/. Hyödyksi lämpöä saadaan helmi- lokakuun välisenä aikana, marras-tammikuun ajan lämpöhäviöt eivät juuri pienene vähäisen auringon säteilyn vuoksi. Valoa läpäisevillä sovellutuksilla ei voida alentaa lämmityksen huipputehon tarvetta sen paremmin kuin muillakaan vastaavilla lisäeristyksillä, joilla on samansuuruinen lämmönjohtumisluku.

8.4.1 Ylilämpenemisen torjunta

Lämpövirta rakenteen läpi sisätilaan on kesäkautena liian voimakas, jos valoa läpäisevää rakennetta ei varjosteta. Vaarana on huonetilojen ylilämpeneminen. Materiaalikerrosten lämpötilat voivat hetkellisesti nousta yli 100 °C, joten materiaalien vaurioituminen on mahdollista. Jos seinärakenteessa on lisäksi tavanomainen lämpöeriste ja k-arvovaatimus täyttyy jo sillä, vaimenee lämpövirran

tulo massiivirakenteeseen ja paikalliset lämpötilat voivat kohota paljon massiivirakennetta korkeammaksi. Valoa läpäisevän eristeen poisto kesäksi voisi olla toinen ratkaisu yllämpenemisen ongelman, jos aktiivista siirtosysteemiä ei ole. Se olisi ainakin periaatteessa mahdollista, sillä valoa läpäisevä eriste on rakenteessa uloin pinta.

8.4.2 Valoa läpäisevän eristeen lämmönjohtumisluku

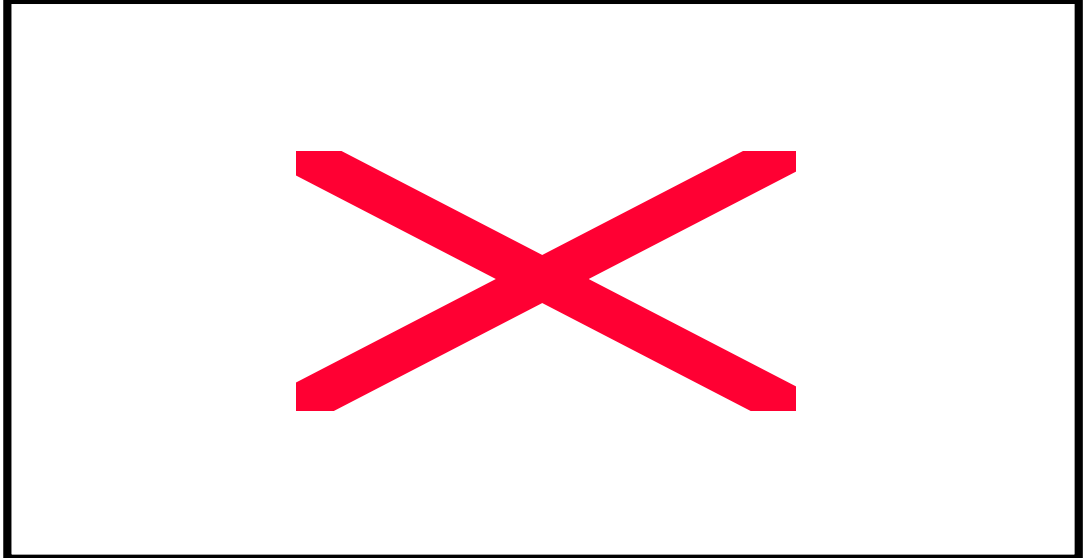
Valoa läpäisevien eristeiden lämmönjohtumisluku on tavanomaisia eristeitä huomattavasti suurempi. Tyypillinen $\lambda = 0,11 \text{ W/Km}$, kun se normaalilla eristeellä on, $\lambda = 0,041 \text{ W/Km}$. Laskennassa yleensä kivi- ja lasivilloille käytetään $\lambda = 0,045$.

Ulkoseinän massaan varastoituneen aurinkoenergian lämpöhäviöt valoa läpäisevän kerroksen läpi ovat siten suuret, joten auringosta saatava hyöty jää pienemmäksi kuin säteilyn läpäisyominaisuuksien perusteella voisi päätellä. /6/

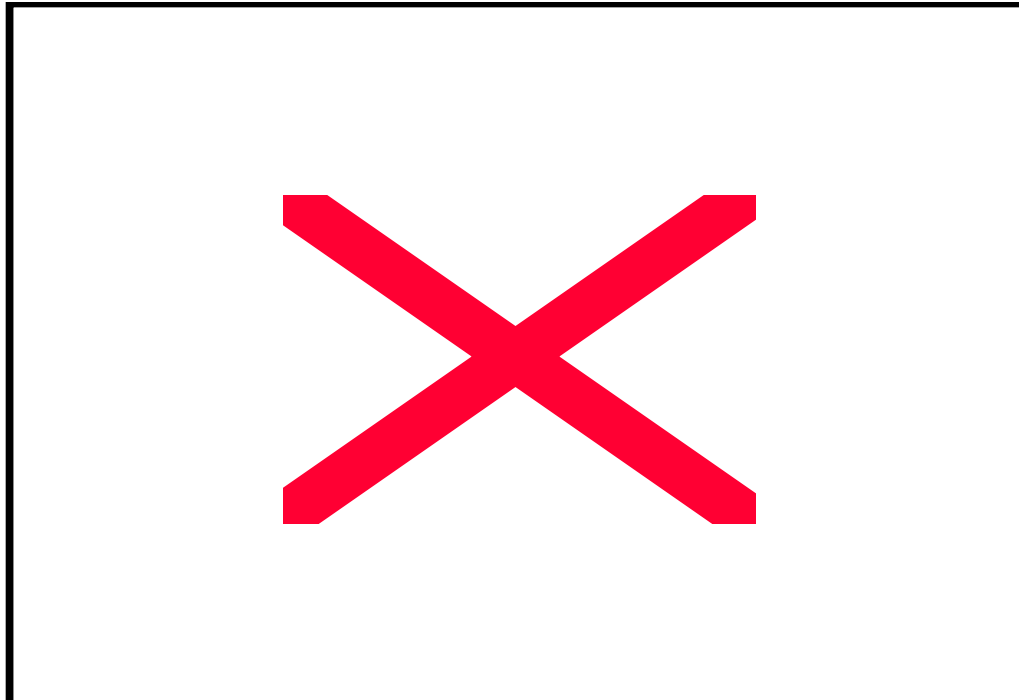
8.4.3 Säteilylämpöä siirtävä seinärakenne

Auringon säteilyä voidaan käyttää myös korvausilman lämmittämiseen. Rakenteen etuna on mm. se, että tulevan korvausilman sisältämä yllämpö on kesäkautena siirrettävissä rakennuksen muiden osien hyödyksi helpommin kuin passiivisessa keräyssysteemissä.

Kuva 14 esittää edm. ratkaisua. Valoa läpäisevänä eristeenä on 100 mm paksu kapillaarieriste, jonka takana on 50 mm paksu ulkoilmaan avoin ilmarako. Raosta ilma johdetaan tasaisesti jakautuneena 160 mm paksun lämmöneristekerroksen läpi sisään vakiotilavuusvirralla $0,5 \text{ l/sm}^2$. Kuvassa 15 esitetään laskennan antamat lämpömäärät rakenteen läpi kuukausittain. /13/



Kuva 14. Laskennallisesti tarkasteltu, yhdistetty valoa läpäisevä eriste ja "dynaaminen" lämmöneristerakenne. /13/



Kuva 15. Ohjelmalla TCCC2D lasketut kuukausittaiset ja vuotuiset johtumis- ja ilmanvaihdon lämpöhäviöt ja lämpömäärät huonetilaan valoa läpäisevän eristeiden ja integroidun rakenteen sovelluksessa. Rakenne on suunnattu etelää kohti. /11/

Vertailutilanteessa ulkopinta oli valoa läpäisemätön eikä korvausilman ja rakenteen välillä ollut lämmönsiirtoa eli vertailurakenne oli normaali seinärakenne. Seinän pinta-alaa kohti lasketut vuotuiset johtumislämpöhäviöt olivat $15,9 \text{ kWh/m}^2$ ja ilmanvaihdon häviöt $91,6 \text{ kWh/m}^2$. Vastaavat lämpömäärät huonetilaan päin olivat $1,6 \text{ kWh/m}^2$ ja $0,4 \text{ kWh/m}^2$.

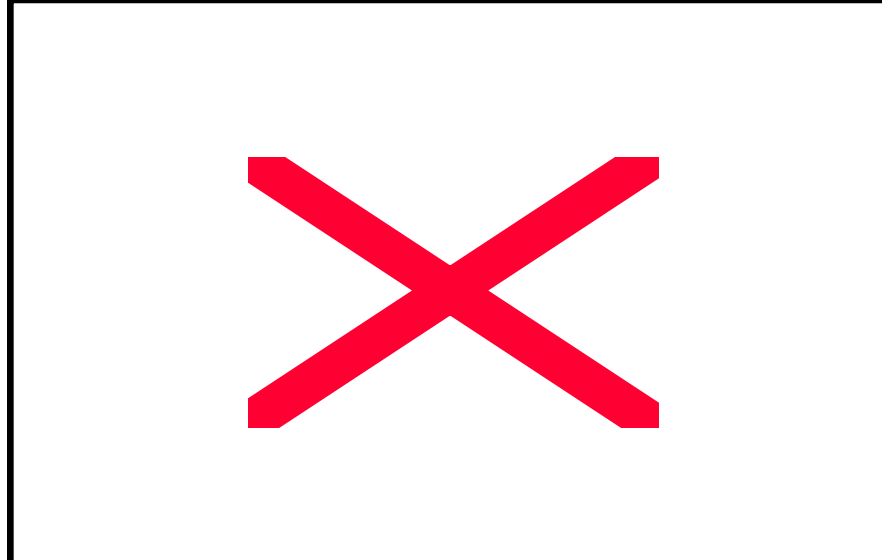
Kuvassa 15 esitetään kuukausittaiset johtumis- ja korvausilman lämpömäärät etelään suunnatun valoa läpäisevän ja lämpöä siirtävän rakenteen tapauksessa. Valoa läpäisevän ja lämpöä siirtävän tapauksen vuotuiset kokonaislämpöhäviöt pienenevät arvoon $64,6 \text{ kWh/m}^2$ (vähennystä 40 % vertailutilanteeseen) ja lämpömäärät huonetilaan kasvoivat arvoon $52,4 \text{ kWh/m}^2$. /13/

8.4.4 Rakennuksen lämmöntarve ja aurinkoenergian saatavuus

Auringon hetkelliset säteilyintensiteetit ovat suuria verrattuna rakenteen lämpöhäviöihin ja huonetilojen lämmöntarpeeseen. Passiivisissa ratkaisuisa ylimääräinen lämpö jää paikallisesti lähinnä vain eteläpuoleisten huonetilojen hyödyksi. Lämmöntarve auringon säteilyjakson aikana on suurin rakennuksen pohjoispuolen huonetiloissa, mutta aurinkoenergian hyödyntämismahdollisuudet siellä ovat olemattomat ellei eteläsivuilta kerättyä energiaa voida siirtää pohjoissivuille. /6/

Kuva 16 esittää TRSYS-ohjelmalla laskettuja hyvin eristetyin pientalon pohjois- ja eteläjulkisivun puoleisten huonetilojen lämmitysenergiatarpeiden vaihteluita erään helmikuun viikon aikana. Laskelman tapauksessa ei ole käytetty valoa läpäiseviä eristeitä, mutta suurin osa ikkunoista on suunnattu etelään ja länteen. Eli laskennan tapaus on varsin tyyppillinen nykyrakentamisen seinä. Kuvasta nähdään, että

ikkunoiden kautta tuleva auringon säteily pienensi etelävyöhykkeen lämmöntarvetta huomattavasti ja että etelävyöhykkeen lämmöntarve on suuresti vaihtelevaa säteilyn



intensiteetistä riippuen.

Kuva 16. Esimerkkipientalolle lattiapinta-alaa kohti lasketut pohjois- ja eteläpuolen huonetilojen lämmöntarpeet. Laskelmissa oli säätietoina erään helmikuun viikon päivien mittausarvot. /6/

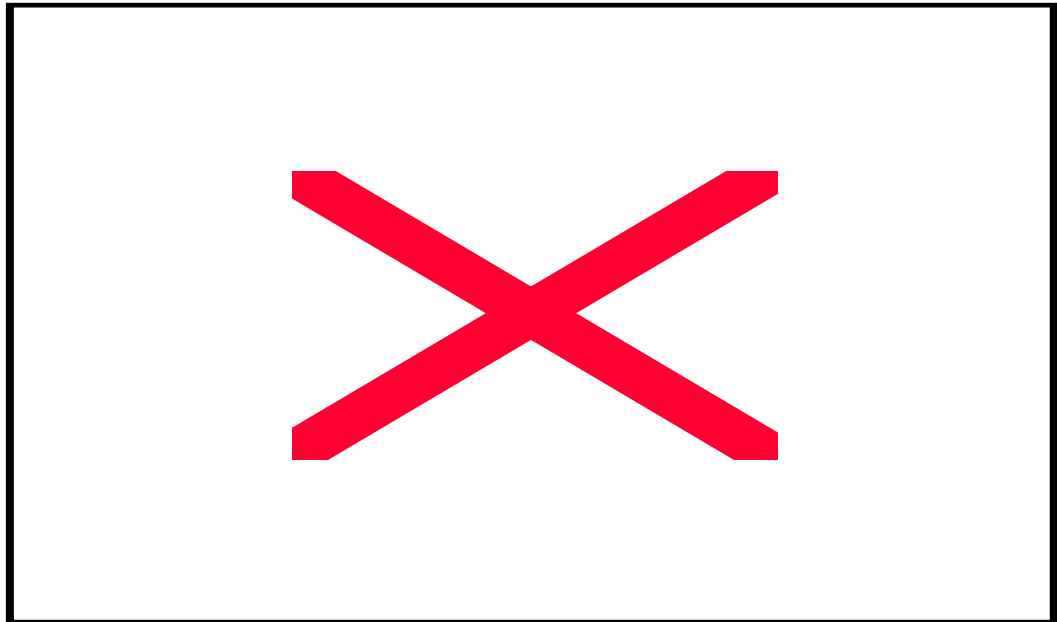
Auringon säteily ei juurikaan vaikuttanut pohjoispuolen vyöhykkeen lämmöntarpeeseen, mikä oli paljon suurempi kuin eteläpuolella. Jakson lämmitysenergian tarve oli pohjoisvyöhykkeellä 25 % suurempi kuin etelävyöhykkeellä (3,5 ja 2,8 kWh/m²). Suurin hetkellinen lämmöntarve jakson aikana oli noin 28 W/m² ja suurin hetkellinen lämmöntarpeiden ero 15 W/m².

Jos esimerkkirakennuksessa olisi käytetty valoa läpäiseviä eristeitä, olisi lämmöntarpeen ero etelä- ja pohjoisvyöhykkeen välillä ollut vielä suurempi. Ongelmana aurinkoenergian hyödyntämisessä valoa läpäisevillä eristeillä on saatavan energian hetkellisyys ja paikallisuus.

8.4.5 Omavoimaisen ilmankiertojärjestelmän toimintaperiaate

Periaatteellinen ratkaisu aurinkoenergian hetkellisyyteen ja paikallisuuteen on energian siirtäminen lämmöntarpeen mukaan rakennuksen eri vyöhykkeille ja sen varastoiminen päivätasolla.

Ratkaisuina paikallisten lämmöntarpeiden ja –tuottojen yhteensovittamiselle ovat aktiivisemmat ratkaisut, joissa ylimääräinen lämpö siirretään ja varastoidaan rakennuksen sisäosiin, esimerkiksi pohjoispuolen huonetilojen rakenteisiin. Kun varastoivasta massasta ei ole suoraa yhteyttä ulos, voidaan kerääjäeristeeltä saatu lämpö käyttää häviöttömästi huonetilojen lämmittämiseen.



Kuva 17. Periaatekuva omavoimaisesta, ilmakiertoisesta aurinkoenergian kerääjäjärjestelmästä. Etelän puoleiseen kerääjäseinään tuleva auringon säteily lämmittää kerääjärakenteen ja aiheuttaa ilmakierron suljetussa kanavistossa. Vaakakanavat ovat eristetyt ja ilman takaisinvirtaus on estetty lämpötilaohjatuilla pelleillä. /6/

8.4.5.1 Laskennallinen tarkastelu

Yllä olevan kuvan tarkastelussa kerääjäseinä oli etelään suunnattu pystyseinä ja varaajakerros oli rakennuksen sisäosaan sijoitettu kaksinkertainen kevyt-betoniseinä, jonka sisällä oli pystysuora ilmakehä. Seinien korkeus oli 2,5 m ja kanaviston kokonaispituus 20 m, halkaisija 50 mm. Tarkastelujakso oli erään helmikuun viikko. Aikaväli oli aurinkoinen mutta kylmä, ulko-lämpötila keskimäärin $-19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

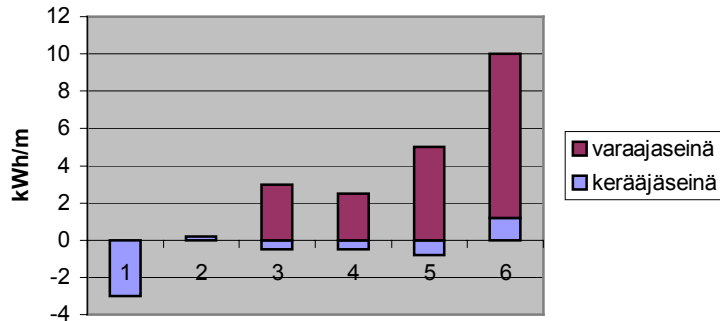
Tarkasteluun otettiin kuusi eri seinärakennetta yhden viikon aikana (taulukko 4). Kerääjäseinien ja vertailuseinän k-arvo oli sama, noin $0,20\text{ W/Km}^2$ kaikissa muissa paitsi tapauksessa 6, jossa valoa läpäisevää eristettä oli 100mm muiden 50 mm sijaan. Kerääjäseiniä ja huonetilan sisäeristystä välissä oli 150 mm mineraalivillaeristettä. Vertailuseinässä oli vastaavasti paksumpi kerros mineraalivillaa, jotta sama k-arvo saavutettiin ilman valoa läpäisevää eristettä. Valoa läpäisevänä eristeenä käytettiin kapillaarista eristettä (AREL), jonka lämmönjohtumisluku oli noin $\lambda = 0,11\text{ W/Km}$.

Taulukko 4. Laskelmissa tarkastellut tapaukset. Vertailuseinässä auringon säteilyn läpäisevyys τ asetettiin nollassi.

Tapaus	TIM D [mm]	Absorbtiokerros, betonitasoite, d [mm]	Varaajakerros kevytbet. , d [mm]
1	$\tau = 0$	-	-
2	50	25	-
3	50	25	2 x 75
4	50	25	2 x 150
5	50	10	2 x 75
6	100	25	2 x 75

- 1 Valoa läpäisemätön vertailuseinä
- 2 Valoa läpäisevä eriste, passiivinen seinä

Lämmön tuotot ja häviöt viikossa



Kaavio 3. Kerääjäjärjestelmälle ($h = 2,5$ m) seinän leveysmetriä kohti lasketut viikon jakson lämpötuotot ja -häviöt. Kerääjäseinän ja varastointirakenteen (varaajaseinän) lämpömäärät. Häviöt olivat mahdollisia vain kerääjäseinän kautta. /6/

Lämpöhäviöt tavanomaisen vertailuseinän kautta olivat viikon tarkastelujakson aikana noin 3 kWh/m. (1). Kun saman k-arvon rakenteessa oli 50 mm:n valoa läpäisevä kerros, pieneni kerääjäseinän lämmöntarve noin nollaan. (2)

Ilmankiortoratkaisuissa (3 – 6) osa kerääjälle tulevasta auringon energiasta siirrettiin konvektion avulla rakennuksen sisäosiin. Tällöin kerääjäseinä oli passiivirakennetta alhaisemmassa lämpötilassa, jolloin lämpöhäviöt kerääjäseinän läpi kasvoivat hieman, esimerkkitapauksissa (3 – 5) 0,3 – 0,7 kWh/m. Samalla konvektiovirrat varaajarakenteeseen ja edelleen huonetilaan kasvoivat 2,5 – 5 kWh/m, tapauksessa 6 jopa arvoon 8,8 kWh/m.

Huomataan myös, että ohuempi absorptiopinnan massa aiheuttaa nopeamman lämpötilan nousun kiertoilmassa ja näin lämmönsiirto kerääjästä varaajaan tehostuu, (tapaukset 5/3). Valoa läpäisevän kerroksen kasvattaminen 50:stä 100 mm:iin parantaa systeemin tehokkuutta. Lämmöntuotto kasvoi 3:sta 10 kWh/m, (6/3).

Varaajaseinän paksuntaminen 75:stä 150 mm:iin pienensi lämmön tuottoa vähän. Paksumpi kevytbetoniseinä toimii eristeenä huonetilaan päin, jolloin kanaviston viereisten kerrosten lämpötila nousee ja järjestelmän hyötysuhde hieman laskee. Toisaalta massiivisemmalla varaajaseinällä lämmöntuotto huonetilaan jakautuu tasaisemmin ja pidemmällä jaksolla ja kerääjäosan lämpöhäviö on pieni (4/3). Tärkeää varastojaseinän paksuuden optimoimisessa on yrittää ennakoida huonetilaan tulevan lämmön viiveet.

9 LÄMMÖNERISTÄMISEN KANNATTAVUUS

9.1 Lämmöneristeen toiminta

Lämmöneristeen kyky estää lämmön siirtymistä sen läpi perustuu eristeen sisältämän ilmamäärän paikallaan pysymiseen. Eristeessä liikkumaton ilma eristää lämpöä hyvin, sen lämmönjohtumisluku $\lambda = 0,02 \text{ W/Km}$. Lämmöneristysmateriaalissa kuidut ja suljetut huokokset pitävät eristeessä olevan ilman paikallaan niin, ettei lämpöä siirry kuljettumalla liikkuvan ilman mukana lämmöneristeen läpi.

Lämpöenergiaa siirtyy lämmöneristeessä lisäksi johtumalla eristemateriaalia pitkin. Mitä tiheämpi eriste on, sitä enemmän lämpöenergiaa siirtyy johtumalla eristemateriaalin läpi, mutta vastaavasti konvektio ilmanvirtausten mukana on vähäisempää. Näin on löydetty eristeen tiheydelle optimaalinen alue, jolla lämmön kokonaissiirtyminen eristeen läpi saadaan kaikkein pienimmäksi. Tavallisten ilmaa sisältävien teollisesti tuotettujen lämpöeristeiden $\lambda = 0,037 - 0,045 \text{ W/Km}$. Merkittävää lämmönsiirtymistä säteilemällä eristeen läpi tapahtuu vain tiheydeltään pienillä (harvoilla) eristeillä.

Vielä parempia eristeitä saadaan, kun ilma korvataan kevyillä kaasuilla. Tähän perustuu esimerkiksi polyuretaanin paremmuus, jonka lämmönjohtumisluku $\lambda = 0,022 - 0,029 \text{ W/Km}$. Kevyet kaasut eivät ikuisesti pysy eristeessä vaan karkaavat ja korvautuvat ilmalla. Niinpä vanhan uretaanin lämmönjohtumisluku on polystyreenin luokkaa.

9.2 Hirsiseinän mahdollisuus tulevaisuuden seinärakenteena

Massiivinen hirsi toimii sekä runkorakenteena että lämpöeristeenä. Massiivisen hirsiseinän heikkous on puun heikohko lämmöneristävyys verrattuna lämmöneristeisiin. Puun ($\lambda = 0,15 \text{ W/Km}$) lämmönjohtumisluku on yli kolme kertaa eristeen, joten massiivipuu-ulkoseinän paksuus tulisi olla noin 50 cm jo nykyisen k-arvo vaatimuksen mukaisesti ($k = 0,28 \text{ W/ Km}^2$).

Massiivinen hirsiseinä on meille perinteinen, terveellinen ja hyväksi havaittu rakenne. Se toimii kosteusteknisesti oikein ja massiivisen puun lämmönvarastointi-kapasiteetti on suuri.

Paksujen hirsien saatavuus on heikkoa ja energianormien kiristyessä on kehitettävä korvaavuus, jolla k-arvo vaatimuksesta voidaan poiketa. Talviasuttavan rakennuksen massiivisen ulkoseinän k-arvo vaatimus voisi olla esimerkiksi $0,5 \text{ W/Km}^2$, mutta vastaavasti ylä- ja alapohja eristettäisiin paremmin kuin normien minimi, jolloin kokonaislämpöhäviö olisi sama kuin jos seinässä olisi normien mukainen eristys.

Käytännössä jo nyt (ehkä Lappiin rakennettuja kelotaloja lukuun ottamatta) massiivisesta hirrestä tehdyt talviasuttavat hirsitalot rakennetaan tällaista kompensatioperiaatetta noudattaen ohuemmista hirsistä, jolloin talo kuluttaa vain vähän enemmän lämmitysenergiaa kuin samankokoinen rankorakenteinen pientalo.

Massiivisen hirsiseinän lisäongelma on heikko ilmanpitävyys lukuisten vaakasaumojen, nurkkasalvosten, hirsien kutistumisen ja painumien takia. Ilmavuodot rakenteen läpi lisäävät seinän kautta tapahtuvaa lämpöhukkaa.

Jos hirsiseinästä halutaan tehdä lämpötaloudellisesti etevä, joudutaan se lämpöeristämään. Eristys voidaan toteuttaa joko sisä- tai ulkopuolisena lämmöneristyksenä. Tuolloin hirsipinta menetetään toiselta puolelta. Molemmat tavat eristää toimivat kosteusteknisesti, lämpötilajakauma seinässä on erilainen luonnollisestikin riippuen kummalla puolella eristys on.

9.3 Esimerkkiratkaisu lämmöneristämisen kannattavuudesta

Energiaa säästävien uudisrakennustalojen lisäksi myös vanhemman rakennuskannan lisälämmöneristäminen on yleensä taloudellisesti kannattavaa. Sekä uudisrakentamisessa että korjausrakentamisessa energiansäästöön sijoitettu raha tulee takaisin 5 – 12 vuodessa. /14,15/. Siitä eteenpäin lämmityskustannuksien vuosittainen erotus (normien minimitalaus/ energiaa säästävä rakentaminen) tuo säästön talon omistajan hyödyksi. Samalla saadaan parempi sisäilma ja rakennuksen jälleenmyyntiarvo paranee. Tällöin mennään rakennepaksuuksissa ohi tulevien energianormien, mutta se on selvästi tulevaisuutta.

9.3.1 Energiansäästön investoinnit

Rakentamisen lisäkustannuksia normien nykyiseen minimitasoon verrattuna aiheuttavat LTO:lla varustettu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, nykyistä

paksummat lämmöneristeet vaippapinnoissa ja energiaa vähemmän kuluttavat ikkunat ja ulko-ovet.

9.3.2 Rakentamiskustannussäästöt

Energiaa säästävän rakennuksen paremmassa iv-laitteistossa on ”liikaa” tavallisen talon koneellisen poistoilmanvaihdon osuus, sillä se on yleensä nykyäänkin ja uudisrakennukseen se tulisi joka tapauksessa. Lisäksi ikkunoiden alapuolelle ei tarvita lämmityspattereita. Korjausrakentamistapauksissa pitää arvioida, voidaanko lämmityspatterit vaihtaa pienempitehoisiin vaiko poistaa kokonaan. Lisäksi uudisrakentamisen osalta voivat liittymismaksut energiaa jakaviin verkkoihin pienentyä silloin, kun ne perustuvat lämmitysenergian mitoitus-tehoihin, esimerkiksi pääsulakekokoon sähkölämmityksessä.

Esimerkkilaskelma

n. 120 m² (ulkomitat 8,8 x 14,6) pientalon lisäeristys 150 kWh/m²... 50 kWh/m²

1. Kustannusten muutokset

- Lisäeristykset: Yläpohjaan 200 mm; (300... 500)

14,6 x 8,8 x 0,2 = 25,7 m³; 150 mk/m³ 3855 mk

Seiniin 120 mm; (150/175...270/295). Ikkunoita 0,15 x (8,8 x 14,6) m² = 19,3 m³

[3,5 x (2 x 14,6 + 2 x 8,8) – 20] x 0,12 = 17,3 m³; 200 mk/m³ 3460 mk

Alapohjaan 150 mm; (150... 300)

14,6 x 8,8 x 0,15 = 19,3 m³; 250 mk/m³ 4825 mk; Eristeet yht. *12 140* mk

Uudet ikkunat: k = 1,8 W/Km²... 0,9 W/Km²; yht. 20 m², hinta n. 500 mk/m²

10 000 mk

- Ilmanvaihtolämmitysjärjestelmä asennettuna *20 000* mk

- Lämmityspatterit jää pois -9 000 mk
 - Poistoilmanvaihto asennuksineen jää pois -3 000 mk
- Kustannusten muutokset yhteensä **30 140** mk

2. Lämmitysenergian säästö vuodessa

- Energian hinta; 0,35 mk/ kWh
- Kulutus pienenee; 150 kWh/m²v... 50 kWh/m²v
- Säästö; 120 m² x (150 – 50) x 0,35 = 4 200 mk/v

3. Takaisinmaksuaika 5 % korkotasolla, tasaisella vuosimaksulla (annuiteetti)

- Lisäkustannukset yhteensä 30 140 mk
- Säästö energiakuluissa 4 200 mk/v
- Takaisinmaksuaika n. **9,3** v

Taulukko 5. Takaisinmaksuaika, kun tiedetään rakentamisen lisäkustannukset ja lämmitysenergian tarpeen pienemisestä saatava vuotuinen säästö. /3/

Takaisinmaksuaika	Rakentamisen lisäkustannukset			
	15 000	20 000	25 000	30 000
5 vuotta	3465	4620	5775	6930
7 vuotta	2590	3455	4320	5185
10 vuotta	1950	2590	3250	3900
12 vuotta	1695	2255	2820	3385
15 vuotta	1445	1925	2410	2890

(korkotaso 5 %)

Laskennan heikkouksia

- Laitekustannukset ovat luonnollisestikin karkeita arvioita. On tehtävä aina omakohtainen laskenta, kun täsmälliset hinnat ovat tiedossa.
- työn lisääntyvä määrä (1 – 2 hlö,vrk) ei näy laskelmissa; tarkempi asennus
- rakenteiden ja laitteiden erimittaiset elinkaaret

- takaisinmaksuaikaan vaikuttava energian hinnan tuntematon kehitys
- mentäessä näin paksuihin eristekerroksiin seinissä ja alapohjissa, tulevat konvektiokatkot ja pieniemissiviteettikalvot, jotka monimutkaistavat rakenteita

Nämä seikat mukaan lukien voidaankin olettaa, että pelkistettyä laskentaa todellisempi takaisinmaksuaika ko. tapauksessa olisi 10 –12 vuoden väliltä.

Laskennan oletuksia

- alkuperäisessä tapauksessa on suora sähkölämmitys, lämminvesivaraaja käyttää yö sähköä, märissä tiloissa sähkökäyttöinen lattialämmitys
- parannetussa versiossa on suora sähkölämmitys ja poistoilmanvaihtolaitteet korvattu ilmanvaihtolämmityskoneella, jossa on lämmön talteenotto ja sähkölämmityspatteri

10 PIENTALON ELINKAAREN AIKAINEN ENERGIANKULUTUS

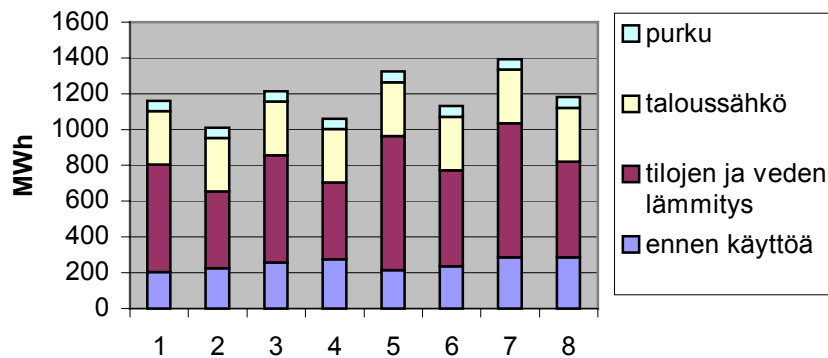
Pientalon elinkaaren pituutena voidaan pitää 50 vuotta, jonka aikana energiankulutus voidaan jakaa kolmeen pääryhmään:

1. Ennen käyttöä kuluvaan energiaan (rakentamiseen); materiaalien valmistus, kuljetukset, rakentamistapahtuman aikana kuluva energia.
2. Pientalon käytön aikana kuluvaan energiaan; lämmitysenergia, kotitaloussähkö, korjaukset ja huollot
3. Käytön jälkeen kuluvaan energiaan; purkaminen, jätteiden käsittely, kuljetukset

Pientalon (120 m²) vuotuinen kokonaisenergiankulutus nykynormien mukaisissa taloissa on noin 150 kWh/m² x 120 m² = 18,0 MWh. Tästä käyttöveden energiankulutus on 4,0 MWh ja taloussähkön 6,0 MWh, joten huonetilojen

lämmitysenergian osuus on noin 8,0 MWh. Tämä tekee $50 \times 8,0 = 400$ MWh lämmitysenergiaa koko elinkaaren aikana tilojen lämmittämiseen. Energianormien tiukennus on 30 % luokkaa, jolloin lämmitysenergiaan kuluu $50 \times 5,6$ MWh = 280 MWh ja käyttöveteen $3,0$ MWh $\times 50 = 150$ MWh elinkaaren aikana.

Pientalon elinkaaren energiankäyttö



Kaavio 4. **1** = puurunko, sähköl., nykynormit. **2** = puur., sähköl., uudet normit. **3** = tiilirunko, sähkölämm., nykynormit. **4** = tiilir., sähkölämm., uudet normit. **5** = puurunko, öljylämm., nykynormit. **6** = puur., öljylämm., uudet normit. **7** = tiilirunko, öljylämm., nykynormit. **8** = tiilir., öljylämm., uudet normit.

Käytetystä laskentamenetelmästä

Rakennuksen elinaikaiseen tilojen lämmitykseen kuluva energiantarve on laskettu energia-analyysohjelmalla TASE, joka on epästationääri monihuonemalli energiankulutuksen, tehontarpeen ja termisen sisäilman laskentaan. /16/. Huoneilman lämpötaseessa on huomioitu ilman lämpökapasiteetti, konvektiivinen lämmönsiirto pinnoista, sisäiset lämpötehot, auringon säteily ja ilmavirtaukset. Pintojen lämpöta-seissa on huomioitu epästationääri yksiulotteinen johtuminen, konvektio, pitkäaaltoinen säteily pintojen välillä ja pintoihin tuleva lyhytaaltoinen säteily. /19/.

Vuoden lämmitysenergiatarve on kerrottu pientalon elinkaaren pituudella, josta on saatu elinkaaren aikainen lämmitysenergian tarve. Pientalon käytön jälkeen kuluvaan energiaan ei ole huomioitu rakenteiden lämpöarvoja, materiaalien

uusiokäytöstä tulevaa energian säästöä eikä rakenteiden jäljellä olevaa käyttöikä, jos ne käytetään uudelleen.

10.1 Ennen käyttöä kuluva energia

Nykyisen rakentamiskäytännön mukaisesti eristetyn pientalon (120 m²) rakentamiseen kuluva energia suoran sähkölämmityksen puurunkoisessa talossa on 205 MWh ja vastaavasti sähkölämmitteisessä tiilirunkoisessa 258 MWh. Tulevien energianormien mukaisesti rakennetuissa vastaavasti rakentamiseen kuluvat energiat olisivat 225 MWh puurunkoisessa ja 275 MWh tiilirunkoisessa. Öljykeskuslämmitysjärjestelmän rakentaminen vaatii energiaa 9 – 10 MWh enemmän kuin sähkölämmitys molemmilla lämpöeristämisen tasoilla. /17,18/.

Rakentamisen aikaiseen energian kulutukseen vaikuttaa huomattavasti, miten perustukset tehdään eli millainen on maapohjan kantavuus. Ääritapauksina paalutus/ kiertävä anturaperustus. Rakentamisen aikaisesta energiankulutuksesta 13 – 25 % on perustusten ja niiden ulkopuolisten rakenteiden osuutta. Eli osuushaitari on suuri. Näihin töihin kuuluu perustusten lisäksi salaojat, routasuojaus ja sadevesi-putkitukset. Osuuden suuri marginaali tulee juuri perustamistavasta.

Rungon ja vesikaton osuus rakentamisen energiankulutuksesta on 12 – 18 %. Vaihteluväli tulee etupäässä eri vesikattoratkaisuista. Mitä painavampi kateaine halutaan, sen järeämpi on vesikaton kantava rakenne.

Ryhmään muu rakentamisen aikainen energiankulutus kuluu laaja joukko eri työvaiheita. Koneiden ja laitteiden kuluminen, työmaan ylläpitämisen energiankulutus, kuljetukset ja pientarvikkeet. On osuutena suuri, 25 – 30 %.

Jäljelle jäävä 27 – 50 % on vakio-osuutta. Se kulutetaan rakentamisessa joka tapauksessa, rakennetaan millä tavalla tahansa.

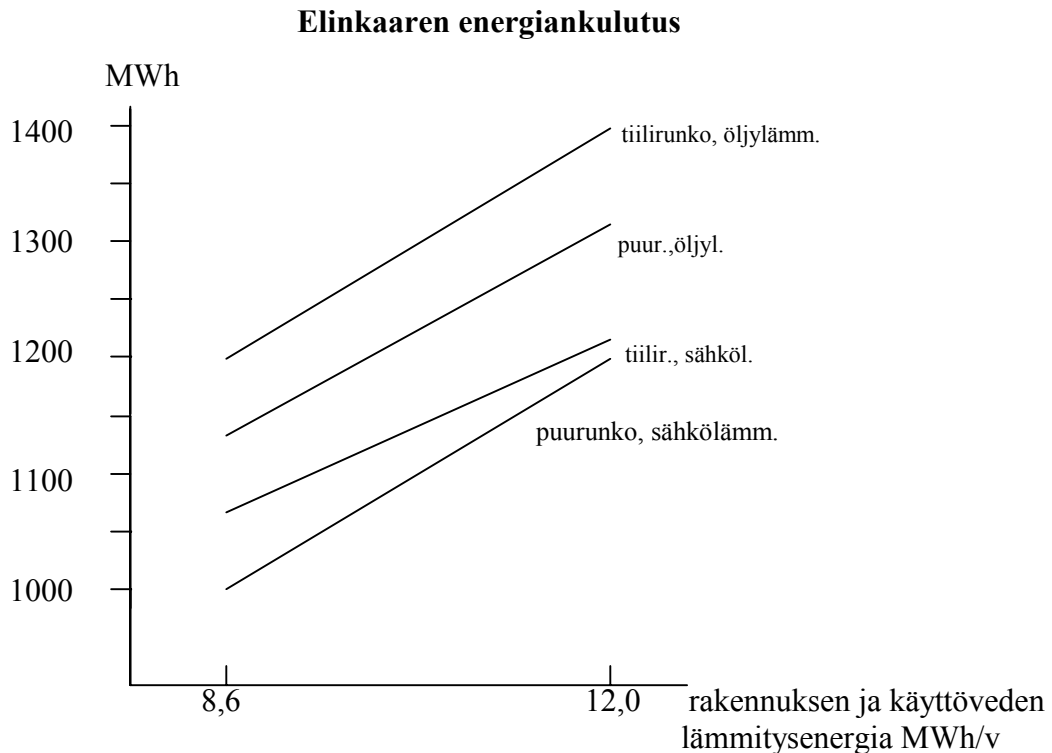
10.2 Käytön aikainen energiankulutus

Lämmöneristyksen perustasolla tarvitaan energiaa huoneiden lämmitykseen noin 8,0 MWh 120 m²:n omakotitalossa. Normimuutoksen jälkeisissä uudisrakennuksissa tarvitaan vastaavasti $0,7 \times 8,0 = 5,6$ MWh ja edelleenkin 6,0 MWh taloussähköön. Ennustaa sopii, että käyttöveden lämmitys tehostuu myös saman ≤ 30 % ostoenergian osalta paremman ilmaisenergioiden hyödyntämisen takia, joten ostoenergian osuus olisi $0,7 \times 4,0$ MWh $\approx 3,0$ MWh. Näin asumisen kulutus olisi yhteensä 18,0 MWh nykynormien mukaisissa ja $5,6 + 6 + 3 = 14,6$ MWh uusien normien mukaisesti rakennetuissa vuositasolla.

Pinta-alaperusteinen vähennys 30 % sisältää nyt myös ilmanvaihdon ja ikkunoiden pienemmät lämpöhäviöt umpiseinien lisäksi. Pientalojen korjauksiin kuluva energiamäärä on lähes sama näillä peruslämmitysmuodoilla. Se on sähkölämmitystaloilla noin 57 MWh ja öljylämmitteisillä noin 59 MWh koko elinkaaren aikana. /20/.

10.3 Käytön jälkeinen energia

Pientalon purkamiseen ja purkujätteen poiskuljetukseen kuluva energia on noin 4,8 MWh puurunkoisilla ja 7,3 MWh tiilirunkoisilla taloilla. /20/



Kuva 18. Lämmöneristystason parantamisen vaikutus elinkaaren aikaiseen energiankulutukseen. Suorien yläpäätt edustavat nykynormien mukaista energiankulutusta ja alapäätt tulevien normien mukaista.

11. ENERGIANKÄYTTÖSTÄ AIHEUTUVAT PÄÄSTÖT

Rakennusmateriaalien tuotannon ja rakentamisen sekä lämmityksen ympäristövaikutuksia tulee arvioida kasvihuoneilmiötä aiheuttavien ja happamoittavien päästöjen osalta. Varsinaisia kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi, metaani, typpioksiduuli (dityppioksididi), halogenoidut hiilivedyt, otsoni ja vesihöyry. Kaikki nämä kaasut absorboivat lämpösäteilyä hidastaen lämmön poistumista alailmakehästä avaruuteen.

Eri kaasujen kasvihuonevaikutusten määrittämiseksi on kehitetty arviointimalleja, joissa kaasujen vaikutus ilmaston lämpenemiseen voidaan laskea suhteellisena

lämpenemispotentiaalina hiilidioksidiin verrattuna (Global Warming Potential, GWP). Hallitusten välinen ilmastopaneeli, IPCC, on koonnut luettelon eri kaasujen ilmastoja lämmittävistä vaikutuksista verrattuna hiilidioksidiin. Rakennusten energiankäytössä tutkitaan vain hiilidioksidin osuutta, sillä muiden kaasujen osuus kasvihuoneilmiöön on häviävän pieni.

Happamoitumista aiheuttavat pääosin rikkidioksidi SO₂ ja typen oksidit NO_x. Päästöjen vaikutus happamoitumiseen (happamoitumispotentiaali, Acidification Potential, AP) voidaan ilmaista H⁺-ionien muodostumispotentiaalina (taulukko 6).
/20/

Päästöjen rehevöittävät ja mahdolliset myrkylliset vaikutukset jätetään tarkastelun ulkopuolelle rakennusten elinkaaren aikaisessa tarkastelussa. Myöskään hiukkaspäästöjä eikä mahdollisia päästöjen terveydellisiä vaikutuksia ei ole tässä tutkittu.

Yhdiste	Happamoitumispotentiaali AP
SO ₂	1,00
NO	1,07
NO ₂	0,70
NO _x	0,79
NH ₃	1,88
HCl	0,88
HF	1,60

Taulukko 6. Eri kaasujen happamoitumispotentiaalit rikkidioksidiin verrattuna /20/

11.1 Rakennusmateriaalien valmistuksen ja rakentamisen päästöt

Kun rakennusosien määrät tunnetaan ja rakennusmateriaalien ominaispäästöt on arvioitu, voidaan rakennuksen käyttöä edeltävät päästöt laskea eri lähteitä /21/ hyväksi käyttäen jollakin tarkkuudella. Näissä lähteissä päästöt ilmoitetaan materiaaleittain ominaispäästöinä, esim. gCO₂ (eq)/kg rakennusmateriaalia, josta kokonaispäästö lasketaan.

Rakentamisesta ja rakennusmateriaalien valmistuksesta tulee kasvihuonekaasupäästöjä hiilidioksiiniin mukautettuna puurunkoisessa sähkölämmitteisessä 120 m²:n omakotitalossa 33 – 36 tonnia, mikä on noin 6 – 8 % elinkaaren aikaisista päästöistä. Tiilirunkoisilla taloilla CO₂ –päästöt ovat 51 – 53 tonnia ja ovat myös osuutena suurempia elinkaaren kokonaispäästöistä. Rakentamisen tuottamat ilmaston lämpenemistä aiheuttavat päästöt kasvavat luonnollisestikin siirryttäessä nykynormien eristystasolta tulevaan noin 30 % energiaa säästävämpään rakentamiseen.

Happamoittavia päästöjä tulee rikkidioksiiniin suhteutettuna sähkölämmitteisessä 120 m²:n pientalossa rakentamisen nykynormitasolla 155 kg ja 30 % paremmalla eristystasolla 171 kg SO₂ eq. Vastaavasti tiilirunkoisessa talossa ovat happamoittavat päästöt 212 kg ja uusien normien tasolla 224 kg SO₂ eq. Jos sähkölämmityksen tilalle rakennetaan öljykeskuslämmitys, suurenevat CO₂ –päästöt molemmilla rungoilla noin 4 tonnia ja SO₂ –päästöt 13 kg.

11.2 Rakennuksen käytön aikaiset päästöt

Käytön aikaisiin päästöihin on huomioitu pientalon lämmityksen, lämpimän käyttöveden, taloussähkön ja rakenteiden korjausten aiheuttamat päästöt. Sähkön tuottamisen jakauma on lähteen /22/ mukainen. Sen mukaan lämmityssähköstä tuotetaan 7,4 % kivihieillä, 22,7 % vesivoimalla, 33,5 % ydinvoimalla, 3,4 % maakaasulla ja turpeella yhteensä sekä 33 % yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa.

putoaa 55 – 53 %:een uusien normien mukaisella kulutuksella, mikä vähentää elinkaaren aikaisia kasvihuonepäästöjä 16 – 17 %. Kotitaloussähkön suuri osuus (27 %) kokonaisenergian kulutuksesta pitää päästön vähenemisen noinkin pienenä, vaikka lämmitysenergian tarve vähenee 30 %. Runko- tai lämmitysratkaisulla ei ole juurikaan merkitystä edm. tarkasteluun.

11.2.2 Happamoittavat päästöt

Happamoittavien päästöjen osalta on suuri ero sähkö- ja öljylämmityksen välillä. Öljylämmitteisen pientalon happamoittavat päästöt ovat 33 – 28 % pienemmät kuin sähkölämmitteisen molemmilla energiankulutustasoilla. Lisäksi huomataan, että taloussähkön käytöstä tulevat happamoittavat päästöt, noin 450 kgSO₂ (eq), ovat öljylämmityksen tapauksessa suuremmat kuin lämmityksen ja lämpimän käyttöveden tuomat happamoittavat päästöt. Talon korjausten aiheuttamat päästöt ovat 37 – 40 kgSO₂ (eq) elinkaaren aikana.

11.3 Käytön jälkeiset päästöt

Pientalon käytön jälkeisten päästöjen arviointi on lähteen /21/ mukainen. Siinä otetaan huomioon purkutyöstä ja rakennusmateriaalien poiskuljetuksesta aiheutuvat päästöt. Arvion ominaispäästöt on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 9. Pientalon käytön poistamisesta aiheutuvat ominaispäästöt.

Talon rakenne	Tehollinen päästö	
	gSO ₂ (eq)/m ²	gCO ₂ (eq)/m ²
Puurnko	5,44	14 000
Tiilirunko	8,23	19 800

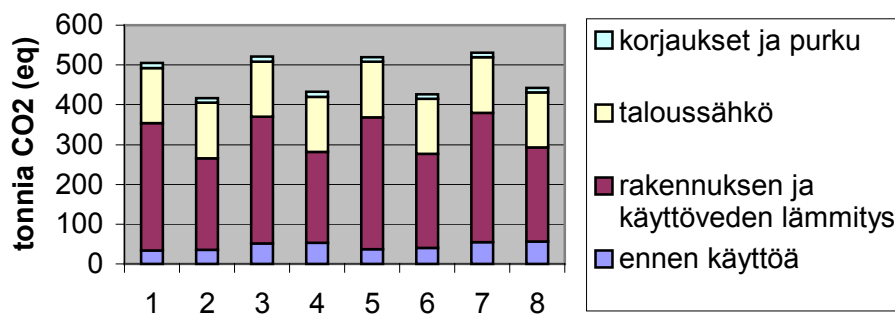
Rakennusten purkamisesta ja poiskuljetuksesta aiheutuvat päästöt ovat osuuksina elinkaaren aikaisista päästöistä häviävän pieniä, alle prosentin luokkaa /20/.

Esimerkiksi 120 m²:n omakotitalon CO₂ -"lopetuspäästöt" olisivat noin 1,7 tonnia CO₂ (eq) puurunkoisella ja 2,4 tonnia tiilirunkoisella.

11.4 Pientalon elinkaaren aikaiset kokonaispäästöt

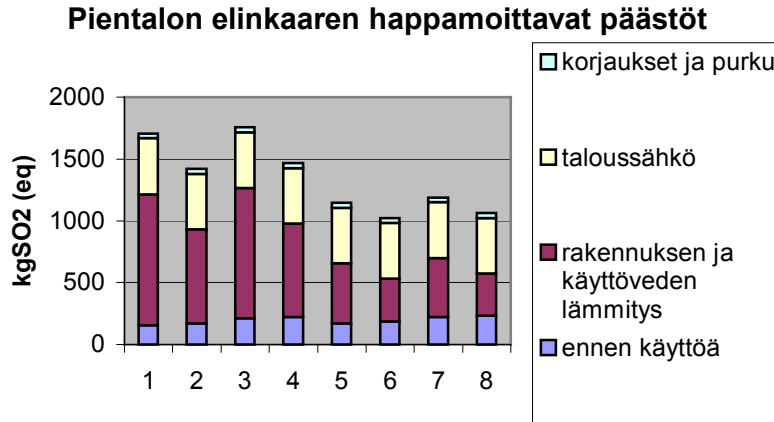
Lämmitysenergiankulutus muodostaa selvästi suurimman osan pientalon elinaikaisista ilmastoja lämmittävistä päästöistä. Siten talon kasvihuonekaasupäästöjen kuvaajat noudattavat lähes tarkasti talon energiankulutuksen kuvaajia.

Pientalon elinkaaren hiilidioksidipäästöt



Kaavio 5. **1** = puurunko, sähkölämm., nykynormit. **2** = puur., sähköl., uudet normit. **3** = tiilirunko, sähkölämmitys, nykynormit. **4** = tiilir., sähkölämm., uudet normit. **5** = puurunko, öljylämmitys, nykynormit. **6** = puur., öljylämm., uudet normit. **7** = tiilirunko, öljylämmitys, nykynormit. **8** = tiilir., öljylämm., uudet normit.

Ero elinkaaren aikaisissa happamoittavissa päästöissä eri lämmitysmuotojen välillä on lähes sama kuin käytön energiankulutuksesta aiheutuvista päästöistä. Runkorakenteen vaikutus päästöihin on pieni. Lämmitysenergian kulutuksen pienentäminen 30 % vaikuttaa vähemmän happamoittaviin päästöihin kuin lämmitysjärjestelmä. Sähkön osalta epävarmuutta lisää luonnollisestikin se, että sähkön tuottamisen perusenergia vaihtelee.



Kaavio 6. **1** = puur., sähköl., nykynormit. **2** = puur., sähköl., uudet normit. **3** = tiilirunko, sähkölämm., nykynormit. **4** = tiilir., sähkölämm., uudet normit. **5** = puurunko, öljylämm., nykynormit. **6** = puur., öljylämm., uudet normit. **7** = tiilirunko, öljylämm., nykynormit. **8** = tiilir., öljylämm., uudet normit.

12 YHTEENVETO JA LOPPUPÄÄTELMÄT

Vanhat pientalot voivat kuluttaa satoja kilowattitunteja lämmitysenergiaa lattianeliömetriä kohti vuodessa. Tulevat uudet energianormit edellyttänevät lämmitysenergiatason olevan noin 100 – 110 kWh/m²v. Todellisuudessa päästäneen uudisrakennustuotannossa jo alle 100 kWh/m²v, sillä tulevat normien minimi-k-arvotasot alitetaan kuten aikaisemminkin.

Parannettaessa talon lämpötaloutta on ulkoseinien (lisä)eristäminen kaikkein kannattavinta. Ulkoseinäalaa on rakennuksen vaippapinnasta eniten ja se on suoraan ulkoilmaa vasten. Talon kokonaissaneerauksen takaisinmaksuaika vaihtelee 5 – 12 vuotta. (s. 72 - 75)

Paksun lämmöneristyskerroksen kautta tapahtuva lämpöhäviö vastaa jokseenkin johtumislämpöhäviötä, jos eristekerroksessa käytetään konvektiokatkoa. Samalla parannetaan rakenteen kosteusteknistä toimintaa. (kuva 3 s. 22)

Perinteinen eristäminen ja kuljettumiskatkojen merkitys voidaan yhdistää käyttämällä ns. kalvoeristyskerroksia, joilla ilmatila jaetaan osastoihin. Lämmöneristyskerros koostetaan kalvoista ja niiden väliin jäävistä ilmakerroksista. Erityisesti alapohjarakenteessa ratkaisu on hyvä. Ryömintätilan alapinnan lämpötila saadaan näin nousemaan, jolloin kokonaislämmönsiirto pienenee. Kalvon emissiviteetin pitää olla pienempi kuin 0,15, jotta saadaan merkittävä vaikutus alapohjan lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan.

Pientalon lämmitysjärjestelmää, jonka investointikustannukset olisivat pienet, energiakustannukset alhaiset ja ympäristöystävällisyys hyvä ei ole olemassa. Yleensä valitussa systeemissä toteutuu korkeintaan kaksi näistä kolmesta kriteeristä.

Yksinelävän rakentaessa hyvin eristetyn, tiiviin ja ilmastoidun omakotitalon itselleen, on suora sähkölämmitys todennäköisesti taloudellisin vaihtoehto. Vedenkulutus on vähäistä, investointikustannus on pieni ja sähkö polttoaineena kallista. Kun energiantarve on pieni, ei halvemman polttoaineen säästöllä voida maksaa takaisin suurta laiteinvestointia.

Pientalossa poistoilmalämpöpumpulla voidaan saada 45 % säästö verrattuna pelkän päälämmitysjärjestelmän käyttöön. Maalämpöpumppu on edullisimmillaan suurten pientalojen lämmönlähteenä. Maahan varastoitunutta energiaa on kyettävä käyttämään paljon, jotta pumppujärjestelmän kallis hankintahinta tulee kuoletetuksi. Aurinkolämpöä hyödyntävän lämpöpumpun järjestelmässä on kahden kerääjän käyttö perusteltua. Tuolloin ei sähkövastus ole pakollinen vesivaraajassa. (s.61)

Aktiivisen aurinkolämmityksen tapauksessa antavat pienet varaajan ja kerääjän massat parhaan hetkellisen hyödyn aurinkoenergiasta, mutta ne johtavat nopeisiin ja suuriin lämpötilavaihteluihin, mikä on huonoa energian hyödyntämisen kannalta. Massiivisen kerääjän kautta lämpöhäviöt ovat pienimmät ja massiivisen varaajan kautta lämmöntuotto huonetilaan jakautuu tasaisemmin ja pidemmälle jaksolle kuin kevyemmillä absorbtio- ja varaajarakenteilla.

Valoa läpäisevän eristeen poisto kesäksi voisi olla ratkaisu ylilämpenemisen ongelmaan, jos aktiivista siirtosysteemiä ei ole. Se olisi ainakin periaatteessa mahdollista, sillä valoa läpäisevä eriste on rakenteessa uloin pinta ja se voidaan kiinnittää mekaanisesti muuhun rakenteeseen.

Nykynormien mukainen 120 m²:n pientalo kuluttaa vuodessa energiaa huoneiden lämmitykseen 8,0 – 9,0 MWh, veden lämmitykseen 4,0 MWh, taloussähköön 6,0 MWh. Tulevat normit kiristävät lämmitysenergiankäyttöä 30 %. Näin lämmityskulutukset olisivat 5,6 – 6,3 MWh ja 3,0 MWh. Taloussähkön suuri osuus ”vaimentaa” kokonais-säästön (18,0...19,0 – 15,3...14,6 MWh) vähiin.

Edellä mainituista määristä voisi saada pois jopa 5,5 – 6,0 MWh ikkunoiden läpi tulevalla säteilylämmöllä, jos kesän säteilyintensiteetti voitaisiin hyödyntää varastoon käyttöveden ja huoneiden lämmittämiseen. Poistuva osuus olisi enemmän kuin veden lämmitykseen kuluva energia.

Rakentamisen vanhoillisuus hidastaa uusien tekniikoiden käyttöön tulemistä normimääräyksistä huolimatta. Osa muutoksista on vain lisäeristämistä ja tarkempaa talotekniikkaa, osan ollessa uusia tekniikoita.

Lähteet

- /1/ Hiilidioksiditoimikunta II:n mietintö. Ympäristöministeriö. Helsinki 1994.
- /2/ Energiakatsaus 1/99. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto. Hki 1995
- /3/ Leppänen, P., Rakennan energiaa säästävän pientalon. Rakentajain Kustannus, ISBN 951-682-315-7, Tampere 1994
- /4/ Nilsson, A., Bas för bärkraftig utveckling. Bygghforskning 2/99
- /5/ Kohonen, R., Kokko, E., Mähönen, T., Ojanen, T., Mineraalivillaeristyksen ilmavirtaukset ja tuulensuojaus. Espoo; VTT, 1986
- /6/ Kokko, E., Ojanen, T., Salonvaara, M., Uudet vaipparakenteet. Espoo; VTT 1997
- /7/ Holcombe, B. V. & Stuart, I. M., Method of Numerical Solution of Equations Describing Heat Transfer in Fibrous Beds. Journal of Thermal Insulation. Vol.7, January 1984
- /8/ Ilmanvaihtoa ei voi ottaa pois päältä. Rakennuslehti 38/2000, Kovanen, K.
- /9/ ETRR raportti 30, Matalaenergiapientalo III, Espoo 1993
- /10/ Hybridi-ilmanvaihto yhdistää painovoimaisen ja koneellisen edut. Rakennuslehti 32/2000, Jääskeläinen, L.
- /11/ ETTR raportti 14, Numerical Simulation of the Structures with Transparent Thermal Insulation and Phase Change Materials, Espoo 1992
- /12/ Seppänen, O. Rakennusten lämmitys. Gummerus Oy, Jyväskylä 1995, ISBN 951-97233-1-5
- /13/ ETTR raportti 24, Ulkovaipparakenteiden simulointivalmiudet, Espoo 1993
- /14/ Hekkanen, M., Kauppinen, T., Santasalo, M., Matalaenergiapientalon toteuttaminen korjausrakentamalla. VTT tiedotteita no 1871. Espoo 1997.
- /15/ Nieminen, J., Kouhia, I., Haakana, M., Puhakka, S., Matalaenergiapientalon energiankulutus ja säästötoimenpiteiden kannattavuus. VTT tiedotteita no 1589. Espoo 1994.

- /16/ Haapala, T., Kalema, T., Tala, J., TASE-tietokoneohjelma rakennusten lämpötaseen laskentaan, versio 2,0. TTKK; Lämpötekniikka, Tampere 1989
- /17/ Perälä, A-L., Niemi, O., Talonrakennuksen tuotantoenergia. TTKK; rakentamistalouden laitos, Tampere 1981
- /18/ Kontuniemi, P., Perälä, A-L., Talonrakennuksen energiasisällön muutokset. VTT; Rakennustuotantolaboratorio, Tampere 1990
- /19/ Kalema, T., Thermal Analysis of Buildings-Verification and Further Development of the TASE Program. TTKK; Tampere 1992
- /20/ Kaivonen, H., Suomalainen, A., Kalema, T., Pientalon energiankulutuksen, päästöjen ja kustannusten optimointi. TTKK; Energia- ja prosessitekniikka, Tampere 1996
- /21/ Energi- og miljøregnskap for bygg. Norges byggforskningsinstitut, projektsrapport 1995
- /22/ Sähkölämmityksen taustamuistio, Imatran voima 1993
- /23/ Kiotosta miljardilasku rakentamiselle. Rakennuslehti 6/2001, Kortelainen, M.
- /24/ www.motiva.fi/pientalonlammitys/lammönvarastointi.html.