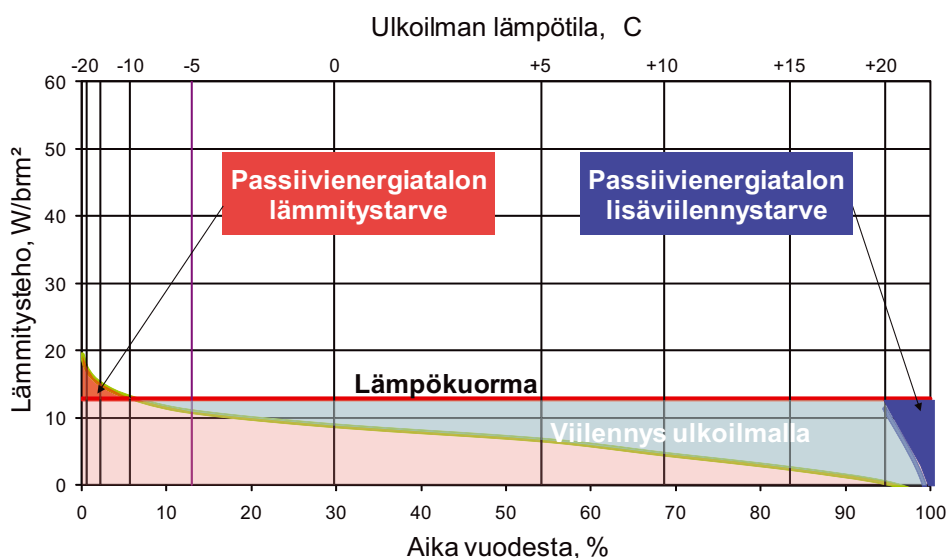


Arto Suikka, diplomi-insinööri
Betoniteollisuus ry

BETONI- JA MUURATUN RAKENNUKSEN LÄMMÖNVARAUSKYVYN ANSIOSTA

- rakennuksen ilmaisenergiat saadaan hyötykäyttöön
- säästetään 5 - 15 % lämmitysenergiasta
- tasataan ja alennetaan liian korkeita sisälämpötiloja 3 - 6 astetta
- säästetään 20 - 50 % jäähdytysenergiasta tai jäähdytystarve poistuu kokonaan
- yöaikaista ilmanvaihtoa voidaan hyödyntää poistamaan jäähdytystarve päivällä
- voidaan siirtää toimistojen ja muiden liikekiinteistöjen huippulämpötilat ajankohtaan, jolloin rakennus on tyhjiällä
- voidaan pienentää talotekniikan investointikustannuksia
- ne soveltuvat hyvin matala- ja passiivenergiataloihin
- voidaan pienentää rakennuksen CO₂-päästöjä



1
Passiivenergiatalon lämmitys- ja viilennystarve. /3/

Betoni, harkot ja tiili ovat raskaina kivimateriaaleina ominaisuuksiltaan erinomaisia rakennettaessa tulevaisuuden vähän energiaa kuluttavia rakennuksia. Kivimateriaalit säästävät massiivisuutensa ansiosta sekä lämmitys- että jäähdytysenergiaa. Niillä saadaan rakennuksiin hyvä tiiveys ja tasainen sisälämpötila. Materiaalien kestävyys ja pitkä käyttöikä varmistavat koko elinkaarensa pienen kokonaisenergiakulutuksen.

KIVIRAKENNUKSEN TERMINEN MASSA VÄHENTÄÄ ENERGIANKULUTUSTA

Massiivinen rakennus on yleensä sellainen, jossa massaa on vähintään 500 kg/m². Massan tulee sijaita vaipan lämmöneristekerroksen sisäpuolella.

Massa voi olla väli-, ala- tai yläpohjissa, väliseinissä ja ulkoseinissä. Raskaana materiaalina betoni toimii energiavarastona ja hyödyntää näin vapaita lämpökuormia, kuten auringon säteilyä (aurinkoenergia) sekä ihmisistä, valaistuksesta ja kodin- tai konttorikoneista vapautuvaa lämpöä varastoimalla niiden energian ja luovuttamalla sitä myöhemmin sisätiloihin. Kivirakenteet vähentävät myös merkittävästi sisälämpötilan vaihtelua ja kesän huippulämpötiloja. Lämpöä varaavia rakenteita voidaan käyttää aktiivisesti esimerkiksi yöaikaissa jäähdytyksessä tai ilmalämmityksessä, jolloin lämpöenergiaa voidaan varata halvemmalla yösaikojella.

Esimerkiksi lattialämmitys toimii parhaiten betonirakenteeseen asennettuna. Betonilaattaan sijoitetulla lattialämmityksellä voidaan lämmityksen ja käyttöveden tarvitsemasta energiasta saada 80 % edullisemmalla yösaikojella. Samalla saadaan aikaan tasainen lämmönjako ja miellyttävän lämmin lattia.

MASSIIVISUUDEN VAIKUTUS ON VARMISTETTU TUTKIMUKSIN

Kivirakenteiden massiivisuuden vaikutusta on selvitetty lukuisissa tutkimuksissa. Massiivisilla rakenteilla on saatu säästöä lämmitysenergiassa keskimäärin 5-15 % kevyisiin rakenteisiin verrattuna (tutkimustulosten ääriarvot 1-20 %) /1/.

Pohjoismaisessa tutkimuksessa /2/ massiivisen pientalon lämmitysenergian kulutus oli 3-14% pienempi kuin kevytrakenteisessä pientalossa. Massiivisuuden vaikutuksen suuruus riippuu monista tekijöistä, kuten massan sijoittelusta, rakennuksen suuntauksesta, ikkunoiden määrästä, ilmaisenergioiden määrästä sekä pintamateriaaleista.

Jäähdytysenergian kulutuksessa massiivisuuden vaikutus on vielä suurempi. Koneellisesti jäähdytetyssä massiivisessa rakennuksessa kuluu 20-50 % vähemmän jäähdytysenergiaa kuin erittäin kevyessä rakennuksessa /1/, /2/.

TTY:n raportissa todetaan, että massiivisissa rakennuksissa yötuuletus on edullista ja pienentää jäähdytysenergian kulutusta 20 % ja jäähdytystehoa suurimmillaan 40 %. Joissain tapauksissa koneellinen jäähdytys voidaan jättää kokonaan pois. Vähän energiaa kuluttavissa rakennuksissa jäähdytyksen merkitys energiansäästöä korostuu (kuva 1).

SISÄLÄMPÖTILAT

Rakentamismääräykset /4/ edellyttävät, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan siten, etteivät tilat lämpene haitallisesti. Liiallisen lämpenemisen

estämiseksi kesällä tulee käyttää ensisijaisesti rakenteellisia keinoja. Määräyksissä todetaan, että vuorokautisten lämpötilojen tasaamiseen tulee käyttää rakenteiden lämmönvarauskykyä ja tehostettua ilmanvaihtoa yöllä. Betoni, harkko ja tiili sopivat hyvin tähän tarkoitukseen.

Kun rakennuksista tehdään yhä paremmin lämpöä eristäviä ja tiiviimpiä, ilmenee kesällä helposti jäähdystarvetta. Rakennuksen sisäilman laatu paranee, kun massan lämpökapasiteetti leikkaa korkeimmat kesän sisälämpötilat pois. Massiivisuuden etu on suhteellisesti suurin, kun ikkunapinta-ala on suuri, ikkunat on suunnattu etelään ja rakennetaan muutenkin matalaenergiaratkaisuihin. Massiivisilla rakenteilla voidaan sisälämpötilan vaihteluita ja erityisesti kesäisiä lämpötilahuippuja alentaa merkittävästi. Jos rakennuksessa ei ole koneellista ilmastointia, korkeimmat sisälämpötilat ovat kesällä rakassa kivirakennuksessa 3-6 astetta alempia kuin vastaavassa kevytrakenteisessä talossa /1/.

KIVITALO ON TIIVIS

TTY:n ja TKK:n yhteisessä AISE -tiiveystutkimuksessa mitattiin sekä kevyiden että raskaiden pientalojen ja asuinkeuhkotalojen tiiveyksiä. Pientalolle saatiin seuraavat keskimääräiset n_{50} - ilmanvuotoluvut. /5/:

- kivitalo kivirakenteisella yläpohjalla 1,4
- kivitalo puurakenteisella yläpohjalla 2,3
- puutalo 3,9
- hirsitalo tiiviimmällä saumalla 4,1
- hirsitalo, perinteinen 7,9

Kivitalossa olivat mukana betonielementti- sekä kevytbetoni- ja betoniharkkotalot.

Asuinkeuhkotaloissa suunta oli sama. Betonielementtitalossa n_{50} -luku oli keskimäärin 1,6 ja puurakentalossa 2,6. Mittaukset osoittivat, että parhaissa kivitaloissa päästiin jo n_{50} -luvussa tasolle 0,5.

RAKENTAMINEN NYKYMÄÄRÄYKSILLÄ

Rakentamismääräysten uudistetut osat C3, D2 ja D3 tulivat voimaan 1.1.2010. Esimerkiksi betonisissa ulkoseinä-rakenteissa U-arvovaatimus 0,17 edellyttää minimissään seuraavia lämmöneristepaksuuksia;

- sandwich-seinässä 240 mm mineraalivillaa tai EPS
- eriytettyssä ja rapatussa seinässä 220 mm mineraalivillaa tai EPS
- sandwich-seinässä 180 mm paremman eristävyyden EPS tai 150 mm PUR



LS-Laatusuunnittelu Oy

2
Matalaenergiatalon sisäkuorielementti 230 mm paksulla ThermiSol Oy:n Platina-eristeellä. LS-Laatusuunnittelu Oy.

Taulukko 1. TTY:n laskemia esimerkkirakenteita, jotka täyttävät eri U-arvovaatimukset. /7/

Eriste	λ_{design} [W/mK]	Ansaat	2007 0,24 W/(m²K)	2010 0,17 W/(m²K)	Matala- energia 0,14 W/(m²K)	Passiivi- talo 0,09 W/(m²K)
			Vaadittavat eristepaksuudet			
Mineraalivilla	0,037	Diag. ansaat k600	160	230	280	430
EPS	0,036	Diag. ansaat k600	150	220	260	410
		Pistokas 4 kpl/m²	150	210	260	410
	0,031	Diag. ansaat k600	130	190	230	360
		Pistokas 4 kpl/m²	130	190	230	350
XPS	0,037	Diag. ansaat k600	160	220	270	420
		Pistokas 4 kpl/m²	150	220	270	420
PUR/ PIR	0,026	Diag. ansaat k600	110	160	190	300
		Pistokas 4 kpl/m²	110	160	190	300
	0,023	Diag. ansaat k600	100	140	170	270
		Pistokas 4 kpl/m²	100	140	170	270

Matalaenergiarakennuksissa eristeet ovat tätä paksampia (kuva 2).

Alapohjarakenteiden U-arvoon 0,16 - 0,17 vaaditaan 220 - 240 mm EPS ja yläpohjan U-arvoon 0,09 noin 360 mm mineraalivillaa.

Seinä-rakenteissa käytetään tällä hetkellä noin 75 % mineraalivillaa ja 25 % kovia eristeitä.

Ormiskankaan tutkimuksen /6/ mukaan sandwich-elementin sisäkuori kuivuu hitaammin tiiviimmillä EPS- ja PUR- eristeillä, mutta viiden vuoden kuluttua erot ovat tasoittuneet. Tiiviit eristeet pystyvät kuivumaan ainoastaan sisälle päin ja ennen tiivistä sisäpuolen pinnoittamista (esim. märkätilan vesieristys) on varmistuttava, että sisäkuori on kuivunut riittävästi. Mineraalivillaeisteillä rakenteilla eristepaksuuden kasvattaminen ei tutkimuksessa aiheuttanut merkittävää muutosta kuivumiseen.

Tutkimuksen mukaan EPS-, XPS- ja PUR/PIR- eristeisissä rakenteissa ei eristeiden tuuletusuritus-

ta tarvita toisin kuin mineraalivillaeisteissä.

Lisää informaatiota tämän päivän ratkaisuista löytyy osoitteesta www.elementtisuuunnittelu.fi.

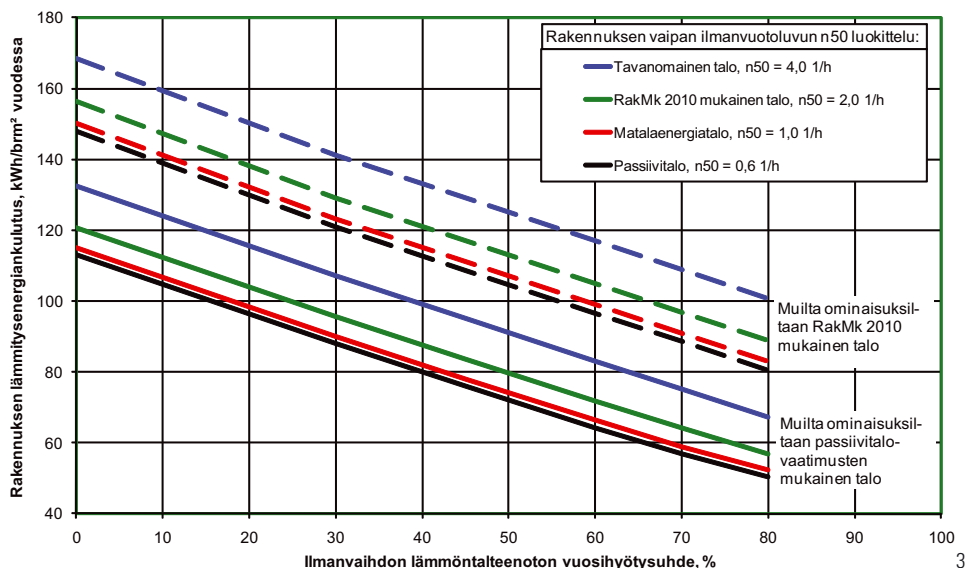
VIIDEN 2012 ENERGIAMÄÄRÄYKSET

Vuonna 2012 energiamääräykset tulevat kiristymään nykyisestä noin 20 prosentilla.

Uusissa lausunnolla olevissa määräyksissä /8/ annetaan raja- arvot rakennustyyppien kokonaisenergiankulutukselle (E- luku) kWh/(m² a). E- luvulla tarkoitetaan eri energiamuotojen kertoimilla painotettua rakennuksen vuotuista netto- ostoenergian laskennallista kulutusta.

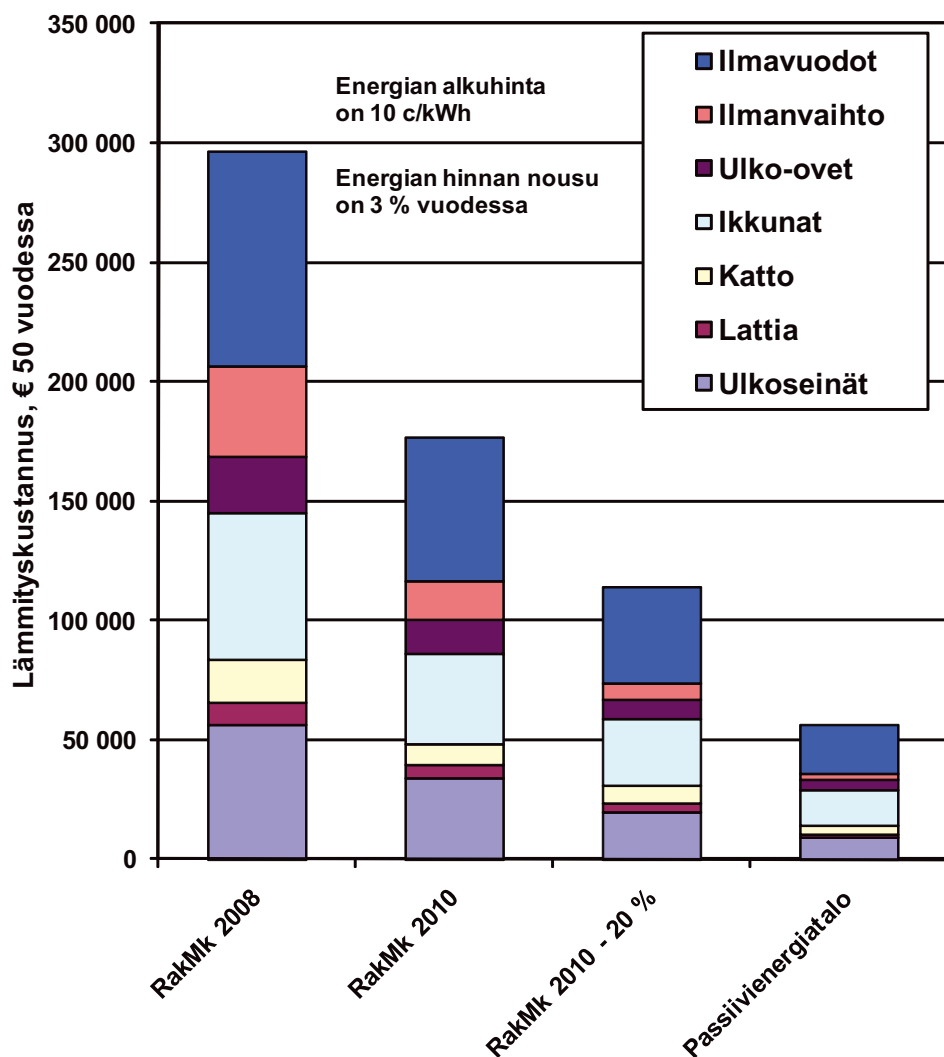
Energiankulutuksen laskenta tapahtuu standardin SFS-EN 13790 mukaan.

Kivitalon massiivisuus otetaan tällöin laskennassa huomioon rakennuksen tehollisen lämpökapasiteetin määrittämisen aikavälin avulla ja käytännössä hyödynsi saatavat ilmaiseenergiat vähentävät ostoenergian tarvetta.



3

Hyvä vaipan ilmanpitävyys ja ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyvä vuosihyötysuhde ovat talon pienen energiankulutuksen edellytyksiä. Lähde VTT / M. Saari.



4

Harkkopientalon lämmitysenergian kustannus 50 vuoden aikana, kun energian alkuhinta on 10 c/kWh. Lähde VTT/ M. Saari.

Uudet määräykset tulevat korostamaan kesäajan huonelämpötilan hallintaa. Huonelämpötilalle annetaan jäähdytysraja 25 - 27 astetta, jonka rajan sisälämpötila saa ylittää vain hyvin lyhyen ajan kessällä. Määräysluonnos toteaa, että tilojen ylläpöpenemistä tulee estää ensisijassa rakenteellisilla ja muilla passiivisilla keinoilla sekä käyttämällä yötuetusta. Tämä onnistuu parhaiten kivitaloissa.

Uusi määräysehdotus toteaa rakennuksen tiiveydestä, että kosteusteknisen turvallisuuden, hyvän sisäilmaston ja energiatehokkuuden kannalta rakennusvaipan ilmanvuotoluvin q50 tulisi olla enintään 1 m³/h m². Laskennan perusoletuksena käytetään arvoa 2 m³/h m². Näihin tiiveysarvoihin päästään kivitalossa tutkimusten mukaan normaalilla huolellisella rakentamistekniikalla.

Käytännössä rakennusvaipan lämmöneristävyyttä on edelleen parannettava vuoden 2010 määräystasosta, vaikka minimi vaipan U-arvot säilyvät ennallaan. Siirtymistä eristävydeltään parempiin eristeisiin ja myös mineraalivillasta koviin eristeisiin tulee tapahtumaan. Eristemateriaalia valittaessa tulee ottaa huomioon paitsi lämmöneristävyyttä, myös palonkesto ja ääneneneristävyyttä.

PASSIIVIENERGIAHARKKOTALOLLE SUUNNITTELUOHJEET

RTT:n harkkotaloryhmä on laadittanut VTT:llä harkkopientalon LVI-tekniikan suunnitteluohjeen./3/. Ohje löytyy osoitteesta www.harkkokivitalo.fi.

Hyvällä kokonaisvaltaisella suunnittelulla harkkotalon talotekniikkaa voidaan keventää ja samalla säästää sekä rakentamiskustannuksia että energiaa. VTT:n laskelmien mukaan siirtymällä nykytasosta edelleen passiivenergiatalon tasolle säästetään 50 vuodessa noin 125 000 euroa lämmityskustannuksissa, kun energian hinnan nousuksi oletetaan 3 % vuodessa (kuvat 3 ja 4).

4

ESIMERKKEJÄ TOTEUTETUISTA RATKAISUISTA

- Ennätystiivis betonielementtitalo, Mäntyharju, Suutarinen Yhtiöt

Suutarinen Yhtiöt on tuonut markkinoille energiaa säästävät betonielementtirakenteiset yhden perheen passiivenergiatalot. Ensimmäinen pientalo rakennettiin vuonna 2009 Mäntyharjuun. Kuva 5.

Talon ulkoseinässä on betonisandwich-elementit, joissa on 250 mm paksu polyuretaanilämmöneriste. Seinän U-arvo on alle 0,1. Yläpohjarakenne on tehty SPU Systems Oy:n kehittämistä Passiivi-



katto- elementeistä, jotka on koottu kertopuupalkeista ja polyuretaanilevyistä.

VTT totesi talon huipputiiviiksi, n_{50} - ilmanvuotoluku on 0,09. Yleinen tavoite passiivienergiatalojen ilmanvuotoluvulle on 0,6 -taso.

Talon pieni energiankulutus perustuu hyvin eristävään vaippaan, massiivisiin lämpöä varaaviin seinä- ja lattiarakenteisiin, ilmatiiveyteen sekä tehokkaaseen lämmöntalteenottoon.

- *Kuopion matalaenergiamesutalo, Betonimestarit Oy*

LämpöHelmi -paritalo on betonielementtirakenteinen. Ulkoseinät ovat sandwich-elementtejä, joissa lämmöneristeenä on 170 mm polyuretaania. Seinän U-arvo on 0,14. Ikkunat ovat 4 -lasisia ja U-arvoltaan 0,76. Päälämmitysratkaisu on vesi-ilmalämpöpumppu ja lisälämmönlähteinä kahdeksan ilmalämpöpumppua. Lisäksi autotallin katolla on 6 aurinkokennoa, joista johdetaan energiaa lämminvesivaraajaan. (kuva 6).

- *MERA-kerrostalo, Rakennusliike Reponen Oy*

Rakennusliike Reponen kehitti Suomen ensimmäisen matalaenergiakerrostalon. Se rakennetaan betonielementeistä. Talossa ei ole lainkaan perinteistä lämmitysjärjestelmää, vaan se lämpenee pääosin laitteiden ja ihmisten tuottamasta lämmöstä ja ilmanvaihdon lämmön talteenoton energialla. VTT:n tutkimusten mukaan MERA-talo säästää parhaimmillaan 70% energiasta normaalitaloon verrattuna.

Tällä MERA-konseptilla on rakennettu ensimmäinen kerrostalo Heinolaan vuoden 2009 alussa ja senjälkeen mm. Espooseen ja VVO:lle Helsingin Vanhaan kaupunkiin (kuva 7).

Parhaillaan Reponen rakentaa Helsingin ATT:lle tulevaa MERA- matalaenergiakerrostaloa Helsingin Viikinkimäkeen.

- *Kerrostalo Lärkträdet, Ruotsi, Strängbetong Ab*

Lärkträdet on ensimmäinen Ruotsin passiivienergiakerrostalo, joka toimii Strängbetong Ab:n Thermodeck -järjestelmällä. Siinä ontelolaatan onteloita hyödynnetään ilmanvaihdossa, lämmityksessä ja jäähdytyksessä. Rakennuksen vaippa koostuu hyvin eristetyistä (250 mm EPS) sandwich-elementeistä.





Strängbetong Ab

8
Valmistumassaoleva ensimmäinen passiivienergiakerrostalo ThermoDeck-järjestelmällä. Vara, Ruotsi.

Rakennus lämpiää pääosin 8,5 kW maalämpöpumpulla.

Noin puolet lämpimästä vedestä tuotetaan aurinkokeräimillä. Rakennuksessa on ilmalämmitys, joka kykenee puhaltamaan 49 asteista ilmaa. Kun ThermoDeck-järjestelmää käytetään lämmitykseen, viilennykseen ja ilmanvaihtoon, elementin onteloissa kulkenut korvausilma ei ole koskaan lämpimämpää kuin 24 - 25 °C tullessaan huoneisiin. Kuvat 8, 9.

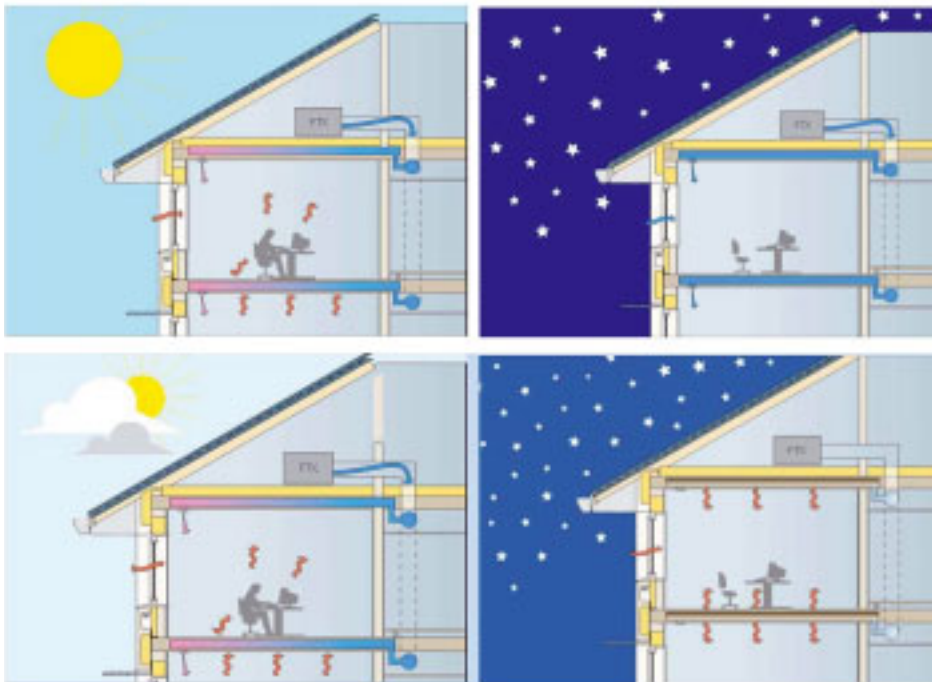
Kesällä ylikuumeneminen, kun rakenteisiin kertynyt lämpö voidaan viilentää noin 13 asteisella ulkoilmalla.

Hyvin eristetty ja tiivis rakennuksen aikavakio on yli 350 tuntia, kun siinä on paljon lämpöä varastavaa termistä massaa. Ruotsalaisten passiivitalokriteerien mukaan tällaisen rakennuksen mitoitettava ulkolämpötila voidaan nostaa -18 °C:sta -10 °C:een, mikä vähentää merkittävästi tarvittavaa lämmitystehoa.

- *Bayerin toimistorakennus, Belgia, ECHO*

Belgialainen betonielementtivalmistaja Echo on kehittänyt ClimaDeck -aktiivisen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän. Ontelolaatastoon valetaan vesiputkisto, jolla laatasta käytetään aktiivisesti lämmitykseen ja jäähdytykseen.

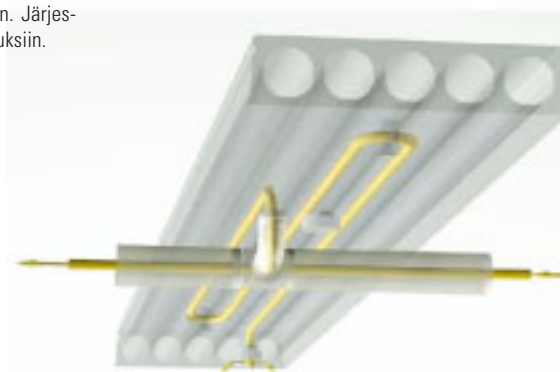
Järjestelmä on rakennettu mm. Bayerin toimistotaloon Belgian Diegemissa. Rakennus on kooltaan noin 10 000 m². Ontelolaatastot on kytketty vesivesi lämpöpumppuun, joka saa energiansa 60:stä 100 metrin syvyyteen menevästä putkesta. Lisälämmitystä ja -jäähdytystä hoidetaan kevennetyllä ilmastointilaitteella, joka myös saa energiansa maalämmöstä. Kuva 10, 11.



9
Ontelolaatastoon lämmönvarauskykyyn ja onteloihin perustuvan ThermoDeck-järjestelmän toimintaperiaate kesällä (ylempi kuva) ja talvella (alempi kuva). Ilmalämmitys- ja jäähdytys on integroitu ontelolaatastoon. Järjestelmä soveltuu sekä asuin- että toimistorakennuksiin.

YHTEEENVETO

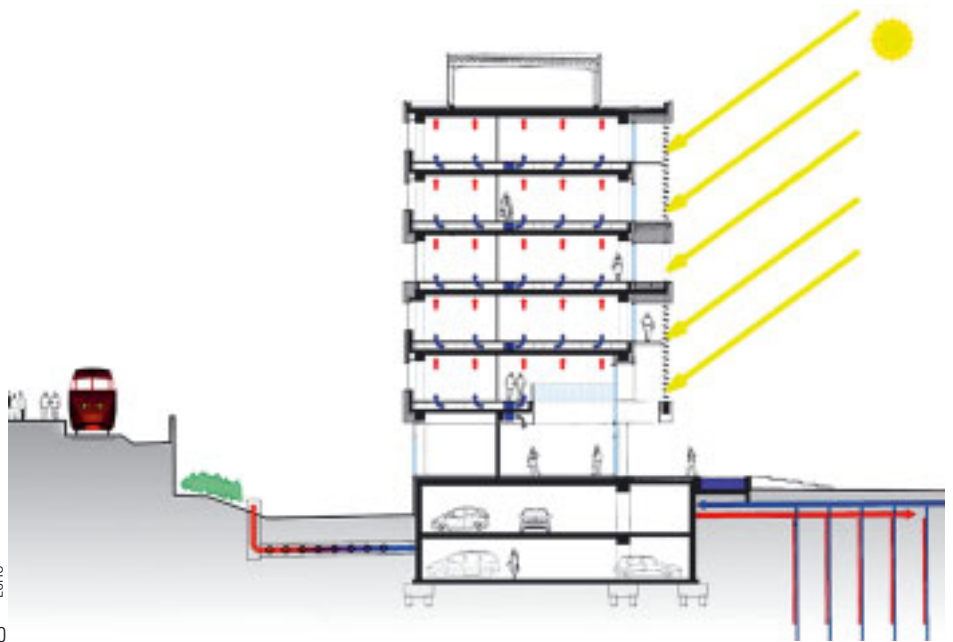
Kivitalo on optimaalinen ratkaisu tulevassa energiassa säästävässä rakentamisessa. Tämä perustuu betonin raskaan kivirakenteen hyvään lämmönvarauskykyyn ja tiiveyteen. Matala-, passiivi- ja nolla-energiatalot tulee suunnitella siten, että rakennetta ja talotekniset järjestelmät muodostavat toimivan kokonaisuuden. Rakennuksen arkkitehtuurin tulee palvella myös energiansäästöä näkyen esimerkiksi rakennusmassojen suuntauksissa, tilaratkaisuissa, ikkunoiden määrässä sekä erilaisissa auringonvalon varjostusratkaisuissa. Vähän energiaa kuluttavassa kivitalossa talotekniikkaa voidaan vähentää ja saavuttaa samalla sekä kustannussäästöjä että hyvä sisäilma.



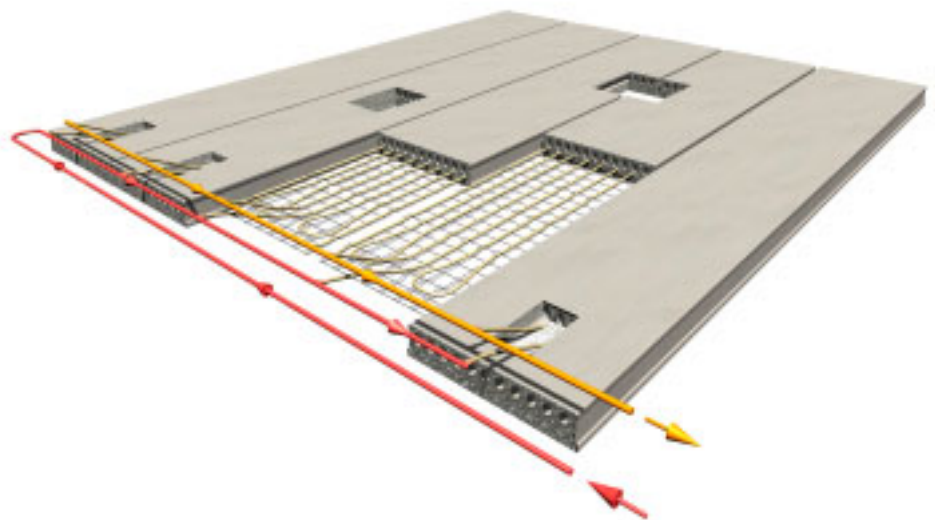
VIITTEET

- /1/ Hietamäki, T. et al. Rakennusten massiivisuus. Keskeiset tutkimukset ja tulokset. Tampereen Teknillinen Yliopisto, Energia- ja prosessiteknikan laitos. Raportti 174. Tampere 2003.
- /2/ Nordic Thermal Mass - Effect on Energy and Indoor Climate. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Raportti 184. Tampere 2006.
- /3/ Passiivienergiatalo harkoista - LVI-tekniikan ratkaisumallit ja suunnitteluohjesuunnitteluohje. Tutkimusraportti VTT-R 08496-09. VTT 2009.
- /4/ Suomen rakentamismääräyskokoelma RakMk C3, D3, D5. Määräykset ja ohjeet 2010.
- /5/ Vinha, J. et al. Asuinrakennusten ilmanpitiävyys, sisäilmasto ja energiatalous. TTY. Rakennustekniikan laitos. 2009.
- /6/ Ormiskangas, P. Betonisandwich- elementin kosteustekninen toiminta paksuilla eristeillä. Diplomityö TTY. 2009.
- /7/ BES 2010, osa C3. Lämpö- ja kosteustekniikka. TTY, Rakennustekniikan laitos. Tutkimusselostus TRT/1864/2010.
- /8/ Suomen rakentamismääräyskokoelma RakMk C4, D3, D5. Lausuntoversiot 28.9.2010 (Energiapaketti 2012).

ECHO
10



11



ENERGY EFFICIENCY OF STONE HOUSES

Being stone materials, concrete, blocks and bricks offer excellent properties for the building of low-energy future houses. Massive stone materials provide savings in terms of both heating energy and cooling energy. They produce tight buildings with an even indoor temperature. Owing to their durability and long service life stone materials ensure low energy consumption throughout the life cycle.

A stone house is an optimum solution for energy-saving construction in the future. This is based on the good heat capacity and tightness of the heavy stone structure of concrete. Low-energy, passive energy and zero-energy houses have to be designed with structural and building systems creating a functional whole. The architecture of the building must also serve low energy consumption; this can be reflected in the orientation of the building masses, space solutions, number of windows and various sunscreen solutions. The amount of building systems can be reduced in a stone house of low energy consumption. This results in both cost savings and good indoor air quality.

The influence of the massiveness of stone structures

has been investigated in numerous studies. The average savings provided by massive structures in heating energy amount to 5-15 % in comparison with lighter structures (result range 1-20 %) /1/.

According to a Nordic study /2/, the consumption of heating energy was 3-14 % lower in a massive single-family house than in a house built of lighter materials. The size of the impact of massiveness depends on many factors, such as mass layout, building orientation, number of windows, amount of cost-free energies and surface materials.

The influence of massiveness is even greater in terms of cooling energy. A massive building equipped with mechanical cooling consumes 20-50 % less cooling energy than a building built of extremely light materials /1/, /2/. The report of Tampere University of Technology concludes that night ventilation is inexpensive in massive buildings and can reduce the consumption of cooling energy by 20% and the cooling power by up to 40 %. In some cases mechanical cooling can be completely done without. The significance of cooling to energy savings is emphasised in low-energy buildings.

10, 11

Bayerin toimistotalon lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä, Belgia. Järjestelmässä käytetään maalämpöä ja ontelo-laatastoon asennettua vesiputkistoa. Järjestelmätoimittaja ECHO.