

# Kivitalojen ENERGIATEHOKKUUS



# **Kivitalojen ENERGIATEHOKKUUS**

**Betoniteollisuus ry**

**2010**

# Kivitalojen energiatehokkuus

**Julkaisija:** **Betoniteollisuus ry**

**Kustantaja:** **Suomen Rakennusmedia Oy**

**Taitto:** **Olli Orkoneva**

**ISBN** **978-952-5785-72-2**

**Painopaikka:** **Tammerprint Oy  
Tampere 2010**

**Kannen kuva:** **LämpöHelmi-paritalo Kuopion asuntomessuilla**

## Esipuhe

1. Betoni- ja muurattujen rakenteiden ominaisuudet
  - 1.1 Betonirakenteen ominaisuudet
  - 1.2 Muuratun rakenteen ominaisuudet ( puuttuu)
  - 1.3 Kivirakennusten terminen massa ja energiankulutus
  - 1.4 Sisälämpötilat
  - 1.5 Rakennuksen vaipan tiiveys

2. Energiatehokkuuden periaatteita  
( Mikko Saari tarkistaa käänöksen talotekniset termit)

- 2.1 Energiatehokkuusdirektiivi ja suomalaiset määräykset
- 2.2 Sisäilman lämpötila ja viihtyvyys
- 2.3 Rakennuksen vaippa ja ilmanvaihto
- 2.4 Termoaktiiviset rakennejärjestelmät
- 2.5 Energialähteet ja niiden käyttö
- 2.6 Termisen energian varastot
- 2.7 Yhteenveto

3. Kivitalon suunnittelu
  - 3.1 Pientalon suunnittelu
  - 3.2 Asuinkerrostalon suunnittelu

Lämmitys  
Jäähdytys  
Ikkunat ja rakennuksen suuntaaminen  
Terminen massa ja lämmöneristys  
Ilmanvaihto  
Asukkaiden toiminta

- 3.3 Toimisto-, liike- tai julkisen rakennuksen suunnittelu  
Lämmitys ja jäähdytys  
Passiiviset ja aktiiviset järjestelmät  
Päivänvalo ja aurinkosuojaus

## Laatastorakenteet

4. Rakentaminen 2010- määräyksillä

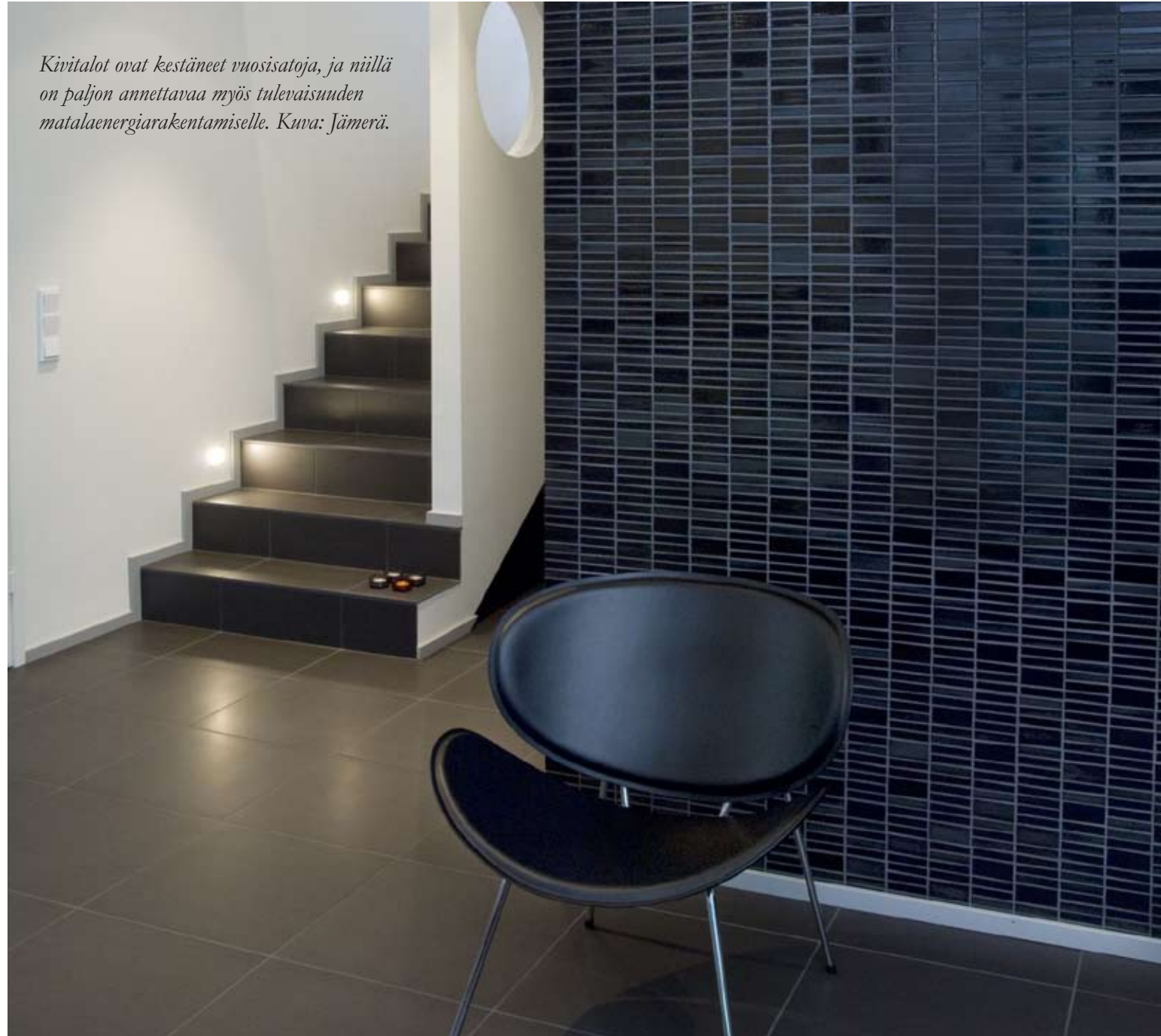
5. Matalaenergiataloista passiivi- ja nollaenergiataloihin
  - 5.1 Kehitysasteet
  - 5.2 Harkkorakenteisen passiivenergiapientalon LVI- tekniset ratkaisut
  - 5.3 Kerrostalot
  - 5.4 Toimitilarakennukset

6. Energiatehokkuus ja hiilidioksidipäästöt

7. Esimerkkirakennuksia
  - 7.1 Suomi
    - joku ATT:n kerrostalokohde tai Viikki
    - Suutarisen passiivitalo- elementtitalo
    - Laukaan asuntomessutalo- matalaenergiaharkkotalo ( Markku Vähä- Mustajärvi)
    - joku passiivenergiarahkkotalo
    - Reposen matalaenergiakerrostalo

- 7.2 Muut maat
  - saksalaiset kohteet, 5 kpl
  - hollantilaisen VBI:n joku toimittama kohde, jossa ontelo- laatastossa vesikierto ( Consolis)
  - Termodeck-pohjoismaa, ilmalämmitys ja -jäähdytys ( Consolis)

*Kivitalot ovat kestäneet vuosisatoja, ja niillä on paljon annettavaa myös tulevaisuuden matalaenergiarakentamiselle. Kuva: Jämerä.*



## Esipuhe

Rakentaminen ja kiinteistöt kuluttavat lähes 40 % Suomessa vuosittain käytettävästä energiasta. Rakentamisvaiheen osuus tästä on noin 10 % ja kiinteistöjen käytön, huollon ja kunnossapidon osuus noin 90 %. Koko Euroopan alueella energiaa säästävät matala-, passiivi- ja nollaenergiatalot kasvattavat osuuttaan. Tulevaisuudessa korkeat energiansäästötavoitteet ovat lakisääteisiä.

Betoni 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 tiive-

ys ja tasainen sisälämpötila. Materiaalien kestävyys ja pitkä käyttöikä varmistavat koko elinkaarenaikaisen pienen kokonaisenergiankulutuksen.

Matala-, passiivi- ja nollaenergiatalot tulee suunnitella siten, että rakenne- ja talotekniset järjestelmät muodostavat toimivan kokonaisuuden. Rakennuksen arkkitehtuurin tulee palvella myös energiansäästöä. Tämä näkyy esimerkiksi rakennusmassojen suuntauksessa, tilaratkaisuissa, ikkunoiden määrässä sekä erilaisissa auringonvalon varjostusratkaisuissa.

Betoniteollisuus ry.

# I . Kivirakenteen ominaisuudet

## I.1 Kivirakenteen yleiset ominaisuudet

Nykyaikainen kivirakennus tehdään betonista, tiilestä tai erilaisista harkoista.

Betoni on nykyisin eniten käytetty rakennusmateriaali maailmassa. Tämän mahdollistaa raaka-aineiden hyvä saatavuus eri puolilla maapalloa ja yksinkertainen valmistusteknologia. Siitä tehdään rakennuksen runkoja ja julkisivuja, siltoja, patoja, teitä ja muita infrarakenteita, pihakiviä, putkia ja harkkoja sekä myös taideteoksia.

Poltettu tiili on yksi maailman vanhimmista ja käytetyimmistä rakennusmateriaaleista. Vanhimmat tiilirakennukset ovat yli 5 000 vuoden ikäisiä. Myös Suomen vanhimmat rakennukset on tehty poltetusta tiilestä.

Poltettu tiili on yksi monipuolisimmista ja parhaista rakennusmateriaaleista niin sisällä kuin ulkonakin. Täys-tiilitalot, pien- ja kerrostalojen sekä julkisten rakennusten julkisivut, muuratut savupiiput ja tulisijat ovat kohteita, joissa tiilen erinomaiset ominaisuudet pääsevät oikeuksiinsa.

Betoni ja tiili ovat kivipohjaisina materiaaleina kestäviä, lujia ja vähän huoltoa vaativia. Kivirakennukset säästävät massiivisina ja tiiviinä energiaa koko elinkaaren ajan ja niillä saadaan asuntoihin hyvä ääneneristävyyden ja paloturvallisuus. Pitkä käyttöikä yhdistettynä rakennuksen

### Kivitalojen vahvuudet

- luonnon raaka-aineista valmistettu
- terveellinen sisäilmasto
- luja, kestävä ja pitkäikäinen
- paloturvallinen
- energiaa säästävä
- hyvin ääntä eristävä
- kokonaisedullinen
- materiaalit kierrätettäviä

muunneltavuuteen ja energiansäästöominaisuuksiin takaavat sen, että kivitalot ovat samalla sekä ekotehokkaita että elinkaarikustannuksiltaan edullisia.

## I.2 Kivirakennuksen terminen massa ja energiankulutus

Rakennusten lämmitykseen, valaistukseen ja jäähdytykseen käytetty energia on lähes 40 % koko maan primäärienergian kulutuksesta. Rakennusten energiankulutuksen pienikin vähentäminen alentaa merkittävästi hiilidioksidipäästöjä.

Massiivinen rakennus on yleensä sellainen, jossa massaa on vähintään 500 kg/m<sup>2</sup>. Massan tulee sijaita vaipan lämmöneristekerroksen sisäpuolella. Massa voi olla väliala- tai yläpohjissa, väliseinissä ja ulkoseinissä.

Rakennusmateriaalien kyky varastoida ja vapauttaa energiaa lämpöä varaavia rakenteita hyödyntäen vaikuttaa merkittävästi rakennusten energiatehokkuuteen. Raskaana materiaalina betoni toimii varastona ja hyödyntää näin vapaita lämpökuormia, kuten auringon säteilyä (aurinkoenergia) sekä ihmisistä, valaistuksesta ja kodin-/konttori-koneista vapautuvaa lämpöä varastoimalla niiden energian ja luovuttamalla sitä myöhemmin sisätiloihin.

Betonirakenteiset lämpöä varaavat rakenteet säästävät lämmitys- ja jäähdytysenergiaa. Ne vähentävät myös merkittävästi sisälämpötilan vaihtelua ja kesän huippulämpötiloja. Lämpöä varaavia rakenteita voidaan käyttää aktiivisesti esimerkiksi yöaikaisessa jäähdytyksessä tai ilmalämmityksessä, jolloin lämmitys voi tapahtua varaavasti halvemmalla yösaikalla.

Esimerkiksi lattialämmitys toimii parhaimmin betonirakenteeseen asennettuna. Varautunut lämpö siirtyy tasaisesti sisäilmaan. Betonilaattaan sijoitetulla lattialämmityksellä voidaan lämmityksen ja käyttöveden tarvitsemasta energiasta saada 80 % edullisemmalla yösaikalla. Samalla saadaan aikaan tasainen lämmönjako ja miellyttävän lämmön lattia.

### Massiivisuuden vaikutus on varmistettu tutkimuksin

Kivirakenteiden massiivisuuden vaikutusta on selvitetty lukuisissa tutkimuksissa. Eurooppalaisissa tutkimuksissa

**Termisesti raskas rakenne toimii lämpöenergiaa sitovana varastona. Materiaalit ovat tässä suhteessa hyvin erilaisia.**

**Mineraalivilla** johtaa ja sitoo huonosti lämpöä. Materiaali ei siis varastoi lämpöä, mutta eristää hyvin.

**Teräksellä** on hyvä lämpökapasiteetti, mutta se johtaa lämpöä liian hyvin.

**Puulla** on myös suhteellisen hyvä lämpökapasiteetti, mutta se johtaa lämpöä huonosti. Siksi se toimii energiavarastona vuorokausirytmien nähtäessä liian hitaasti.

**Betonilla ja tiilellä** on hyvä lämpökapasiteetti ja keskimääräinen lämmönjohtokyky. Tämä yhdistelmä sekä suuri rakenteiden ominaispaino tekevät näistä materiaaleista energiaa säästäviä.

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. Säästö oli suurempi, kun rakennuksen ikkunapinta-ala kasvoi.

Jäähdytysenergian kulutuksessa massiivisuuden vaiku-

tus on 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 kuluusta 20 % ja jäähdytystehoa suurimmillaan 40 %. Joissain tapauksissa jäähdytysenergiaa ei kulu lainkaan, kun koko koneellinen jäähdytys voidaan jättää pois.

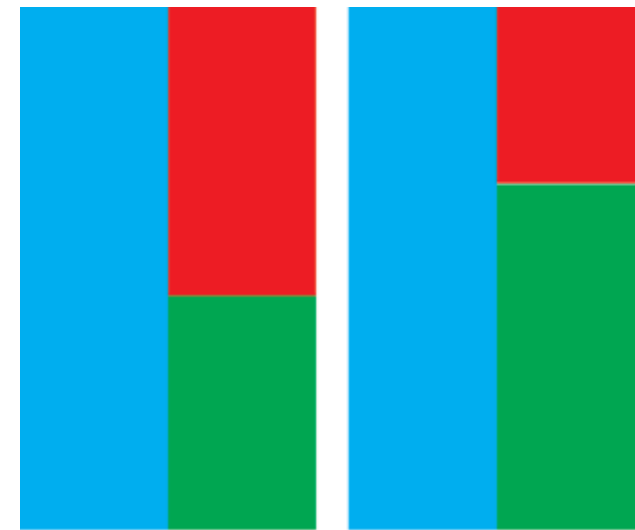
Massiivisuuden vaikutuksen suuruus riippuu käytännössä monista tekijöistä, kuten massan sijoittelusta, rakennuksen suuntauksesta, ikkunoiden määrästä, ilmaisenergioiden määrästä sekä pintamateriaaleista.

Rakennusten energiankulutus lasketaan eurooppalaisen standardin EN ISO 13790:2008 /16/ mukaan /17/. Massiivisen rakenteen lämpökapasiteetin vaikutus otetaan laskelmissa huomioon ns. aikavakion avulla.

### 1.3 Sisälämpötilat

Rakentamismääräykset /15/ edellyttävät, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan siten, etteivät tilat lämpene haitallisesti. Liiallisen lämpenemisen estämiseksi kesällä tulee käyttää ensisijaisesti rakenteellisia keinoja. Määräyksissä todetaankin, että vuorokautisten lämpötilojen tasaamiseen tulee käyttää rakenteiden lämmönvarauskykyä ja tehostettua ilmanvaihtoa yöllä. Betoni ja tiili sopivat hyvin tähän tarkoitukseen.

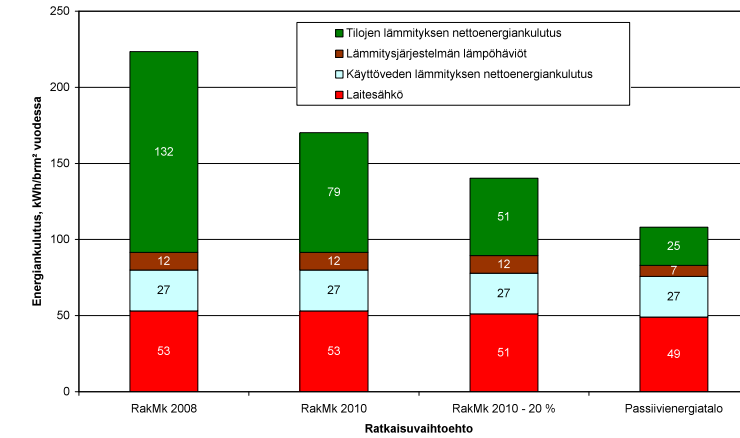
Kun rakennuksista tehdään yhä paremmin lämpöä eristäviä ja tiiviimpiä, niissä ilmenee kesällä helposti jäähdytystarvetta. Mm. IEA:n (International Energy Agency) raportti /5/ pitää luonnollista ja passiivista jäähdytystä ensisijaisena keinona liian korkean sisälämpötilan alenta-



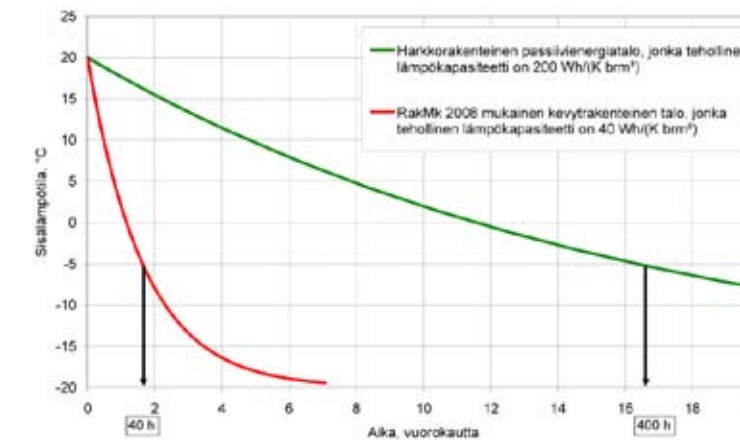
*Kivitalon ja kevytrakenteisen talon energiantarpeen jakauma.*

miseen.

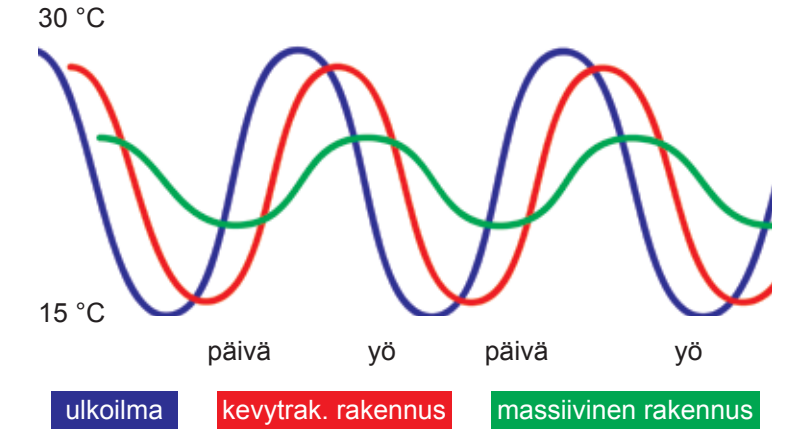
Rakennuksen sisäilman laatu paranee, kun massan lämpökapasiteetti leikkaa korkeimmat kesän sisälämpötilat pois. Massiivisuuden etu on suhteellisesti suurin, kun ikkunapinta-ala on suuri, ikkunat on suunnattu etelään ja rakennetaan muutenkin matalaenergiaratkaisu. Massiivi-



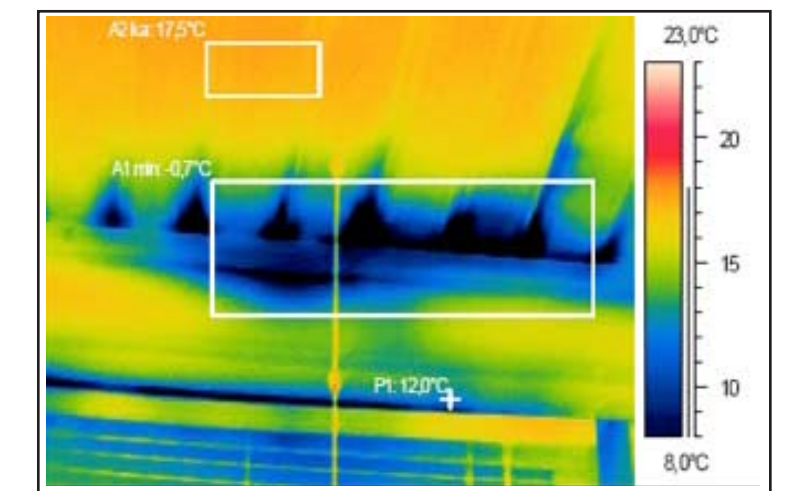
*Harkkopientalon eri ratkaisuvaihtoehtojen vuotuiset ominaisenergiankulutukset.*



*Hyvä lämmöneristys ja massiiviset sisä rakenteet bidastavat talon viilenemistä lämpökatkon aikana. Ulkoilman lämpötila on -20 astetta. /18/*



*Massiivinen kivirakennus tasaa kesäajan sisälämpötilahuippuja 3-6 astetta ulkolämpötilaan nähden ja huippulämpötila viivästyy kuusi tuntia. Kevytrakenteisen rakennuksen tasaava vaikutus on pieni.*



*Lämpökamerakuva paljastaa seinän ja yläpohjan välisen lämpövuodon.*

### Betoni- ja muuratun rakennuksen lämmönva- rauskyvyn ansiosta

- rakennuksen ilmaisenergiat saadaan hyötykäyt-  
töön
- säästetään 5-15 % lämmitysenergiasta
- tasataan ja alennetaan liian korkeita sisälämpöti-  
loja 3-6 astetta
- voidaan poistaa jäähdytystarve kokonaan, tai  
säästetään 20- 50 % jäähdytysenergiasta
- yöaikaista ilmanvaihtoa voidaan hyödyntää pois-  
tamaan jäähdytystarve päivällä
- voidaan siirtää toimistojen ja muiden liikekiinteis-  
töjen huippulämpötilat ajankohtaan, jolloin rakennus  
on tyhjiillään
- voidaan soveltaa matalalämpötekniikkaa (esim.  
maalämpö) edullisesti
- voidaan pienentää rakennuksen CO<sub>2</sub>- päästöjä
- voidaan pienentää talotekniikan investointikustan-  
nuksia
- mahdollistetaan alhaisilla lämpötiloilla toimivien  
järjestelmien käyttö
- saadaan toimivat ratkaisut matala- ja passiivien-  
giataloihin

silla rakenteilla voidaan sisälämpötilan vaihteluita ja erityi-  
sesti kesäisiä lämpötilahuippuja alentaa merkittävästi. Jos  
rakennuksessa ei ole koneellista ilmastointia, korkeimmat  
sisälämpötilat kesällä ovat raskaassa kivirakennuksessa  
3-6 astetta alempia kuin vastaavassa kevytrakenteisessä  
talossa /1/.

Pohjoismaisessa tutkimuksessa verrattiin massiivisen  
asuinrakennuksen ja kevytrakenteisen asuinrakennuksen  
yötuuletuksen vaikutusta jäähdytysenergian kulutukseen.  
Kun yötuuletus on kolminkertainen päivätuuletukseen  
nähdessä, jäähdytysenergian kulutus vähenee massiivisessa  
rakennuksessa noin kolmanneksella kevyeen rakennuk-  
seen verrattuna.

## 1.4 Rakennuksen vaipan tiiveys

Kivirakenteiden hyvä tiiveys vähentää energiankulutusta.  
Tiiveyden merkitys kasvaa jatkuvasti vaipan lämmöneris-  
tävyuden parantuessa ja ilmanvaihdon lämmöntalteen-  
oton kehittyessä.

Aiemmin ajateltiin, että rakennuksen vaipan pitää hen-  
gittää. Nykyisin puhdas sisäilma ja kosteudenpoisto sisältä  
perustuu koneelliseen ilmanvaihtoon. Se taas toimii hyvin  
vain, kun vaippa on erittäin tiivis.

Rakennuksen n<sub>50</sub>-ilmanvuotoluvun pienentyessä  
1,0:lla säästyy noin 7 % lämmitysenergiasta ja 4 % koko-  
naisenergiasta.

TTY:n ja TKK:n AISE- tiiveystutkimuksessa mitat-  
tiin pientalojen ja asuinkeuhkotalojen tiiveyttä /3/. Tutki-  
muksen selkeä havainto oli, että kivirakenteisten pien- ja  
kerrostalojen keskimääräinen ilmanpitävyys on hyvä (ka.  
2,3 ja 1,1 1/h) ja parempi kuin vastaavien puurunkoisten



### TTY:n ja TKK:n tiiveystutkimuksessa saadut pienta- lon keskimääräiset ilmanvuotoluvut n<sub>50</sub>

- |   |     |
|---|-----|
| ● kivitalo <sup>1</sup> kivirakenteisella yläpohjalla | 1,4 |
| ● kivitalo <sup>1</sup> puurakenteisella yläpohjalla  | 2,3 |
| ● puutalo   | 3,9 |
| ● hirsitalo tiiviimmällä saumalla                     | 4,1 |
| ● hirsitalo, perinteinen                              | 7,9 |

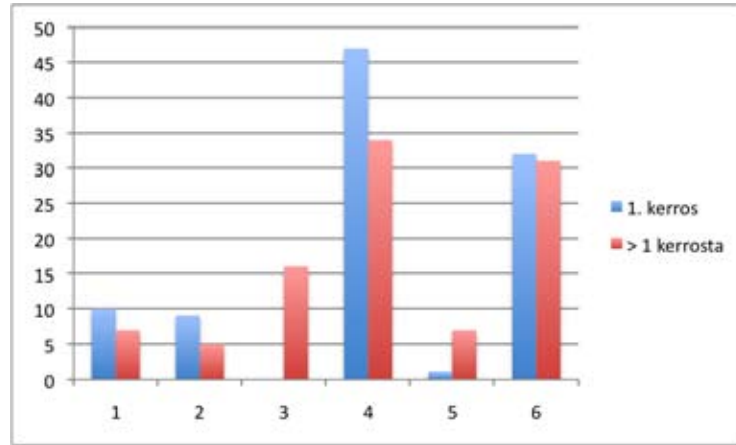
<sup>1</sup> mukana betonielementti- sekä kevytbetoni- ja be-  
toniharkkotalot

talojen (ka. 3,9 ja 2,6 1/h).

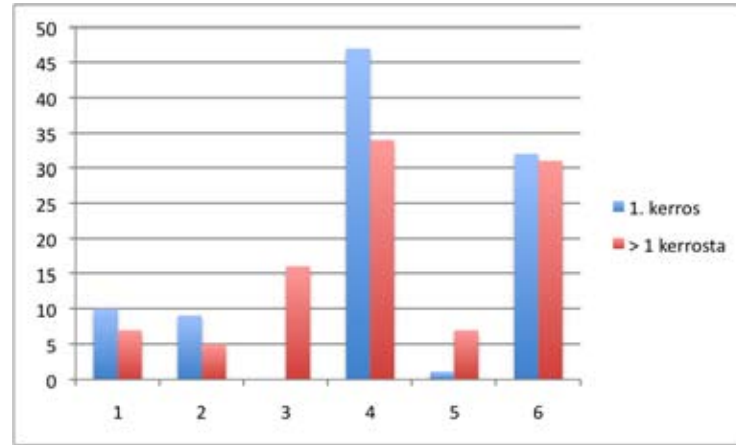
Betonielementeistä tehdyssä pilottipientalossa on  
päästy jo tiiveydessä tasolle n<sub>50</sub> = 0,1! Betonisissa asuinke-  
rostaloissa päästään huolellisella työllä ilmanvuotolukuun  
0,5 ja jopa sen alle. Passiivien-energiataloissa on tavoitteena  
päästä vähintään ilmanvuotolukuun 0,6. Tämä onnistuu  
helpoiten juuri kivirakennuksissa, jossa materiaalit ovat jo  
itsessään tiiviitä.

Betonirakenteiden massiivisuuden ja tiiveyden hyöty  
on merkittävä. Jo 5 prosentin säästö rakennuksen käytön-  
aikaisessa energian kulutuksessa tarkoittaa nykyrakennuk-  
sissa noin 4 prosentin säästöä rakennuksen koko elinka-

*Tiiveys on välttämätön edellytys rakennuksen energiatalou-  
dellisuudelle. Kuvassa mitataan MERA-talon ikkunan tiiveyttä.*



1. Ilmansulun läpiviennit, sähköasennukset
2. Ulkoseinä ja alapohja liittymä
3. Ulkoseinä ja välipohja liittymä



4. Ulkoseinä ja yläpohja liittymä
5. Ulkoseinä ja ulkoseinä liittymä
6. Ovet ja ikkunat

*Ilmanvuotokohtien prosentuaalinen jakauma kerrosten mukaan pientaloissa (vasen) ja kerrostaloissa (oikea).*

renaikaisessa energiankulutuksessa, koska käyttövaiheen osuus kokonaiskulutuksesta on noin 80 %. Säästö on samaa suuruusluokkaa kuin rakennuksen kaikkien betoni-rakenteiden valmistukseen rakentamisvaiheessa tarvittava energiamäärä.

Kun rakennuksen tiiveyttä parannetaan, on huomiota kiinnitettävä ensisijaisesti ikkuna- ja oviliitoksiin, seinän ja yläpohjan liitokseen, kattoikkunoihin, huoltoluukkuihin ja rakennusvaipan lävistyksiin.

## 2. Energiatehokkuuden periaatteita

### 2.1 Energiatehokkuusdirektiivi ja suomalaiset määräykset

EU on linjannut tavoitteekseen 20 %:n energiansäästön vuoteen 2020 mennessä.

Marraskuussa 2008 Euroopan komissio julkisti strategisen energiakatsauksensa. Yksi osa strategiaa oli energiatehokkuusdirektiivin uudistaminen. Toukokuussa 2010 EU:n parlamentti hyväksyi uudistetun rakennusten energiatehokkuutta parantavan direktiivin. Kansalliset säädökset laaditaan kesään 2012 mennessä. Direktiivissä painotetaan julkisen sektorin toimenpiteitä, energiatodistuskäytännön tehostamista sekä hiilidioksidipäästöiltään tai primäärienergiankulutukseltaan alhaisten ja nollaenergiatalojen rakentamisen lisäämistä.

Direktiivi asettaa rakennusten energiankulutukselle minimivaatimukset ja edellyttää niiden noudattamista. Se edellyttää myös energiatodistusta rakennuksilta. Rakennusten passiiviset lämmitys- ja jäähdytyskeinot tulee tutkia. Lisäksi direktiivi vaatii, että energiansäästö ei saa heikentää sisäilman laatua. Energiansäästö edellyttää jatkossa koko rakennuksen optimointia, jossa myös rakennusmateriaalien energiansäästöominaisuudet otetaan huomioon.

**2010: Rakennusten energiantarpeen pienentäminen määräyksillä noin 30 % nykytasosta**

- Uudet määräykset voimassa

**2012: Rakennusten energiamääräysten kiristäminen edelleen 20 prosentilla**

- Energiamuodot otetaan huomioon (primäärienergiakertoimet). Määräykset valmistuvat vuonna 2010.

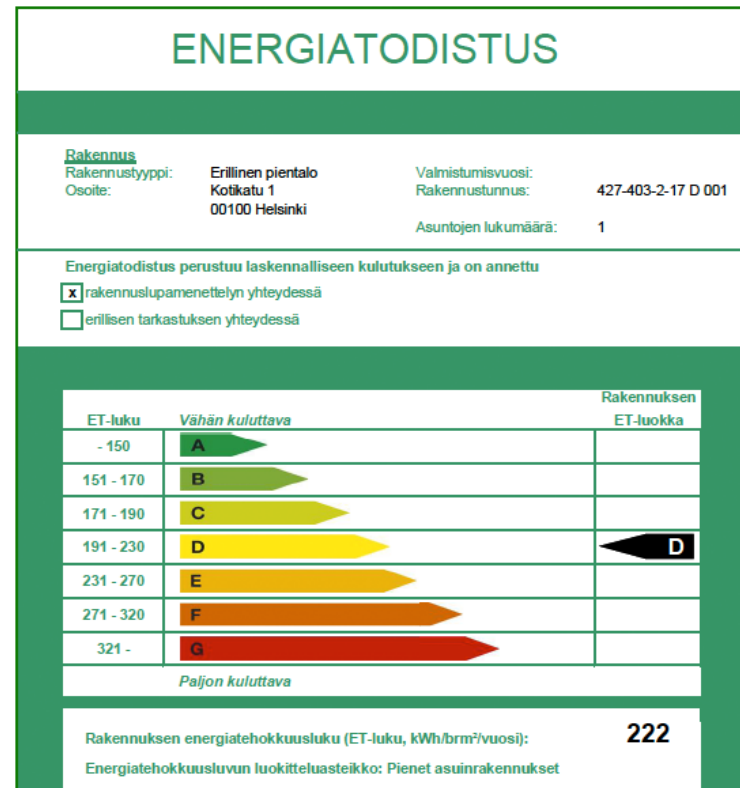
**EU:n tavoite 2015-2020: Kaikki uudisrakentaminen on erittäin energiatehokasta, lähes nollaenergiata-soa**

- Vuositasolla ostoenergian tarve 0 kWh/m<sup>2</sup>

Jäsenvaltioiden velvollisuus on vahvistaa rakennusten ja rakennusosien energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset. Ne olisi asetettava siten, että saavutetaan optimaalinen ratkaisu rakentamiskustannusten ja elinkaaren aikana säästettyjen energiakustannusten välillä. Jäsenvaltiot voivat kuitenkin asettaa myös kustannusoptimia energiatehokkaampia vaatimuksia.

**Direktiivi mm. vaatii että energiansäästö ei saa heikentää sisäilman laatua.**





Rakennuksille laaditaan jatkossa energiatodistus, joka kertoo luokkana rakennuksen energiatehokkuuden. Parhaimmat talot tulevat olemaan A+ ja A++- luokassa.

## 2.2 Sisäilman lämpötila ja viihtyvyys julkisissa rakennuksissa

Erilaisten julkisten rakennusten käyttötarkoitukset eroa-

### Ihmisen ja ympäristön välisen lämmönvaihtelun aiheuttavat

- konvektio (lämmön luovutus ja varastoiminen)
- nesteen haihtuminen (lämmön luovutus)
- lämpösäteily (lämmön luovutus ja varastoiminen)
- lämmön johtuminen (lämmön luovutus ja varastoiminen)

### Sisäilman viihtyisyyteen oleellisesti vaikuttavat tekijät ovat

- ilman lämpötila
- ympäröivien pintojen lämpötila
- suhteellinen ilmankosteus
- ilman virtausnopeus
- ihmisen vaatetus
- toiminnan laatu

vat toisistaan. Silti näissä tiloissa on voitava tuottaa viihtyisä sisäilmasto. Tärkeimmät sisäilmastoon vaikuttavat tekijät ovat huoneen ja ympäröivien pintojen lämpötilat sekä ilman kosteus. Kun työprosessit moninaistuvat, laatuvaatimukset kasvavat ja ihmisten vaatimustaso nousee,

huomaavat tilojen käyttäjät yhä herkemmin sisäilmaston virheet.

Sisäilmaston laatu eli terminen viihtyisyys vaikuttaa suoraan ihmisen suorituskykyyn ja työtyytyväisyyteen. Ympäristö mielletään viihtyisäksi, jos sen lämpötila tuntuu sopivalta – ei liian kuumalta, eikä liian kylmältä.

Pienetkin sisäilmaston laatueroavaisuudet tuntuvat usein kielteisiltä. Ihmisen kehon lämmönsäätelyyn vaikuttavat aineenvaihduntaprosessit sekä lämmönvaihtelu ihmisen ja ympäristön välillä. Mukavaksi koettu lämpötila vaihtelee yksilöllisesti.

Ennen kaikkea toimisto- ja hallintorakennusten suunnittelijan on otettava huomioon rakennuksessa työskentelevien mielipiteet viihtyisästä sisäilmasta. ISO 7730 –standardissa esitetyt käytännöt pohjautuvat pitkäaikaisiin tutkimuksiin. Niiden tulosten perusteella voidaan määrittellä ”viihtyisä sisäilmasto” ja sitä mukaa siihen tyytyväisten osuus fiktiivisessä käyttäjäryhmässä. Tämä määrittely perustuu yleiskäsitykseen ihmisen reaktioista lämpövaihteluihin ja se esitetään PMV-indeksillä (predicted mean vote).

Suunnitteilla oleville rakennuksille voidaan valita yksi kolmesta ISO 7730 -standardin määrittelemästä mukavuusluokasta. Korkeimmassa mukavuusluokassa tyytymättömien käyttäjien määrä on vähäinen, mutta toisaalta myös vaatimukset ovat korkeammalla.

Vuodenaikojen väliset suurehkot sääolosuhteiden muutokset asettavat erityisiä vaatimuksia rakennuksille. Kylminä vuodenaikoina on minimoitava lämpöhäviöt ja asetettava lämmön talteenotto maksimaaliselle tasolle. Lämpiminä vuodenaikoina on sitä vastoin pyrittävä estämään lämmön siirtymistä tiloihin ja mahdollistettava läm-

mönsiirto pois tiloista.

Suunnitteluvaiheessa sattuneet virheet johtavat energian kulutuksen kasvuun, sillä rakennusfysikaaliset puutteet pakottavat käyttämään ylimääräisiä taloteknillisiä ratkaisuja. Siksi rakennuksen sisäilma onkin keskeisessä asemassa rakennuksen kokonaisvaltaisessa suunnitteluprosessissa, jossa ensisijaisesti pyritään luomaan järkevä yhdistelmä talotekniikan ja rakenteiden välille. Panostaminen energiatehokkaisuun rakenteellisiin ratkaisuihin on ilman muuta taloudellisempaa ja kestävämpää kuin talotekniikan lisääminen.

## 2.3 Rakennuksen vaippa ja ilmanvaihto

### Lämmöneristys talvella

Rakennuksen vaippa toimii sisä- ja ulkoilman välisenä rajana, joka erottaa käyttäjän ja ympäristön toisistaan. Siksi vaipan on varmistettava lämmöneristys sekä talvella että kesällä, päästettävä riittävästi päivänvaloa tiloihin ja estettävä ilmanvaihdosta aiheutuvia suunnittelemattomia lämpöhäviöitä. Energiatasapainoa määriteltäessä lämpöä vaihtavat pinnat (katto, perustuslaatta, julkisivu) ovat ratkaisevassa asemassa.

Jotta lämpöenergiaa voidaan hyödyntää tehokkaasti talvella, on rakennuksen oltava hyvin eristävä. Hyvin suunnitellen voidaan kivirakentamisella saada aikaan jopa lähes kylmäsillattomia rakenteita. Lasipintojen määrän ei tulisi ylittää 30 % koko julkisivusta.

Kivirakenteisten julkisivuelementtien sisäpintojen lämpötila on korkeampi kuin lasipintojen. Lasipintojen

kylmentyminen talviaikaan saattaa aiheuttaa lämpötilan alentumista lattian läheisyydessä.

## Lämmöneristys kesällä

Rakennusosien aiheuttamia lämpöhäviöitä pystytään nykyään vähentämään jopa niin paljon, että lämpöenergiahäviöt johtuvat enää vain tuuleuksesta. Lisäksi julkisten rakennusten suuret sisäiset lämpökuormat tekevät rakennuksen lämmitystarpeesta toisarvoisen seikan.

Sisäilman suurimmat ongelmat tulevat esille kuumien kesäkuukausien aikana. Valaistuksen ja laitteiden aiheuttamat korkeat lämpökuormat nostavat päiväsaikaan erityisesti toimisto- ja hallintorakennuksien lämpötilaa huomattavasti. Toisaalta aurinko kuumentaa entisestään tiloja, joissa julkisivun lasipintojen osuus on suuri. Kesällä sisätilojen epämiellyttävyys johtuu ylikuumentumista. Se puolestaan rajoittaa käyttäjien työn tehokkuutta ja vaikuttaa kielteisesti työtyytyväisyyteen sekä saa aikaan työturvallisuusongelmia. Auringon säteilyn kokonaisläpäisykerroin kertoo, kuinka paljon aurinkoenergiaa kaiken kaikkiaan pääsee sisälle rakennukseen valoa läpäisevien

### Tilapäiset ääriolosuhteet ovat seurausta seuraavien tekijöiden vaihtelusta

- ulkolämpötila
- auringon säteilyn voimakkuus
- ilmanvaihdon määrä
- henkilöistä, valaistuksesta ja laitteista aiheutuvat sisäiset lämpökuormat

rakennusosien kautta. Lämmön johtumista lasipintojen läpi voidaan vähentää aurinkosuojilla. Ne vahvistavat säteilyn heijastumista pois päin rakennuksesta ja vähentävät säteilyn välittymistä tiloihin. Lämmön johtuminen rakennukseen on usein suurinta rakennuksen itä- ja länsipuolella, jolloin auringon säteet osuvat rakennukseen lähes vaakasuoraan. Rakennuksen eteläpuoleisen julkisivun huoneet voivat talvella ylikuumentua, kun aurinko paistaa matalalta. Silloin kiinteä aurinkosuoja ei riitä, vaan tarvitaan siirreltävässä oleva aurinkosuoja.

Yhä tehokkaammat aurinkosuojat voivat pimentää tiloja ja peittää muutenkin vapaata näköalaa. Tilojen käyttäjät korjaavat silloin tilanteen keinovalaistuksella – energiatehokkuuden ja huonelämmön kustannuksella.

Aurinko voi ylikuumentaa rakennuksen niitä tiloja, joissa on lasijulkisivu. Betonijulkisivuissa ylikuumentumisen vaara on oleellisesti pienempi.

## Ilmanvaihto

Rakennuksen sisäilman laatu riippuu rakennuksen ilmanvaihdosta.

### Sisätilojen lämpenemiseen vaikuttavat

- rakennuksen suuntaus
- ikkunapinta-alan osuus seinäalasta
- ikkunoiden auringon säteilyn läpäisy
- aurinkosuojaus, vuodenaika ja vuorokaudenaika



*Kivitalon massiiviset osat tasaavat sisälämpötiloja varaamalla talvella auringon lämpöä ja kesällä yön viileyttä. Passiivitalo Salomaa, Kaarina / Lammi-kivitalot. Kuva: A1 Media.*

Talvella suurin osa rakennuksen lämpöenergiasta poistuu ilmanvaihdon kautta. Lämmitysenergiaa tarvitaankin ennen kaikkea tasaamaan ilmanvaihdon lämpöhäviötä. Kesällä lämmenneet ilmassat täytyy sisätilojen viihtyvyyden vuoksi vaihtaa viileämpään ilmaan. Tarvittava ilmanvaihto voidaan määrittellä raikkaan ilman tarpeen sekä sisäisten lämpökuormien perusteella.

Julkisissa rakennuksissa ilmanvaihdon ratkaisuihin voidaan käyttää joko luonnollista tai koneellista ilmanvaihtoa. Luonnollisena ilmanvaihtotapana voidaan pitää tavonomaista, omien tarpeiden mukaista ikkunatuuletusta, jolloin avataan joko yksi ikkuna tai ristivedon saamiseksi useampi ikkuna. Luonnollisiksi tuuletusjärjestelmiksi luokitellaan myös painovoimainen kanavoitu poistoilmanvaihto sekä ilmanvaihto katossa olevien luukkujen kautta, jolloin käytetään hyväksi lämpimän ilman pyrkimystä kohota ylöspäin. Tämä ilmanvaihtotapa ei ole yksiselitteinen, sillä ulkoiset ja sisäiset ääriolosuhteet saattavat aiheuttaa ilmanvaihdollisia ongelmia. Koska ikkunatuuletus onnistuu vain tietyistä korkeudesta ylöspäin ja vain tietyille rakennustyypeille, on tuuletuksen tehostajana tai sen korvaajana käytettävä koneellista ilmanvaihtoa. Näillä järjestelmillä on merkittäviä etuja ilmanvaihdon ohjailun ja ilmanjakamisen suhteen ja ne mahdollistavat lämpöenergian talteenoton käytetystä sisäilmasta.

Yksi mahdollinen tapa lämpöenergian talteenottamiseksi on ilman johtaminen kaksoisjulkisivun välitilaan, jossa kylmä ulkoilma lämpiää ennen kuin se tuloilmana johdetaan sisätiloihin. Kesällä ilmassat saattavat kuitenkin lämmitä voimakkaasti varsinkin, jos auringonsäteilyn aiheuttama lämpöenergia kerääntyy sisällä oleviin aurinkosuojarakenteisiin. Poistoilman lämpöenergia voidaan

myös käyttää hyödyksi lämmönsiirtimien, lämmön talteenottolaitteiden tai poistoilmalämpöpumppujen avulla. Näin se voidaan käyttää raittiin ilman esilämmittämiseen. Termisesti korkealaatuisissa rakennuksissa voidaan lämmitystarve hoitaa kokonaan menetelmillä, joilla ilmasta saatava lämpöenergia otetaan talteen.

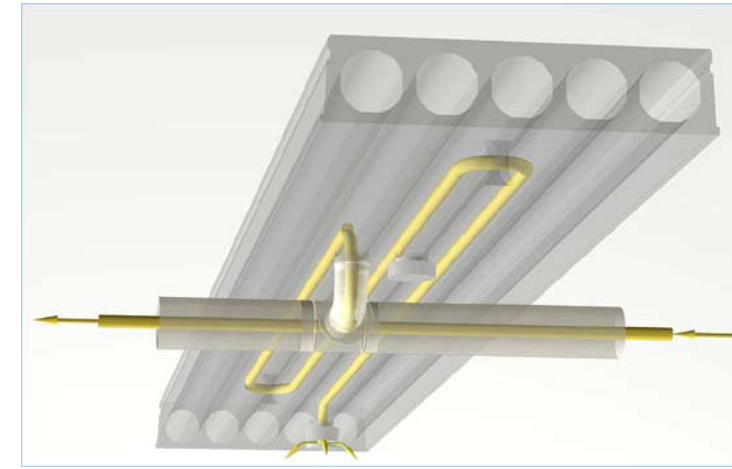
Sisäilmanvaihto julkisissa rakennuksissa tapahtuu syrjäyttämisen- tai sekoitusilmanvaihdon periaatteella. Rakennuksissa, joiden välipohjissa on käytetty betonisia ontelolaitteita, voidaan tilojen ilmanvaihtoon käyttää ilmanpoistoa laataston kautta. Ontelolaitteista valmistetuissa välipohjissa on myös runsaasti asennustilaa teknisille laitteille ilman alaslaskettuja kattoja tai kaksoisvälipohjaa.

Keskitettyissä tuloilmajärjestelmissä ulkoilma voidaan esikäsitellä ilmaan tai maahan asennetussa lämmönkeruuputkistossa. Maahan asennetut lämmönkeruuputkistot ovat joko rakennuksen alle tai ympärille maahan upotettuja putki- tai kanavaverkostoja, joissa sisäänotettava ulkoilmavirta lämpenee tai viilenee.

## Betoni lämpövarastona

Sisätilojen lämmönsäätelyssä rakennuksen lämmönvarausominaisuus on ratkaisevan tärkeä. Siksi massiivisten rakennusmateriaalien lämmönvarauskyvyn ja järjestelmien teknisten ominaisuuksien arviointi on tärkeässä rakennussuunnittelussa välttämätöntä. Betoni- ja muurattujen rakenteiden hyvää lämmönvarausominaisuutta voidaan hyödyntää ns. passiivisesti tai erilaisilla aktiivisilla järjestelmillä.

Massiivisten pilareiden, seinien ja välipohjien ansiosta betonisilla rakennuksilla on käytettävissään suuri pinta-



Kuva. Ontelolaitteen käyttäminen lämpövarastona TermoDeck-järjestelmässä.

aktiivinen lämpökapasiteetti. Betonielementeistä rakennetuilla pinnoilla on suuremman tiheyden ja paremman lämmönjohtokyvyn ansiosta jonkin verran parempi lämmön vastaanotto- ja varastoimiskyky kuin massiivisilla muuratuilla rakenteilla ja pinnoilla. Betonirakenteiden hyvät lämmönjohto-ominaisuudet pääsevät parhaiten oikeuksiinsa, jos sisäilma pääsee suoraan kosketuksiin betonipinnan kanssa. Betonirakenteiden itsesäätelyominaisuus on todella hyödyllinen varsinkin tiloissa, joissa hetkellisesti esiintyy suuria lämpökuormia. Ylilämpö imeytyy massiivisiin betonirakenteisiin, josta se myöhemmin vapautuu takaisin ilmaan. Tällaisia tiloja ovat mm. toimisto- ja hallintorakennukset, koulut, teatteri- ja elokuvasalit sekä muut näyttely- ja tapahtumatilat, joissa on kerralla paljon ihmisiä.

Betonin lämpöoloja tasaava vaikutus rajoittaa päivisin lämpötilan kohoamista ja yöaikaan lämpötilan laskua luovuttamalla varastoituneen lämpöenergian hitaasti takaisin tiloihin, kun auringon säteilystä, lämpimästä ulkoilmasta, valaistuksesta, toimistolaitteista ja ihmisistä aiheutuneet lämpökuormat ovat pienempiä. Kesällä kuumien hellejaksojen aikana syntyvän lämpöenergian määrä on niin suuri, etteivät betonirakenteet pysty varastoimaan kaikkea tätä energiamäärää vaan niiden varastot ”täyttyvät”. Silloin massiivisten rakenteiden säätelytoiminto rajoittuu. Betonirakenteiden täysiä ”lämpövarastoja” voidaan kuitenkin tyhjentää sopivalla ilta- ja yötuuletuksella, mikä takaa betonirakenteiden jatkuvan aktiivisen toiminnan päiväsaikaan. Julkisissa rakennuksissa, joissa lämmönsiirrosta johtuvat lämpöhäviöt ovat vähäiset ja ilmastointi on kontrolloitua, sisälämpötilat riippuvat ratkaisevasti auringon lämmöstä.

## 2.4 Termoaktiiviset rakennejärjestelmät

Termoaktiivisten rakennejärjestelmien tehtävä on lämmitellä ja jäähdyttää tiloja vähäisen pintaan kohdistuvan tehon avulla. Betonin varauskyvyn ansiosta näillä järjestelmillä onnistutaan muuttamaan rakenteen onteloissa kulkevilla vaihteittain, ympäristön lämpötilaa nähden päinvastaiseksi. Huoneen lämpötila laskee kesällä päiväsaikaan, kun välittäjäaine imee lämpöä huoneesta. Yöaikaan taas päivällä absorboitunut lämmin ilma palautuu takaisin tilaan. Viileä yöilma sitoo lämpöenergiaa itseensä ja kuljettaa sen ilmanvaihdon kautta pois rakennuksesta, jos se on tarpeen. Termoaktiiviset välipohjat tukevat betonin itsesää-

telyefektiä ja hellekausina ne estävät sisätilojen lämpötilan kohoamisen epämiellyttävän korkeaksi. Talvella sisätilat voidaan lämmittää nestemäisen välittäjäaineen kierrolla.

Betonilaatastoon asennetaan joko putkia tai lämmönvaihtoputkistoja, joissa nestemäinen välittäjäaine kiertää. Betonirakenteen aktivointia hallitaan säätelemällä välittäjäaineen massavirtaa sekä tulolämpötilaa. Järjestelmän käyttölämpötila säädetään lämmönlähteiden lämpötilaston ja sisäilman viihtyvyyden rajojen mukaan. Elementin yläpinnalla lämpö siirtyy säteilynä ja konvektiona, minkä johdosta lämmitys- ja jäähdytysteho muuttuvat, kun ilma kohtaa välipohjan. Siksi elementin alapuolta ei saa päällystää tai peittää.

Huoneakustiikkaa voidaan sen sijaan parantaa asentamalla ripustettu sisäkatto. Koska sisäkattojen ja välipohjan etäisyys toisistaan on vapaasti valittavissa ja niiden asennukseen tarvittava kosketuspinta-ala on vähäinen, ei termisesti aktivoitujen välipohjien toiminnan tehokkuus juuri muutu.

Lämmön jakautuminen ja lämpösäteily sisätiloissa edellä kuvatulla tavalla on miellyttävää, koska lämpöä poistetaan tilasta ja johdetaan sinne kaikkien pintojen kautta. Jos betonivälipohjiin on asennettava askelääntä vaimentava eriste, voidaan rakentaa myös erillisiä lämmönsiirtojärjestelmiä. Tällöin betonirakenteen aktivoinnin lisäksi asennetaan lämmönvaihtoputkistoja myös lattiaan. Tällainen lämpöeristys voi toisinaan olla jopa toivottu vaihtoehto, sillä järjestelmän säätely lattian ohuemman massakerroksen pienemmän varastoimiskyvyn ansiosta helpottuu.

Julkisissa rakennuksissa termoaktiivisten välipohjien ansiosta huoneet ovat ”asennusvapaita”, sillä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät ovat välipohjien sisällä. Seinustoilla

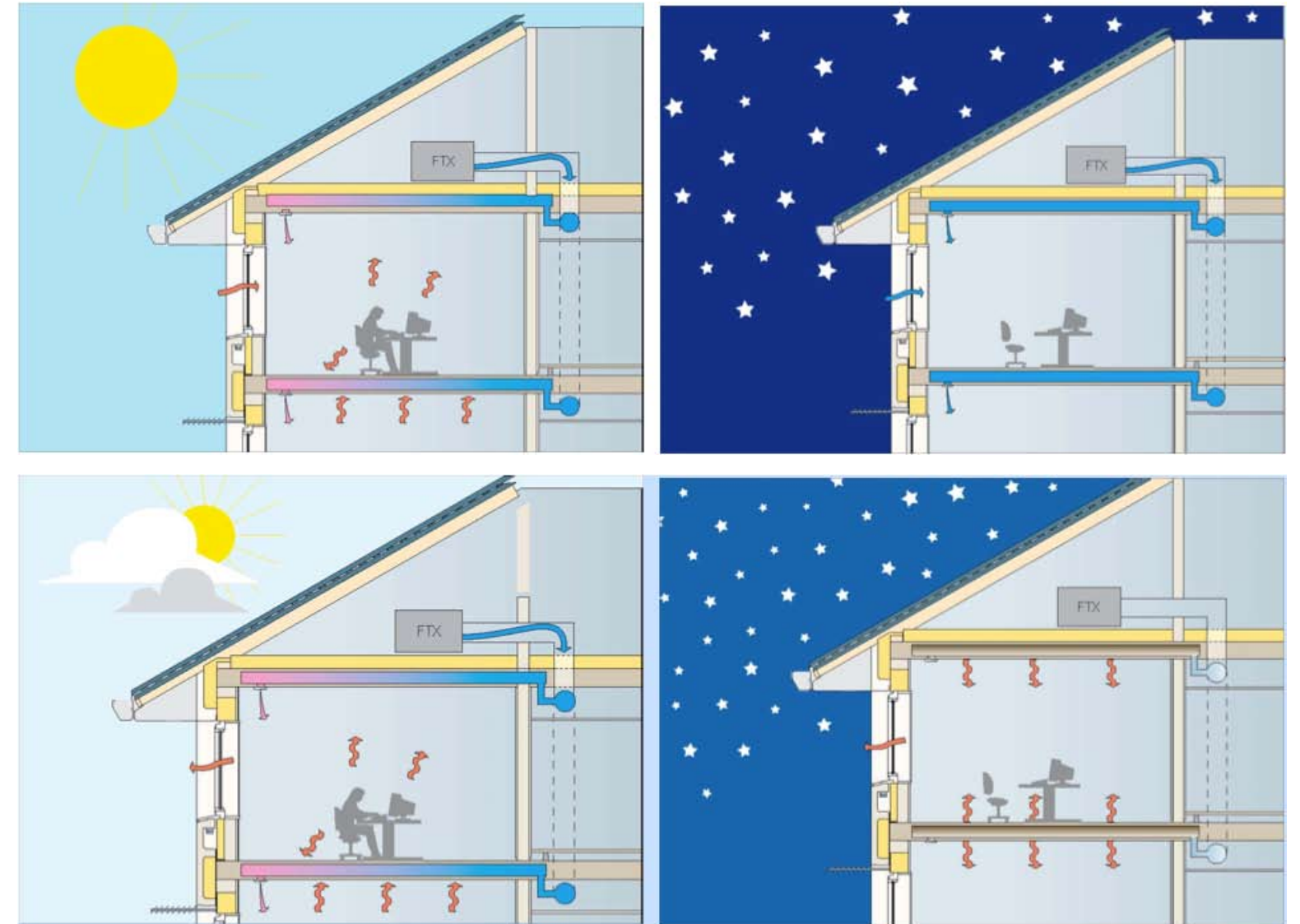
#### Termisesti aktivoitujen välipohjien etuja

- rakennuksen omaa massaa käytetään termisenä varaajana
- uudistuvia energiavaroja voidaan hyödyntää
- huonekorkeutta ei tarvitse madaltaa
- alhaiset asennuskustannukset
- järjestelmä sekä lämmitykseen että jäähdytykseen
- vain vähäisiä betonipintojen ja ilman välisiä lämpölaeroja
- lämmitys ja jäähdytys tapahtuvat säteilyn kautta (”kaminaefekti”)
- ilman liikehdintä pienempää kuin ilmastoiduissa tiloissa

olevia pattereitaakaan ei termoaktiivisista välipohjista johdettua enää tarvita, mikä luo paljon uusia sisustuksellisia mahdollisuuksia. Termoaktiivisten lämmitysjärjestelmien taloudellisuus on moninkertaisesti parempi kuin tavallisten lämmitysjärjestelmien, sillä niiden asennus-, käyttö- ja huoltokustannukset ovat alhaiset.

## 2.5 Energialähteet ja niiden käyttö

Uusiutuvia energialähteitä käytetään niin ulkoilman lämpötilan säätelyyn (lämmittämiseen tai jäähdyttämiseen) kuin rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmissä. Niihin kuuluu sekä luonnollisia että keinotekoisia energialähteitä.



Massiivisten rakenteiden hyväksikäyttö rakennuksen lämpötilan tasaamisessa. TermoDeck-järjestelmän toiminta kesällä (ylempi kuva) ja talvella (alempi kuva).

Uusiutuvien energialähteiden tehokas hyödyntäminen edellyttää, että niitä on riittävästi ja edullisesti saatavilla. Niiden on myös uudistuttava riittävän tiuhaan. Lämmönvarauskapasiteetin on oltava mahdollisimman suuri ja lämpötilatason edullinen.

Luonnolliset energialähteet ovat vesi, maaperä ja ilma, jotka saavat lämpönsä auringosta ja maansisuksista. Tällä lämpöenergialla on yleensä erittäin alhainen lämpötilataso. Alhaisesta lämpötilatasosta johtuen luonnollisten energialähteiden käyttö jäähdyttämiseen on periaatteessa mahdollista, mutta lämpöpumpun käyttö lämmityksen tueksi lämpötilatasoa nostattamaan on tarpeen. Keinotekoisissa energialähteissä – rakennuksen erinäisissä prosesseissa syntyneessä poistoenergiassa – on niiden korkean lämpötilatason takia enemmän potentiaalia.

Tyypillisiä keinotekoisia energialähteitä ovat poistovedet, vedenkierrot ja poistoilma.

Luonnollisten energialähteiden tapaan myös prosessilämpöä voidaan käyttää välittäjäaineen lämmittämiseen tai jäähdyttämiseen ja sen käsittely lämpöpumpussa on myös mahdollista.

Lämpöpumppuja, joiden tehtävänä on tasata tuuleuksesta ja lämmönsiirrosta johtuvia lämpöhäviöitä, käytetään ensisijaisesti vesikiertoisissa lämmitysjärjestelmissä, joiden käyttölämpötilat ovat alhaiset, kuten termisesti aktivoituissa välipohjissa. Kun lämmönlähteen ja lämmönkäytön välinen lämpötilaero pienenee, lämpöpumpun teho kasvaa.

Maaperän vakaiden lämpötilaolosuhteiden ansiosta rakennuksen lämmitys- ja jäähdytystarpeeseen tarvittava lämpöenergia saadaan jo suhteellisen matalasta syvyydestä. Maalämmönvaihtimet voidaan asentaa joko vaakata-

soon maanpinnan alapuolelle (lämmönkeruujärjestelmä) tai poraamalla maahan pystysuoraan (porakaivo). Lämpö kuljetetaan eteenpäin tavallisesti suolavedessä, jossa veteen liuenneet suolat toimivat jäätymisenestoaineena. Tämä mahdollistaa järjestelmän käytön myös talvipakkasten aikaan.

Maan lämpöön vaikuttavat sekä aurinko että maansisuksen lämpö. Kymmenen metrin syvyydestä eteenpäin lämpötila on jokseenkin muuttumaton.

### Maalämpöä vaakaputkiston avulla

Vaakaputkistot ovat vaakatasoon asennettuja lämpöpumppujärjestelmiä, jotka imevät maaperästä lämpöä suurelta alueelta. Epäsuorat järjestelmät koostuvat putkistossa kiertävästä, lämpöä kuljettavasta suolaliuoksesta sekä järjestelmässä kiertävästä kylmäaineesta. Suorissa keruujärjestelmissä kylmäaine laitetaan suoraan putkiin, jolloin koko keruusysteemi on osa lämpöpumppuprosessia. Tässä lämmönkeruutavassa saavutettu teho on periaatteessa parempi, mutta toisaalta materiaali- ja asennuskustannukset kasvavat tehon mukana.

### Energiapilarit ja lämpökaivot

Jos maalämpöjärjestelmäksi valitaan energiapilarit tai lämpökaivo, voi maaperä toimia myös kausittaisena lämmönvaraajana. Vaakatasoon asennettuun lämmönkeruuputkistoon verrattuna, on tilantarve ja yläpinnan kokonaisala näissä järjestelmissä huomattavasti pienempi, sillä lämpö johdetaan suuren, lämpötilaltaan vakaan alueen kautta.

Energiapilarit ja lämpökaivot koostuvat putkistoista,

joka on täytetty joko suola- tai glykoliliuoksella, johon vuodenajan mukaan joko varastoituu lämpöä maaperästä tai joka poistaa ylimääräistä lämpöä maaperään. Energiapilareiden käyttö kannattaa ennen kaikkea silloin, kun rakennuksen perustukset on joka tapauksessa paalutettava ja järjestelmää käytetään pääasiallisesti kesällä jäähdyttämiseen. Pilarit ulottuvat 20 – 30 metrin syvyyteen riippuen maaperän kerrostumien rakenteesta sekä kantavista rakenteista ja ne voidaan asentaa myös elementtipaaluina, joihin putket on integroitu. Kesällä energiapilarit vastaanottavat energiaa aktiivisista välipohja- ja ilmanjäähdytysjärjestelmistä ja takaavat näin miellyttävän sisäilmaston. Jäähdytysteho kesäkuukausien aikana kasvaa oleellisesti, jos pohjavesi pääsee huuhtomaan pilareita. Se estää myös tehokkaasti maaperän jatkuvan lämpeneminen yksipuoleisen jäähdytyskäytön seurauksena, sillä poistettu lämpöenergia voidaan johtaa edelleen pohjaveteen.

### Pohjavesi

Pohjaveden edut lämmönlähteenä ovat sen suhteellisen vakaa lämpötila sekä sen luonnollisen kierron ansiosta johtuva nopeahko uusiutuminen. Järjestelmä koostuu vir-

Maalämpöpumpun putkiston asentamisessa vaakatasoon maanpinnan alapuolelle on huomioitava

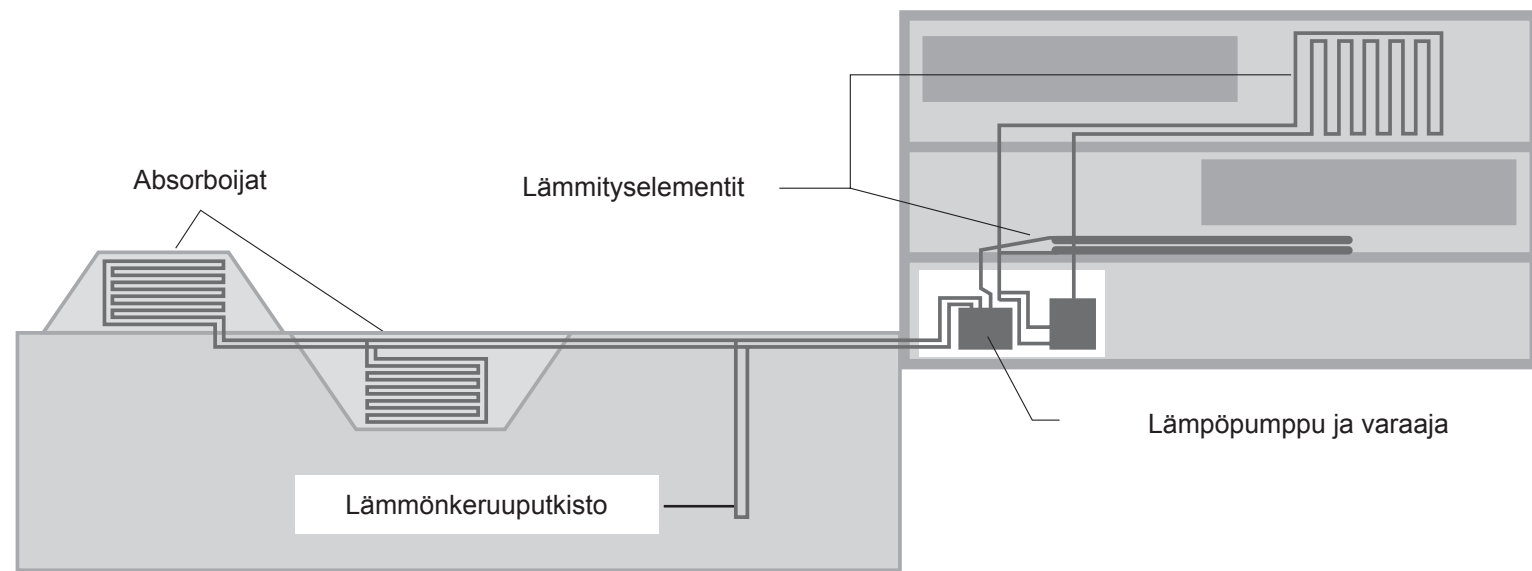
- asennetaanko yksittäisiä putkia vai putkiverkostoja (putkien etäisyys toisistaan > 0,6 m)
- asennussyvyys > 1,5 m
- maan vesipitoisuus vaikuttaa ratkaisevasti lämmönjohtokykyyn

taussuuntaan nähden ensin olevasta tulokaivosta ja siitä sopivan matkan päässä olevasta menokaivosta. Tulokaivosta pohjavesi pumpataan ylös, johdetaan lämmönsiirtimen läpi ja lopulta menokaivon kautta takaisin samaan pohjavesikerrokseen. Pohjaveden käyttö lämmönlähteenä ei ole kaikkialla mahdollista. Veden uudelleen jäähdyttämistä maaperän kautta voidaan tehostaa myös betonissa perustuslaatas kiertävän nestemäisen välittäjäaineen avulla. Tässä menettelytavassa on kuitenkin huomioitava se, että perustuslaatan jäähdytysteho on rajallinen.

Perustuslaattaan johdettu lämpö voidaan myös varastoida siihen lähes kokonaan maahan johtamisen sijaan, kun järjestelmä mitoitetaan oikein ja koko vuoden jäähdytysteho huomioiden. Perustuslaattaan varastoitunut lämpö voidaan ottaa käyttöön talvella. Tämän lisäksi perustuslaatta säilyttää lämpötilaeron maaperään ja toimii näin lämpöeristeenä. Oikealla lämmönsäätelyllä vuoden aikana syntyvä yllilämpö voidaan johtaa perustuslaatan eri osiin ja näin saavuttaa laatan kaikkien alueiden ”terminen täyttyminen”. Jos tällaisen järjestelmän jäähdytysteho ei yksinään riitä, voidaan sen rinnalla käyttää maaperästä energiaa ottavaa lisäjäähdytysjärjestelmää. Sen avulla myös johdettu ja perustuslaattaan varastoitunut lämpö saadaan talvella käyttöön.

### 2.6 Termisen energian varastot

Perinteiset energiavarastot ovat massaltaan suuria, monoliittisiä rakenteita, jotka pystyvät varastoimaan suuria määriä auringosta tai ilmakehästä peräisin olevaa lämpöä ja luovuttamaan varastoituneen lämmön lämpöpumpun sisällä olevan putkiston nestemäiseen välittäjäaineeseen.



*Maan päällä energiavarastoina voivat toimia esimerkiksi meluvallit ja näkösuojaseinät sekä betoniset tasakatot.*

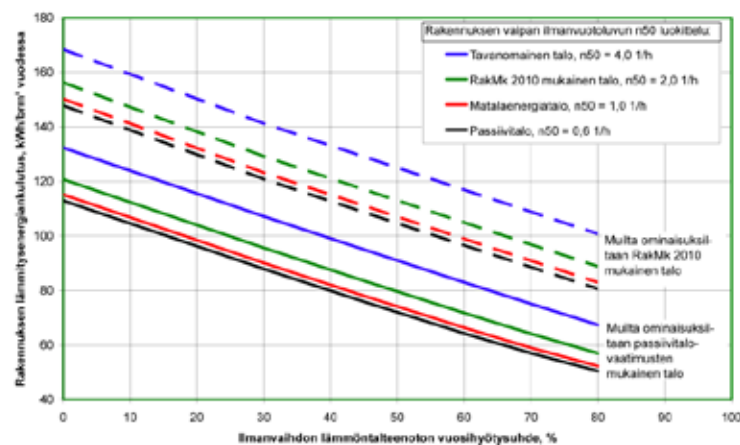
Perinteisessä massiivivaraajatekniikassa varaajina käytettyillä betonirakenteilla ei ollut minkäänlaista rakenteellista toimintaa, vaan ne pystytettiin rakennuksen lähettyville ainoastaan termistä käyttöä varten. Energiapilari toimii periaatteessa massiivivaraajan tavoin. Nykytekniikassa pyritään betonista lämmönsiirintä käyttämään termisen toiminnon ohella myös rakenteellisena osana. Maanpäälliset massiivirakenteiset varaajat ottavat lämpöenergiaa myös ilmasta ja auringonsäteilystä, kun taas maanalaiset varaajat varastoivat lämpöä maaperästä ja pohjavedestä. Tyypillinen massiivivaraaja on esimerkiksi rakennuksen perustuslaatta, johon on asennettu putkisto, jossa lämpöä kuljettava nestemäinen välittäjäaine kiertää. Maanalaisten

lämpövaraajien lämpöenergiaa tarvitaan ennen kaikkea silloin, kun maanpäällä olevien varaajien energiataso on laskenut liian alas. Näin voidaan säilyttää tietty energiataso ja järjestelmään yhdistetyn lämpöpumpun tehokkuuslukua saadaan parannettua.



*Passiivenergiatalo voi olla avara ja valoisa, kun materiaalin ominaisuudet käytetään tarkoin hyväksi. Passiivenergiatalo Salomaa, Kaarina / Lujatalo. Kuva: A1 Media.*

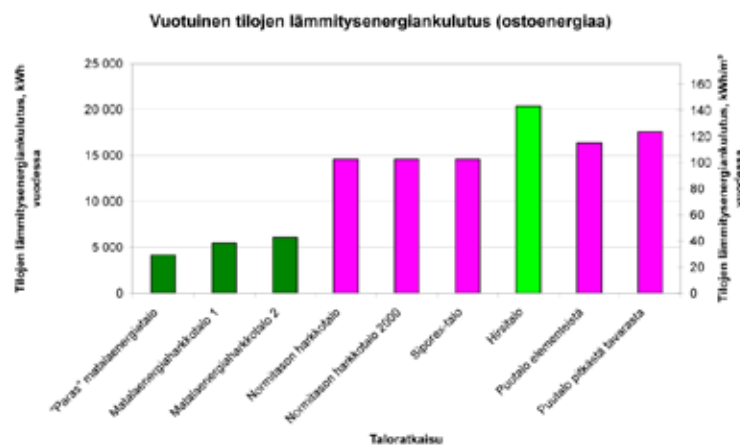
### 3. Kivitalon energiatekninen suunnittelu



Hyvä vaipan ilmanpitävyys ja ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyvä vuosihyötysuhde ovat talon pienen energiantarpeen edellytyksiä.

#### 3.1. Asuinrakennuksen suunnittelu

Kesällä betonin ja muurattujen rakenteiden terminen massa auttaa säilyttämään miellyttävän sisäilman lämpötilan. Kylmänä kautena rakenteiden terminen massa va-



Tilojen laskettu lämmitysenergian kulutus vuodessa eri materiaaleista tehdyissä rakennuksissa. Perustaso vuoden 2000 normisto.

rastoi auringosta aiheutuvia lämpökuormia ja vähentää lämmitysenergian tarvetta.

Arkkitehtuurissa käsitetään passiivinen aurinkosuunnittelu ja termisen massan käyttäminen joskus sillä tavoin väärin, että se johtaa väistämättä epätavallisen näköisiin asuinrakennuksiin, jotka eivät sovi kaupunkikuvaan. Näin asia ei kuitenkaan ole. Passiivisen aurinkolämmön hyö-

dyntämiseen liittyvät ratkaisut voidaan suunnitella rakennuksiin ilman merkittäviä vaikutuksia ulkonäköön, kustannuksiin tai myyntiarvoon.

#### Lämmitys

Termistä massaa voidaan käyttää lämmityskauden aikana pienentämään lämmitysenergian kulutusta, kun passiivisen aurinkoenergian käyttö otetaan suunnittelussa huomioon. Toimintaperiaate on sama kuin kesällä, paitsi että auringon rakennukseen aiheuttamat lämpökuormat ovat hyödyllisiä. Aurinkolämpöä lisätään suuntaamalla rakennus ja useimmat ikkunat etelään sekä antamalla auringon paistaa sisään päivän lämpimimpänä aikana. Terminen massa varastoi lämpökuormat ja luovuttaa ne hitaasti yöllä, kun ulkolämpötila laskee.

#### Jäähdytys

Lämpimällä säällä betonin ja muurattujen rakenteiden terminen massa varastoi sisäisiä lämpökuormia, auttaa tasoittamaan lämpötilaa ja ylläpitämään miellyttäviä sisäilmaolosuhteita. Rakennuksen vaipan suuren lämmönvarausrakenteiden ansiosta suuri osa lämmöstä varastoituu, mutta seinien ja lattian pintalämpötilat kohoavat vain vähän.

Pintalämpötilat ovat päivällä ilman lämpötilaa matalampia. Tämä saa aikaan säteilyjäähdytysvaikutuksen. Rakennuksen vaipan varastoima lämpö poistetaan yöaikaisella ilmanvaihdolla kierrättämällä viileää yöulkoilmaa. Näin varmistetaan, että talo voi seuraavanakin päivänä jälleen varastoida lämpöä. Tämä suunnittelumenetelmä tunnetaan hyvin Euroopan lämpimimmässä osissa, mut-

ta se tulee tärkeäksi myös Pohjois- Euroopan matala- ja passiivenergiataloissa, kun kesäaikaiset huippulämpötilat yrkivät nousemaan.

#### Ikkunat ja rakennuksen suuntaaminen

Asuinrakennukset on hyvä suunnata etelään tai siitä korkeintaan noin 30° poiketen, jotta auringon rakennukseen aiheuttamat lämpökuormat varastoituvat lämmityskaute-na mahdollisimman hyvin. Kesällä auringolta suojaudutaan esimerkiksi julkisivun ulokkeiden, parvekkeiden ja aurinkosuojien avulla.

Melko suuret etelään ja melko pienet pohjoiseen suunnatut ikkunat ovat hyvä lähtökohta energiansäästöille. Pohjoiseen suunnatut ikkunat aiheuttavat vuoden mittaan yleensä nettoenergiahäviöitä. Etelään suunnattujen ikkunoiden pinta-alan mitoituksessa on otettava huomioon lasin eristysominaisuudet, termisen massan määrä ja yleiset asuinrakennuksen suunnitteluvaatimukset.

Liian suuret ikkunat eivät ole perusteltuja. Niiden lämpöhäviöt talviöinä saattavat olla suurempia kuin niiden kyky maksimoida auringon rakennukseen aiheuttamien lämpökuormien varastoituminen päivällä. Kesällä ne taas saattavat aiheuttaa sisäilman liiallista lämpenemistä. Ikkunapinta-alan tulisi riittävän päivänvalon vuoksi olla karkeasti vähintään 15 % huoneen lattiapinta-alasta. Se ei saisi kuitenkaan ylittää 40 % julkisivun pinta-alasta, koska liiallisia lämpökuormia tai lämpöhäviöitä on vältettävä. Tätä suuremmatkin ikkunapinta-alat ovat mahdollisia, kun käytetään kolminkertaisia ja erikoispinnoitettuja laseja.

Huonejärjestys on tärkeä tekijä passiivisen lämmityksen optimoimisessa. Eniten käytettyjen huoneiden

tulisi olla asuinrakennuksen eteläpuolella, jotta auringon rakennukseen aiheuttamista lämpökuormista saadaan lämmityskaudella suurin hyöty. Esimerkiksi kylpyhuone, aputilat, eteinen varastot tulisi puolestaan sijoittaa pohjoispuolelle.

Rakennuksen sijoittaminen tontille vaikuttaa tavanomaisen rakennuksen energiantarpeeseen enemmän kuin passiivenergiatalon energiantarpeeseen /13/. Talon ja ikkunoiden suuntauksella vaikutetaan sekä passiivisen aurinkoenergian hyödyntämiseen että kesän jäähdystarpeeseen.

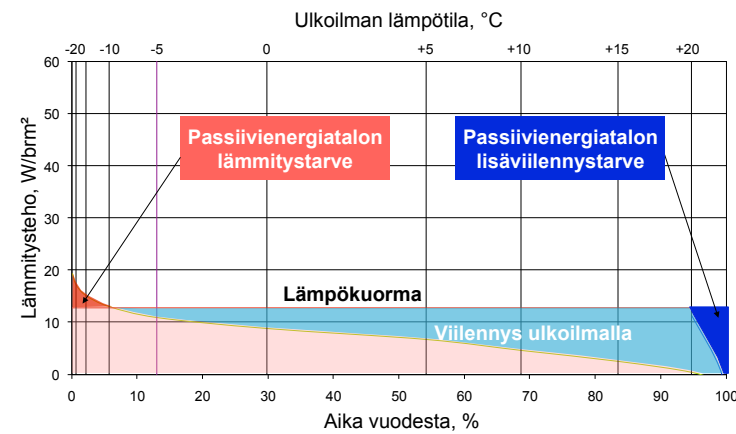
Useimpien ikkunakokojen osalta valittömästi etelään suunnatun ikkunan yläpuolelle sijoitettu, noin 0,5...1,5 m uloke estää korkealta paistavan auringon säteilyn kesän kuumimpana aikana. Lämmityskaudella ulokkeet eivät suojaa matalalta paistavalta auringolta, jonka säteily pääsee suoraan rakennukseen.

## Rakennuksen massa ja lämmöneristys

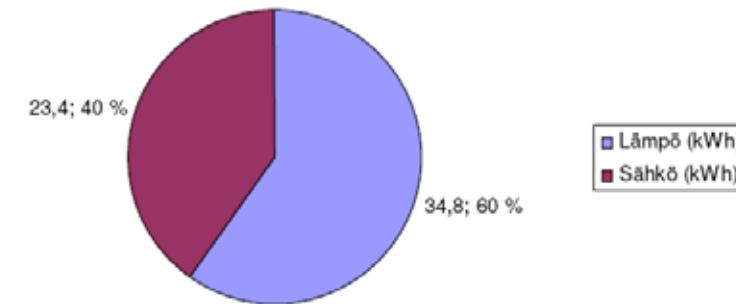
Sekä rakennuksen lämpöä varaavat rakenteet eli terminen massa että lämmöneristys ovat tärkeitä tekijöitä rakennusten energiatehokkuuden optimoinnissa.

Termisen massan tulisi sijaita pääasiassa lämmöneristyskerroksen sisäpuolella. Myös raskaiden seinien, lattioiden ja alakattojen sisäpinnat tulisi jättää paljaksi (maalatut, laatoitetut tai rapatut pinnat) ja siis vapaiksi lämpövirralle. Sisätiloissa käytettävät päällysteet kuten kipsilevy ja matot toimivat eristävinä kerroksina ja estävät jossain määrin lämpövirtaa.

Lämmönjohtuvuuden kannalta on hyvä, jos alapohjan lämmöneristys on laatan alapuolella. Ulkoseinien läm-



Kuva. Passiivenergiatalon lämmitys- ja viilennystarve.



Passiivitalon energiankulutuksen jakauma.

möneristys tulisi olla betonista tai muuratusta rakenteesta tehdyn sisäkuoren ulkopuolella. Sellaisessakin rakennuksessa voi olla merkittävä määrä termistä massaa, jos lattiat

ovat betonia ja rakennuksessa on esimerkiksi takka.

## Ilmanvaihto

Kuumina päivinä ikkunat on pidettävä suljettuina, jotta lämmin ilma ei pääse rakennukseen. Auringolta suojautumisella rajoitetaan suoria auringon rakennukseen aiheuttamia lämpökuormia. Terminen massa jäähdyyttää. Kesäiltana, jolloin ulkoilman lämpötila laskee sisälämpötilan alapuolelle, ikkunat avataan rakennuksen yöaikaisen ilmanvaihdon ja jäähdytyksen takia. Lämmityskauteen ikkunat pidetään suljettuina koko ajan ja ilmanvaihto tapahtuu tuuletusventtiilien kautta tai muuten hallittuna taustailmanvaihtona. Mahdollisuuksien mukaan yöllä voidaan käyttää vaikkapa kaihtimia tai verhoja pienentämään ikkunan lämpöhäviöitä.

Kesäajan optimaalisen toimivuuden takia huoneet tulisi suunnitella siten, että ristituuletus on mahdollista. Ristituuletus yöllä on erityisen tehokas keino jäähdyyttää rakennusta.

Kun rakennuksessa on koneellinen ilmanvaihto, voidaan massiiviset rakenteet sen avulla jäähdyyttää tehokkaasti viileällä yöilmalla. Viileys varastoituu rakenteisiin ja vapautuu niistä päiväsaikaan.

## 3.2. Toimisto-, liike- tai julkisen rakennuksen suunnittelu

Rakennuksen massiivisuus säästää yhtä lailla toimitilarakennuksissa sekä lämmitys- että jäähditysenergiaa. Esim. Terma- projektissa säästökseen toimistorakennuksissa saatiin 4-7 % lämmitys- ja 42-52 % jäähditysenergiassa, kun

massaa hyödynnettiin passiivisesti /4/. Toimistorakennuksissa betonin käyttö on oleellinen osa passiivista jäähdytystä. Riittävään massiivisuuteen päästään yleensä käyttämällä lattialaatasta, jossa on paljas betonipinta ja/tai lattian alapuolinen ilmanvaihtojärjestelmä (asennuslattia). Raskasrakenteisen toimiston sisäilman lämpötila muuttuu silloin hitaasti ulkoisten olosuhteiden muuttuessa, mikä tasaa sisälämpötilaa lämpimällä ja hellesäällä.

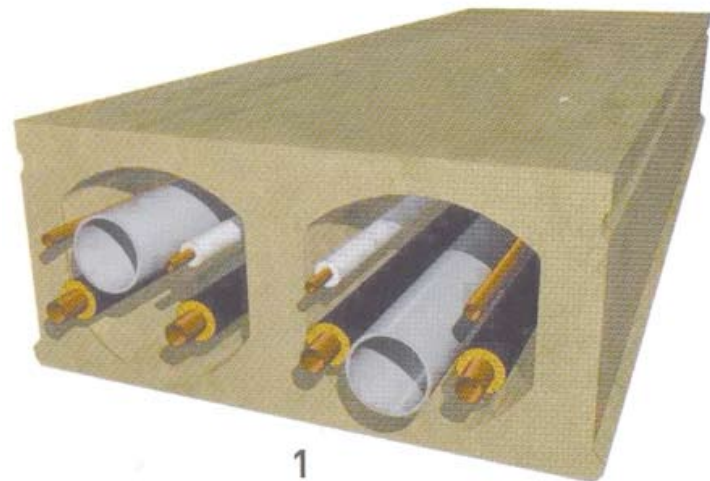
## Lämmitys ja jäähdytys

Toimisto- ja liikerakennuksissa jäähdytystarve on yleensä paljon lämmitystarvetta suurempi, koska valaistus, laitteet ja ihmiset aiheuttavat merkittäviä sisäisiä lämpökuormia. Siksi on tärkeintä, että terminen massa toimii hyvin kesällä. Passiivisen aurinkosuunnittelun vaikutus lämmitykseen voidaan myös rajoittaa toimistojen henkilökunnan normaalityöaikoihin.

Terminen massa pienentää huippulämpötiloja varastoimalla sisäisiä lämpökuormia ja siirtää myös huippulämpötilojen ajankohtaa jopa kuudella tunnilla. Toimistossa tämä on erityisen hyödyllistä, koska lämpötila on huippuarvossaan tavallisesti myöhään iltapäivällä tai illalla, jolloin henkilöstö on lähtenyt toimistosta. Tässä vaiheessa lämmityssykli on käännteinen, koska auringon rakennukseen aiheuttamat lämpökuormat ovat paljon pienempiä ja ihmiset, laitteet sekä valaistus tuottavat hyvin vähän lämpöä. Myöhemmin illalla ulkolämpötila laskee, jolloin tuuletus on tehokas keino poistaa toimistoon varastoitunut lämpö. Sisälämpötila laskee, ja jäähdytysyksi jatkuu seuraavana päivänä.

Mm. norjalaiset toimistorakennuksia koskevat tilastot





*Ontelolaattojen onteloita voidaan käyttää IV-kanavina tai putkistojen asennukseen.*

osoittavat, että koneellista jäähdytystä käyttävät toimistorakennukset kuluttavat noin 20 % enemmän energiaa kuin talot, joissa ei ole koneellista jäähdytystä. Passiivinen tilan jäähdytys on siis erittäin kannattavaa.

Hyvin auringolta suojatuissa rakennuksissa, joissa on vähän ihmisiä, terminen massa yhdistettynä ikkunoiden kautta tapahtuvaan painovoimaiseen ilmanvaihtoon saattaa riittää miellyttävien sisäolosuhteiden luomiseen ja liiallisen lämpenemisen välttämiseen. Koneellista ilmanvaihtoa tarvitaan tyynemmällä ilmalla kasvattamaan jäähdytystehoja. Yksi vaihtoehto on vesijäähdytysputkistojen sijoittaminen lattian betonilaataston sisään. Olosuhteissa, joissa perinteisestä jäähdytyksestä ei voida kokonaan luopua, voidaan termisellä massalla vähentää merkittävästi

energian kulutusta ja siirtää energian käyttö yöaikaan, jolloin se on yleensä halvempaa.

Rakennuksissa, joissa on sekä paljaat kattopinnat että lattian alapuolinen ilmanvaihto, voidaan hyödyntää 250 mm:n tai paksumpien betonilaatastojen termistä massaa.

Yöjäähdytyksessä tulisi ulkolämpötilaa hyödyntää mahdollisimman pitkälle, mutta välttää liiallista jäähdyttämistä, joka saattaa aiheuttaa päivän alussa epä mukavuutta tai jopa lämmitystarvetta. Painovoimaisen ilmanvaihdon käyttöä tulisi harkita aina kun mahdollista, jotta puhaltimien energiankulutus olisi mahdollisimman vähäistä.

### Laatastorakenteet

Välipohjalaatasto on yleensä toimiston suurin terminen massa, ja sen paksuus määrää osittain jäähdytyksen toimivuuden. Laataston paksuus taas määräytyy pääosin jännevälien ja kuormitusten perusteella. Betonilaatastot voivat toimia passiivisesti tai aktiivisesti energiansäästäjinä. Seuraavassa on esitetty muutama esimerkki.

**Näkyviin jäävä laatta, jossa on koneellinen lattian alapuolinen ilmanvaihto** - Toimistorakennuksissa asennuslattioita käytetään yleensä sähköistys- ja teleyhteyksien reitityksessä. Ne ovat käyttökelpoisia myös ilmanvaihdon toteutuksessa. Etuja ovat kanavien tekemisen väheneminen ja ulostulojen helppo uudelleensijoitus tilajakoa muutettaessa. Lisäksi ilma virtaa myös välipohjalaatan yläpinnalla, jolloin laatan yläosankin termistä massaa voidaan hyödyntää.

**Näkyviin jäävä ontelolaatta, jossa onteloissa käy-**



*Näkyviin jäävä laatta, jossa on koneellinen lattian alapuolinen ilmanvaihto*

**tään koneellista ilmanvaihtoa.** Ontelolaatoissa, joiden ontelokanavistoissa on koneellinen ilmanvaihto, on erinomainen ilman ja betonin välinen lämmönsiirto. Mikäli tarvitaan suurempaa tehoa, tuloilma voidaan jäähdyttää koneellisesti. Tekniikka kehitettiin alkuaan Ruotsissa tuotenimellä Termodeck.

Suomessa viimeisin kehitetty vastaava järjestelmä on Parma Oy:n Terma-järjestelmä. Siinä hyödynnetään ontelolaatan termistä massaa johtamalla tuloilma onteloiden kautta.

**Näkyviin jäävä laatta, jossa on vesijäähdytys tai -lämmitys** - Kun lattialaatasta jäähdytetään vedellä il-

*Kerros-(asennus)lattia mahdollistaa rakenteen ja talotekniikan integroinnin niin, että betonin lämmönvarauskykyä voidaan hyödyntää molemmin puolin rakennetta.*

man sijasta, jäähdytysteho kasvaa merkittävästi suuremman lämmönsiirtonopeuden ansiosta. Jäähdytys voi olla toiminnassa 24 tuntia vuorokaudessa. Järjestelmä tehdään yleensä laatan pinnasta noin 50 mm:n etäisyydelle sijoitetuilla muoviputkilla. Teknologiaa voidaan käyttää sekä paikallavaletuissa että elementtilaatoissa. Vesikiertoisen jäähdytyksen vasteaika on suhteellisen lyhyt, koska veden lämpötilan muutoksesta noin 30 minuutin kuluttua havaitaan muutos laatan pintalämpötilassa. Näin hyvää säätönopeutta ei ole helppo saavuttaa muilla järjestelmillä.

Lattialämmitys, joka toteutetaan betonilaataan asennettuna vesiputkistona antaa tilaan tasaisen lämmöntuoton.

# 4. Rakentaminen vuoden 2010 määräyksillä

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
- eriytetyssä ja rapatussa seinässä 220 mm mineraalivillaa tai EPS (styrox)
- sandwich-seinässä 180 mm paremman eristävyysden EPS tai 150 mm PUR

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

Uusien pientalojen energiankäyttöä voidaan tehostaa monin tavoin. Kun talo rakennetaan vähän energiaa kuluttavaksi, ei myöhemmin tarvitse tinkiä asumismukavuudesta eikä puhtaasta ja terveellisestä sisäilmasta, vaikka energian hinta nousisikin.

Rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen pienentää paitsi lämmityslaskua myös hiilidioksidi- ja muita päästöjä.

## Tähän sopisi eristekuva

## Betoniulkoseinä-rakenteiden eristevaihtoehdot 1.1.2010, Betonikeskus ry.

Sandwich, sisäkuori ≤ 80 mm, ulkokuori ≤ 70 mm					
Eriste	Huom.	λdesign W/mK	oletusansastus	suosituseristepaksuus mm	U-arvo <sup>2)</sup>
mineraalivilla	karmileveys 210 mm	0,037	diag.ansas k600	240 <sup>1)</sup>	0,17
mineraalivilla		0,036	diag.ansas k600	240 <sup>1)</sup>	0,16
mineraalivilla		0,036	diag.ansas k1200	240 <sup>1)</sup>	0,15
EPS	urittamaton	0,036	pistokas 4 kpl/m <sup>2</sup>	240	0,15
EPS	urittamaton	0,031	diag.ansas k600	180	0,17
EPS		0,031	pistokas 4 kpl/m <sup>2</sup>	180	0,17
PUR/PIR	karmileveys 170 mm	0,026	pistokas 4 kpl/m <sup>2</sup>	150	0,17
PUR/PIR		0,024	diag.ansas k600	150	0,17
PUR/PIR		0,024	pistokas 4 kpl/m <sup>2</sup>	150	0,16

Eriytetty betonijulkisivu, sisäkuori ≤ 120 mm						
Eriste	Rakennerratkaisu	λdesign W/mK	kiinnikkeet	suosituseristepaksuus mm	U-arvo <sup>2)</sup> tuuletettu rakenne	lievästi tuuletettu
mineraalivilla vuorivilla	kova eriste eriste+tuulensuojavilla 30 mm, karmileveys 210	0,036 0,036; 0,034 (ts)	kiinnike 4 kpl/m <sup>2</sup> kiinnike 4 kpl/m <sup>2</sup>	220 <sup>1)</sup> 220	0,17 0,16	0,16 0,16
lasivilla	eriste+tuulensuojavilla 30 mm	0,035; 0,031 (ts)	kiinnike 4 kpl/m <sup>2</sup>	220	0,16	0,16
EPS	eriste+lasikuitukangas	0,036	kiinnike 4 kpl/m <sup>2</sup>	220	0,17	0,16
EPS	eriste+lasikuitukangas karmileveys 210 mm	0,031	kiinnike 4 kpl/m <sup>2</sup>	180	0,17	0,17
PUR/PIR	eriste+Alu-pinta karmileveys 170 mm	0,024	kiinnike 4 kpl/m <sup>2</sup>	150	0,16	0,16

Eristerapattu betonijulkisivu, sisäkuori ≤ 120 mm					
Eriste	Rappausratkaisu	λdesign W/mK	kiinnikkeet	suosituseristepaksuus mm	U-arvo <sup>2)</sup>
lamellivuorivilla /lasivilla	ohuteristerappaus	0,041	ei	240	0,16
lasivilla	rapattu sandwich	0,037	kiinnike	220	0,17
mineraalivilla	kolmikerrosrappaus	0,036	6 kplØ3mm/m <sup>2</sup>	220	0,17
EPS ohuteristerappaus		0,036	kiinnike 4 kpl/m <sup>2</sup>	220	0,16
EPS ohuteristerappaus		0,031	ei	180	0,17
PUR/PIR	ohuteristerappaus	0,024	ei	150	0,15

Sandwich, puolilämpimät rakennukset, U-arvo vähintään 0,26					
Eriste	Huom.	λdesign	ansastus	valittu eriste	U-arvo
miner.villa/EPS	karmileveys 170 mm	0,036	diag.ansas k600	160	0,24

1) eristepaksuuden tärkeys, U-arvossa huomioidu 5 mm:n painuma  
2) VTT tarkistanut U-arvot



*Energiää säästävän talon ei tarvitse näyttää tavallisuudesta poikkeavalta. Villa Borg -passiivenergiatalo Espoossa / SPU.*

## 5. Matalaenergiataloista passiivi- ja nollaenergiataloihin

### 5.1 Kehitysaskeleet

**Matalaenergiatalon** laskennallinen lämmitysenergian kulutus 40-70 kWh/m<sup>2</sup> ja asumisen kokonaisenergiankulutus 90-180 kWh/m<sup>2</sup>.

Koska matalaenergiatalossa lämmitysenergian tarve on pieni, voidaan lämmitysjärjestelmää yksinkertaistaa. Matalaenergiatalossa ikkunavettoa ei synny, koska ikkunapintojen lämpötila on lähes sama kuin huonelämpötilankin. Sen vuoksi patterit voidaan jättää kokonaan pois ikkunoiden alta.

Kivitalon rakenteet toimivat matalaenergiatalossa lämpövarastona ja sisälämpötilan vaihtelun tasaajina kesäheleillä. Kun rakennetaan matalaenergiataloa, on erityisen tärkeää saada rakennuksen ulkovaippa ilmatiiviiksi. Betonirakenteet on kehitetty myös matalaenergiarakentamista varten.

Suomen ilmastoon rakennettava **passiivenergiatalo** määritellään sen tilojen lämmitysenergian tarpeen, primäärienergiantarpeen ja rakennuksen ulkovaipan lämpöteknistä laatua käytännössä kuvaavan ulkovaipan ilmanpitävyyden ( $n_{50}$  - arvo) perusteella seuraavasti:

- Tilojen laskennallinen lämmityksen energiantarve 20 – 30 kWh/m<sup>2</sup>
- Rakennuksen laskennallinen primäärienergian kokonaistarve 130 – 140 kWh/m<sup>2</sup>
- Rakennuksen mitattu ilmavuotoluku  $n_{50}$  enintään 0,6 1/h

Passiivenergiatalo kuluttaa vähän energiaa. Hyvän lämmöneristyksen ansiosta siihen voidaan rakentaa yksinkertainen ja siten edullinen talotekninen järjestelmä. Yksinkertaisen järjestelmän käytön ja ylläpidon pitää myös olla helppoa.

Vuoden 2010 normien mukaista taloa pitää lämmitellä noin puolet vuodesta, mutta suurimman osan ajasta tarvittava lämmitysteho on hyvin pieni. Passiivenergiatalossa lämmitystarvetta on vain noin 5% ajan vuodesta. Suurimman osan vuodesta taloa pitää viilentää.

Kivirakenteinen passiivenergiatalo varaa rakenteisiin runsaasti lämpöenergiaa. Varautuneen energian ja hyvän lämmöneristyksen ansiosta se viilenee hitaasti kovallakin pakkasella, vaikka lämmitys katkeaisi.

**Nollaenergiatalolle** on olemassa useita erilaisia mää-

ritelmiä. Suomen ilmastossa käyttökelpoisimman määritelmän perusteella rakennuksessa tuotetun uusiutuvan energian ylijäämä on vähintään yhtä suuri kuin käytetyn uusiutumattoman energian määrä.

Nollaenergiatalo ei välttämättä poikkea rakennuksena passiivitalosta. Erona on vain energian tuottamisen muuntautuminen konseptiin.

## Vuoden 2012 energiamääräykset

Vuonna 2012 energiamääräykset tullevat kiristymään nykyisestä noin 20 prosentilla.

Uusissa määräyksissä /21/ annetaan raja- arvot rakennustyypin kokonaisenergiankulutukselle ( E- luku) kWh/(m<sup>2</sup> a). E- luvulla tarkoitetaan energiamuotojen kertoimilla painotettua rakennuksen vuotuista netto- ostoenergian laskennallista kulutusta.

Laskenta tapahtuu standardin SFS-EN 13790- laskentaperiaatteiden mukaan.

Kivitalon massiivisuus otetaan tällöin laskennassa huomioon rakennuksen tehollisen lämpökapasiteetin määrittämisen aikavakion avulla ja käytännössä hyödyksi saatavat ilmaisenenergiat vähentävät ostoenergian tarvetta.

Uudet määräykset tulevat korostamaan kesäajan huonelämpötilan hallintaa. Huonelämpötilalle annetaan jäädytysraja 25-27 astetta, jonka sisälämpötila saa ylittää vain lyhyen ajan kesällä. Määräyslunnon toteaa, että tilojen ylälämpenemistä tulee estää ensisijassa rakenteellisin ja muin passiivisin keinoin sekä käyttämällä yötuuletusta. Tämä onnistuu parhaiten kivitaloissa.

Uusi määräysehdotus toteaa rakennuksen tiiveydestä,

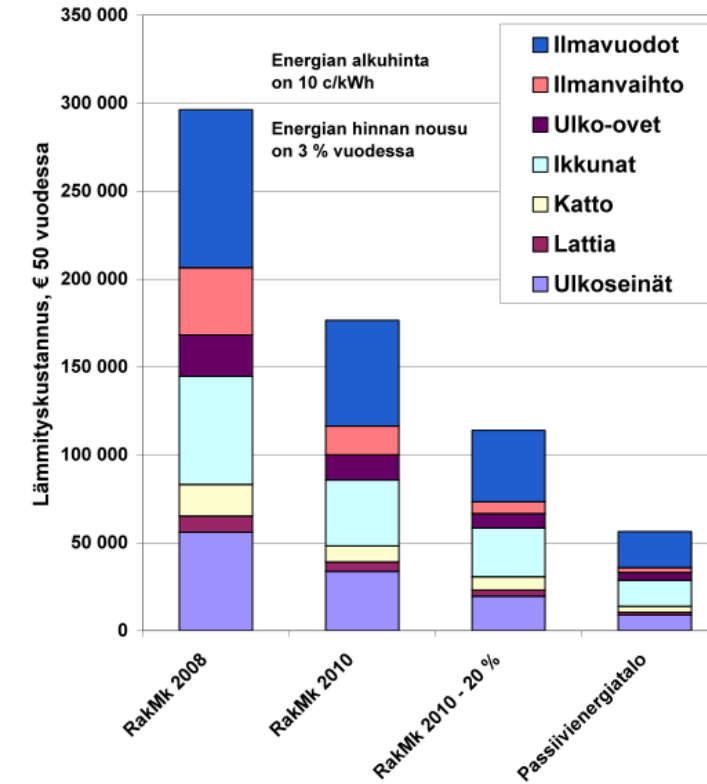
että kosteusteknisen turvallisuuden, hyvän sisäilmaston ja energiatehokkuuden kannalta rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  tulisi olla enintään 1 m<sup>3</sup>/h m<sup>2</sup>. Laskennan perusoletuksena käytetään arvoa 2 m<sup>3</sup>/h m<sup>2</sup>. Näihin tiiveysarvoihin päästään tutkimusten mukaan kivitalossa normaalilla huolellisella rakentamistekniikalla.

## 5.2 Harkkorakenteinen passiivenergiatalo

### Keinot passiivenergiatalon rakentamiseksi

Seuraavassa tarkastellaan kehitysesimerkkinä harkkorakenteista pientaloa. Harkkorakenteisen passiivenergiatalon lähtökohtana on turvallinen, terveellinen ja viihtyisä sisäilmasto. LVI-tekniikka suunnitellaan ja rakennetaan vastaamaan tilojen lämmityksen pientä huipputehon tarvetta (10-20 W/br-m<sup>2</sup>) sekä hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti ulkoilmaa viilennyksessä. Passiivenergiatalo tarvitsee varsinaista lämmitystä vasta, kun ulkoilman lämpötila on jatkuvasti alle -5...-10 °C. Toisaalta hyvä lämmöneristys pienentää viilennystarvetta kesällä.

Passiivenergiatalo suunnitellaan kokonaisuutena. Rakennuksen rungon ja talotekniikan tulee toimia yhdessä. Niinpä tarvittavat lämmitys- ja viilennystehot minimoidaan ilmanvaihdon lämmön- ja kylmäntalteenotolla, sekä rakenteellisin keinoin. Passiivenergiatalon vaippa on ilmatiivis ( $n_{50} < 0,6$  l/h). Rakennusmassa merkitsee hitaita sisätilan lämpötilamuutoksia silloinkin, kun vuorokautinen



Kuva. Harkkopientalon lämmitysenergian kustannus 50 vuoden aikana, kun lämmitysenergian hinta on aluksi 10 c/kWh. Passiivenergiatalon lämmityskustannus on 120 000 € pienempi kuin vuoden 2010 alussa voimaan tulleiden rakennusten energiamääräysten mukaan rakennetun talon. Jos energiakustannus on jakson alussa 5 c/kWh, eroa syntyy tarkastelujaksolla passiivitalon hyväksi yhä 60 000 €.

ulkoilman lämpötilavaihtelu on suurta. Niinpä massan avulla voidaan käyttää tehokkaasti hyödyksi hukkalämpöä ja esimerkiksi kevätaurinkoa.

Tehokkaimmin massa toimii lämpövarastona, kun se on jakautunut laajoille pinnoille rakennuksen sisällä. Siksi on edullista rakentaa myös harkkotalon väliseinät, välipohjat ja yläpohja kivirakenteisena.

Passiivenergiatalon lämmitysjärjestelmä pitää suunnitella ja mitoittaa vastaamaan todellista eli hyvin pientä tehon- ja energiantarvetta. Niinpä suunnittelun on kokonaan irrottauduttava perinteisistä peukalosäännöistä, jotka johtavat välittömästi ylimitoitukseen ja turhan suuriin investointikustannuksiin. Järjestelmien lämpöhäviöt pitää minimoida, koska ne lisäävät merkittävästi lämmitysenergiankulutusta ja toisaalta jäädytystarvetta.

Hyvä arkkitehtisuunnittelu merkitsee lyhyitä talotekniikan (esimerkiksi vesijohtojen, viemärien ja ilmanvaihtokanavien) reittejä, mistä seuraavat pienet rakennuskustannukset ja järjestelmien lämpöhäviöt. Märkätilat, keittiö ja erillinen wc sijoitetaan lähemmäksi. Ilmanvaihtolämmityskoje sijoitetaan yleensä ulkoseinää vasten, jolloin tulo- ja poistoilma johdetaan suoraan seinän läpi ulos.

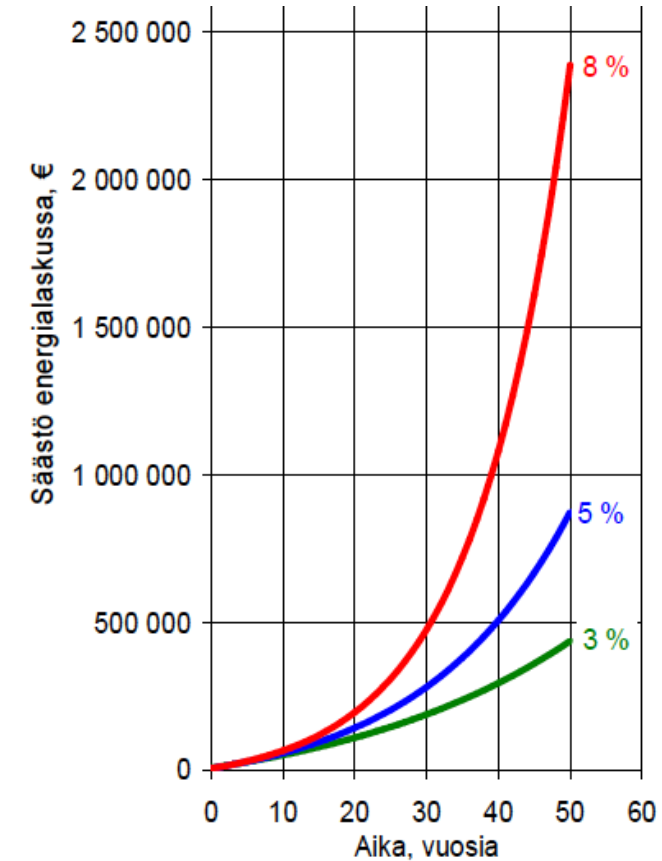
Taloteknisten järjestelmien osien ja reititysmallien tulee olla tiedossa jo arkkitehtisuunnittelun alkaessa varsinkin ilmanvaihdon vaatimien totuttua suurempien tilavaarausten määrittämiseksi. Ilmanvaihtokanavien vaatimaa tilaa lisää se, että niiden on oltava hyvin lämpöeristettyjä. Muuten menetetään järjestelmän kyky tarpeen mukaan lämmittää tai jäädyttää sisäilmaa.

### Rakennustekniikka ja pintamateriaalit

Passiivitalon lämmitystarvetta pienentäviä rakenteellisia keinoja ovat vaipan eli ulkoseinien, yläpohjan, alapohjan, ovien ja ikkunoiden erittäin hyvä lämmöneristys, sekä ra-



Rakennusliike Reponen Oy rakensi ATT:lle Helsinkiin Katariina Saksilaisen kadulle itse kehittämänsä konseptin mukaisen matalaenergiakerrostalon.



Kuva. Rakennusliike Reponen MERA- matalaenergiakerrostalon kumulatiivinen elinkaarikustannusero verrattuna Normikerrostalo 2005:een, kun energian reaalihintaa nousee 3%, 5% tai 8 % vuodessa.

kennuksen tiiveys. Lisäksi ilmanvaihdon lämmön talteenoton on oltava tehokas.

Liikaa lämpenemistä ja siten viilennystarvetta vähennetään rajoittamalla sisätiloja lämmittävää auringonpaistetta.

Avainmoduuli	Avainmoduulin suhteellinen osuus rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutuksesta %	Lämpöenergian säästöpotentiaali vuoden 2003 normirakennukseen verrattuna	
		Avainmoduulin säästöpotentiaali normitasosta %	Rakennuksen energiankulutuksen säästöpotentiaali %
Seinä	16	30 - 50	5 - 8
Yläpohja	4	10 - 20	0,5 - 1
Alapohja	1	Vahainen <sup>1)</sup>	-
Ikkunat	20	40 - 60	8 - 12
Aurinkosuojat	-	5 - 10	5
Ilmanvaihto	48	60 - 80	30 - 40
Ilmavuodot	11	50 - 70	5 - 8 <sup>2)</sup>
<b>Yhteensä</b>	<b>100</b>		<b>50 - 65</b>

Normien 2003-2009 mukaisen asuinkerrostalon energiankulutuksen säästämahdollisuudet. / 21 /.

Keinoina ovat kohtuullisen kokoiset ikkunat, auringonsäteilyä estävät lasit sekä rakenteellinen auringonsuojaus, kuten reilunkokoiset räystäät, varjostavat parvekkeet ja lipat sekä sälekaihtimet ja markiisit.

Kivipintainen lattia tuntuu paljaaseen jalkapohjaan viileältä. Siksi kivilattioihin asennetaan lähes aina lämmitys. Passiivienergiatalon lämmitettävien lattioiden määrä pitää kuitenkin minimoida, sillä niiden lämpökuorma merkitsee suurta sisätilojen viilennystarvetta. Toisaalta lattialämmitys edistää märkätilojen kuivumista varsinkin kesällä. Lattialämmitystä tulee välttää muualla kuin märkätiloissa, ja niissäkin pitäisi lämmityksen tehon olla pienempi kuin 30 W/m<sup>2</sup>.

Pienellä teholla lämpöä luovuttava tulisija sopii passiivienergiataloon. Tulisijan teho riittää käytännössä kaikkiin lämmitystilanteisiin, eli talon saa pidetyksi lämpimänä sähkökatkoksenkin aikana. Tulisijaa rakennettaessa on

muistettava, että palamisilma johdetaan tulisijaan suoraan ulkoa ilmanvaihdosta riippumattomasti.

## Talotekniikka

Lämmityksessä hyödynnetään ensisijaisesti sähköä käyttäviä laitteista syntyvää lämpöä, joka on lämmityksen kannalta jo kertaalleen käytettyä energiaa. Näin passiivitalo lämpiää suurimman osan vuotta kahteen kertaan käytettävällä sähköllä.

Passiivenergiatalossa ilmanvaihdon tuloilman lämpötilaa ja ilmavirtoja tulee voida säätää huoneiden lämmitys- ja viilennystarpeiden mukaisesti. Ilmanvaihtolämmityksessä huoneiden lämpötilan säätö perustuu lämmön talteenottolaitteella tapahtuvaan tuloilman lämpötilan säätöön. Vain kovilla pakkasilla tarvitaan lisälämpöä, joka tuotetaan tuloilmaa lämmittämällä tai käyttämällä jotakin muuta lisälämmitintä. Kun tarvitaan sisäilman viilennystä, järjestelmä käyttää ensisijaisesti hyödykseen viileää ulkoilmaa.

Passiivenergiatalossa käyttöveden ja tilojen lämmittämiseen kuluu saman verran energiaa. Suunnittelussa keskitytään järjestelmähäviöiden pienentämiseen. Osa käyttöveden lämmittämiseen tarvittavasta energiasta voidaan ottaa talteen käytetystä vedestä, tai hyödyntää esimerkiksi aurinkoenergiaa ja ilmanvaihdon poistoilman lämpöä. Passiivenergiatalon suunnittelussa ja rakentamisessa onkin suositeltavaa varautua tulevaisuuden aurinkoenergiaratkaisuihin ja talon sijainnin ollessa suotuisa myös tuulivoiman käyttöön.

Sähköjärjestelmän suunnittelun tavoitteena on sähkön kulutuksen minimointi. Järjestelmät ja laitteet valitaan ja

sijoitetaan asunnossa niin että ne toimivat tehokkaasti ja kuluttavat vähän sähköä. Valaistuksessa hyödynnetään mahdollisimman paljon luonnonvaloa.

## 6. Energiatehokkuus ja hiilidioksidipäästöt (CO<sub>2</sub>)

Betoni on maailman yleisin rakennusmateriaali, jonka valmistuksessa käytetään sementtiä. Sementti on CO<sub>2</sub>-intensiivinen materiaali. Sementtiklinkkerin poltto tapahtuu korkeassa lämpötilassa ja kuluttaa siten varsin paljon energiaa. Lisäksi sementtiklinkkerin poltossa tapahtuu kemiallinen reaktio, kalkkikiven kalsinointi, josta aiheutuu noin 500 kg:n CO<sub>2</sub>-päästö sementtitonnin kohden. Kokonaisuudessaan portlandsementin CO<sub>2</sub>-päästöt ovat yleensä 700...850 kg sementtitonnin kohden. Sementin CO<sub>2</sub>-päästöjä voidaan alentaa olennaisesti seostamalla portlandsementtiä seosaineilla, kuten masuunikuonalla ja lentotuhkalla sekä myös kalkkikivifillerillä. Sementin valmistuksessa tapahtuva kemiallinen CO<sub>2</sub>-päästö palautuu betonin karbonatisoituaessa, eli betonirakenteet sitovat itseensä hiilidioksidia. Tätä reaktiota ei ainakaan toistaiseksi oteta huomioon betonin LCA-laskelmissa.

Maailmanlaajuisesti sementin arvioidaan aiheuttavan noin 5% CO<sub>2</sub>-päästöistä. Suuri osuus johtuu erityisesti Kiinan ja Intian valtavasta rakentamismäärästä, Suomessa sementin osuus CO<sub>2</sub>-päästöistä on 1,5...2%. Suomalainen sementtiteollisuus aiheuttaa noin 1 miljoonan tonnin CO<sub>2</sub>-päästöt vuosittain ja lisäksi Suomessa käytetään tuontisementtiä 10...20% sementin kokonaisuudesta.

Sementin osuus betonirakenteiden valmistuksen CO<sub>2</sub>-päästöistä on merkittävä. Betonirakenteiden valmistuksen päästöistä yleensä 60...80% aiheutuu sementistä. Osuuteen vaikuttavat merkittävästi sementtimäärä ja -tyyppi, raudoituksen määrä ja laatu, valmistustapa sekä raaka-ainesten ja betonin tai betonituotteen kuljetusmatkat. Raudoituksen osuus betonirakenteiden CO<sub>2</sub>-päästöistä on yleensä 10...25% ja valmistuksessa käytettävän sähkö- ja lämpöenergian osuus 5...20%. Betonin valmistaminen ei vaadi sinänsä paljoa energiaa.

Betonirakenteiden valmistuksen CO<sub>2</sub>-päästöt ovat yleensä luokkaa 250...350 kg betonikuutiometriä kohden. Arvo on samaa luokkaa kuin muillakin kivipohjaisilla rakennusmateriaaleilla. Rakennusmateriaalien ekologisuuden arvioiminen pelkästään valmistuksen CO<sub>2</sub>-päästöarvon perusteella on kuitenkin mahdotonta. Arviointi tulee aina tehdä koko rakennuksen tasolla ja rakennuksen koko elinkaari huomioonottaen. Lisäksi pitäisi pystyä varmistamaan siitä, että vertailtavat materiaalit täyttävät samat toiminnalliset vaatimukset.

Betonirakentiden osuus rakennuksen elinkaaren aikaisista CO<sub>2</sub>-päästöistä riippuu olennaisesti useista tekijöistä, joista tärkeimpiä ovat betonirakenteiden määrä sekä

rakennuksen käytönaikainen energiankulutus. Lounamaa /20/ analysoi betonielementtien merkitystä toimistorakennuksen ja kerrostalon elinkaaren aikaisiin ympäristökuormituksiin. Nykyisillä energian kulutustasoilla ja päästöprofiileilla rakentamisvaiheen osuus elinkaaren aikaisista (50 v) CO<sub>2</sub>-päästöistä oli toimistorakennuksella 12% ja kerrostalolla 10%. Käyttövaiheen vastaavat arvot olivat 84% ja 87%. Betonielementtien osuus elinkaaren aikaisista CO<sub>2</sub>-päästöistä oli toimistorakennuksessa 2,9% ja kerrostalossa 4,0%. Arvot vahvistavat käyttövaiheen dominoivan roolin rakennuksen ympäristökuormituksen kannalta. Sama tulee selkeästi esiin myös tutkimuksen herkkyystarkasteluissa, joissa verrattiin eri tekijöiden parantamisen vaikutuksia elinkaaren aikaisiin CO<sub>2</sub>-päästöihin. Rakennuksen lämmitys- ja sähkönenergian kulutuksella on erittäin voimakas vaikutus, kun taas betonissa käytettävän sementin tai teräksen vaikutukset ovat minimaalisia, kuten viereisen sivun kuva kertoo.

Betonirakenteiden osuus rakennuksen elinkaaren aikaisista CO<sub>2</sub>-päästöistä on nykyisellään varsin pieni, luokkaa 3...5%. Rakennusten energiankulutuksen vähentyessä osuus tulee kuitenkin kasvamaan. Lisäksi myös energian tuotanto tulee muuttumaan nykyistä vähäpäästöisemmäksi ja siten se vähentää erityisesti rakennuksen käyttövaiheen CO<sub>2</sub>-päästöjä. Lounamaan laskelmien mukaan vuonna 2020 uuden toimistorakennuksen kokonaispäästöt voisivat tippua nykyisestä 4500 kg:sta alle 1500 kg:aan rakennuksen brutto-m<sup>2</sup> kohden. Samalla rakentamisvaiheen osuus CO<sub>2</sub>-päästöistä nousisi nykyisestä 12%:sta noin 30%:iin.

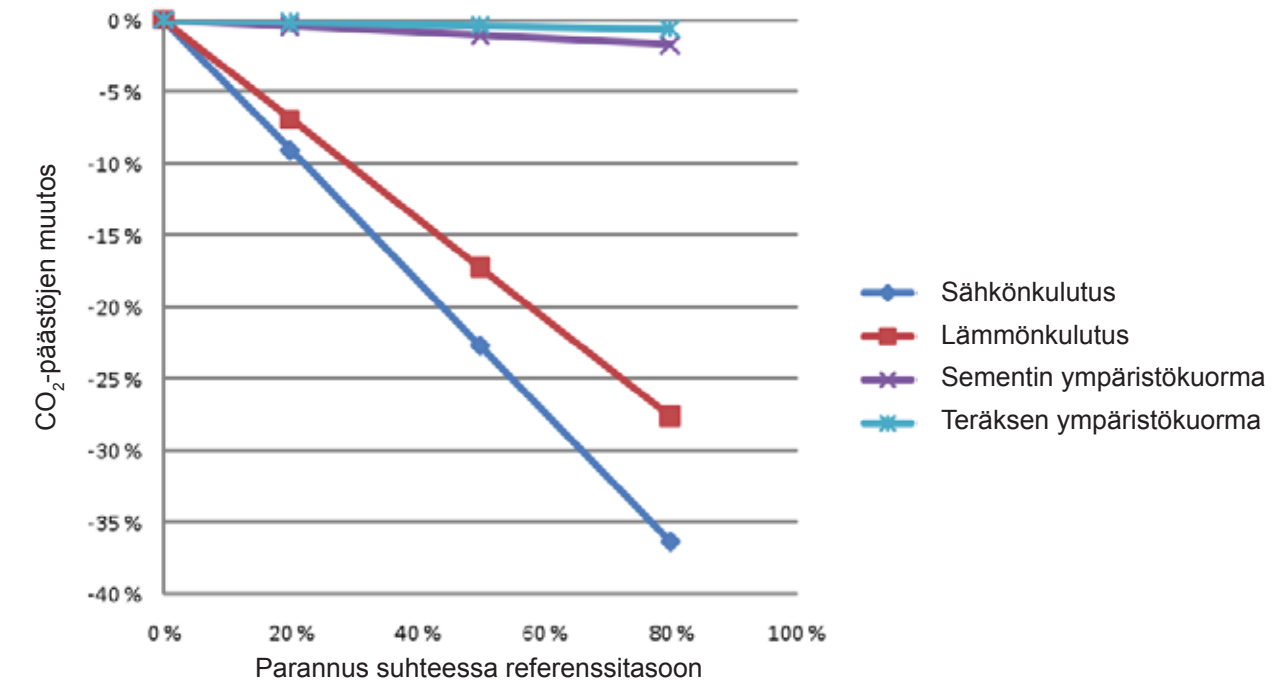
Betonirakenteiden valmistus aiheuttaa CO<sub>2</sub>-päästöjä, mutta vastineeksi betonirakenteilla on vaikutuksia



*Mistä sementin CO<sub>2</sub>-päästöt syntyvät? Vibreä osa, reilu 50 % syntyy kalkkikiven kalsinoinnista, punainen fossiilista polttoaineista ja valkoinen CO<sub>2</sub>-neutraaleista polttoaineista.*

käyttövaiheen energiankulutukseen ja sitä kautta myös CO<sub>2</sub>-päästöihin. Massiivisina rakenteina betonirakenteet tasaavat sisälämpötilan vaihteluita ja siten alentavat rakennuksen lämmitysenergian sekä erityisesti jäähdytysenergian tarvetta. Eri tutkimuksien mukaan voidaan varovaisesti arvioida, että massiivisuudella saavutettava energiansäästö on vähintään 5 %. Eli käytännössä massiivisuudella saavutettu säästö energiankulutuksessa ja CO<sub>2</sub>-päästöissä on samaa luokkaa kuin betonirakentamisen valmistuksesta aiheutuva energiankulutus tai CO<sub>2</sub>-päästö.

### Rakennuksen hiilidioksiditaseen parantaminen



*Sähkön kulutuksen, lämmitysenergian kulutuksen, sementin ja teräksen ympäristökuormitusten alentamisen vaikutukset toimistorakennuksen elinkaaren aikaisiin CO<sub>2</sub>-päästöihin / 20/.*



*Rakennusliike Reponen on kehittänyt oman MeraReponen-matalaenergiakerrostalokonseptinsa. Ensimmäinen sen mukainen kerrostalo valmistui Heinolaan huhtikuussa 2009.*

## 7. Esimerkkirakennuksia

### 7.1 Suomi

#### Rakennusliike Reponen matalaenergiakerrostalo, MERA- konsepti

<b>Rakennuttaja</b>	Alkuasunnot Oy
<b>Rakennussuunnittelu</b>	Vuorelma Arkkitehdit Oy, Heikki Vuorelma, Antti Vuopala
<b>Talotekniikka</b>	Ilmanvaihtolämmitysjärjestelmä, Swegon ILTO
<b>Huoneistoala</b>	1100 m <sup>2</sup>
<b>Kerrosala</b>	1200 m <sup>2</sup>
<b>Huoneistoja</b>	31 kpl

Heinolalaisen Rakennusliike Reponen Oy:n kehittämän MeraReponen –konseptin mukainen ensimmäinen matalaenergiakerrostalo valmistui Heinolaan 29.4.2009.

Pitkällisen kehitystyön vaatineessa kerrostalossa ei ole lainkaan perinteistä lämmitysjärjestelmää, vaan se lämpee pääosin laitteiden ja ihmisten tuottamasta lämmöstä

ja ilmanvaihtojärjestelmän lämmön talteenotosta saadulla energialla. VTT:n aikaisempina vuosina koeasunnosta tekemien mittausten mukaan lämmityskustannusten säästöä kertyy yli 70 % normaalikerrostaloon verrattuna.

VTT aloitti kohteen energiankulutuksen seurannan jo rakennusaikana. Vuonna 2010 mitataan yksittäisistä asunnoista ja koko kerrostalosta sekä kokonaisenergian ja veden kulutusta että erikseen lämmittämiseen ja veden lämmittämiseen käytettävää energiaa. Lisäksi seurataan asuntojen sisä- ja ulkolämpötiloja ja kosteutta. Jo nyt tehdyt mittaukset antavat tuloksiksi passiivitasoa vastaavan energiankulutuksen.

MERA- kerrostalon rakennuskustannukset ovat vain 1,7 % ( noin 27 euroa/br-m<sup>2</sup>) korkeammat kuin Normi-kerrostalossa. Paremmin energiaa säästävien ratkaisujen takaisinmaksuaika on tällöin vain 5-7 vuotta.

#### Ennätystiivis betonielementtitalo, Suutarinen Yhtiöt

Suutarinen Yhtiöt on tuonut markkinoille energiaa säästävät betonielementtirakenteiset passiiviomakotitalot. Ensimmäinen pientalo on rakennettu Mäntyharjulle.

Talon ulkoseinässä on betonisandwich- elementit,





Tiivis betonielementeistä tehty passiivitalo (VTT:n mitaama ilmanvuotoluku  $n_{50} = 0,09$ ). Suutarinen- Yhtiöt.



joissa on 250 mm paksu polyuretaanilämmöneriste. Seinän U-arvo on alle 0,1. Yläpohjarakenne on tehty SPU-Systems Oy:n kehittämistä Passiivikatto- elementeistä, jotka on koottu kertopuupalkeista ja polyuretaanilevyistä tehtaalla.

Talon ikkunat ja ovet on toimittanut Skaala Ikkunat ja ovet Oy, lattialämmityksen Uponor Oy ja ilmanvaihtojärjestelmän Enervent Oy.

VTT on mitannut talon tiiveyden ja  $n_{50}$ - ilmanvuotoluvuksi saatiin 0,09 l/h. Yleinen tavoite passiivitalojen tiiveydelle on 0,6. ”Kyseessä on Suomen tiivein ja tiettävästi myös maailman tiivein talo”, toteaa VTT:n tutkija Antti Nikkanen.

Huipputiiveys on saatu aikaan hyvällä suunnittelulla ja huolellisella toteutuksella. Polyuretaanieriste kiertää yhtenäisenä yläpohjasta seinään ja edelleen seinästä alapohjaan. Vaipan läpimenot on minimoitu. Ilmakanavisto ja

sähköistys on asennettu katossa omalle vyöhykkeelleen lämmöneristeen sisäpuolelle.

Talon erittäin pieni lämmitysenergiankulutus perustuu tehokkaasti eristävään vaippaan, massiivisiin lämpöä vauraviin betonisiin seinä- ja lattiarakenteisiin, huipputiiveyteen sekä tehokkaaseen lämmöntalteenottoon. Talosarjan rakennusten lämmitys voidaan tehdä maa- tai ilmalämpöperustaisena. Lämpimän veden tuottoon voidaan lisäksi käyttää aurinkokeräimiä.

### Passiivienergiatalo Villa Laine

Villa Laineen perusrunkorakenne on tehty Wienerbergerin valmistamista keraamisista runkotiilistä, perinteisestä muuraustavasta poiketen 5 mm saumapaksuudella, muurauskelkkaa hyväksikäyttäen. Ulkokehän kantavan rungon lisäksi myös väliseinät on tehty tiilistä.

<b>Rakennuttaja</b>	Timo Laine
<b>Rakennussuunnittelu</b>	RI Kalevi Lehtiö
<b>LVI-suunnittelu</b>	LVI: Senewa Oy, Risto Pääjärvi
<b>Sähkösuunnittelu</b>	Selega System Ky / Lasse Honkala
<b>Huoneistoala</b>	250 m <sup>2</sup>
<b>Bruttoala</b>	1200 m <sup>2</sup>

Ulkoseinien eristys on tehty 2x120 mm paksuisista SPU-AL levyistä. Eri levykerrokset on asennettaessa limitetty niin, että päällekkäisten levykerrosten saumat eivät kohdistu samaan kohtaan. Levyjen välinen asennussauma tiivistettiin saumavaahdolla. Ulkokuoren sidontaa varten asennettiin ruostumattomia tiilisiteitä 4 kpl/m<sup>2</sup>. Tiilisiteet on asennettu jälkikiinnityksenä levyjen lävitse porattujen, läpimitaltaan pari senttimetriä leveiden reikien kautta, jotka lopuksi myös tiivistettiin uretaanivaahdolla. Eristeen ja julkisivumuurausten väliin jätettiin 30 mm ilmarako, jolla estetään ulkoapäin rakenteeseen tulevan kosteuden tunkeutuminen sisempiin rakennekerroksiin. Varsinainen kuorimuri on 85 mm paksu tiiliseinä. Ulkoseinärakenteen kokonaispaksuus on 485 mm ja sen U-arvo on 0,10 W/m<sup>2</sup> K.

Rakenteessa ei tarvita erillistä höyrinsulkua tiiveyden varmistamiseksi. Rakennukselta vaadittava  $n_{50}$  ilmanpitävyys 0,6 l/h saavutetaan huolellisella työllä ja rakenteellisin keinoin.

Rakennuksessa on ryömintätalallinen tuulettuva alapohja. Alapohjan kantava laatta on 200 mm paksu ontelolaatta, jonka päällä on 340 mm (100+2x120 mm) paksuudelta SPU-AL levyjä, joiden päälle on valettu vielä 100



Passiivitalo Villa Laineen etelään viettävä katto tarjoaa edulliset lähtökohdat energiaa säästävälle ratkaisuille.

mm paksu pintalaatta. Alapohjan eristeet kohtaavat seinän eristeet ilman lämpökatoja ja ryömintätalankin suuntaan olevat kylmäsillat on saatu minimoitua mahdollisimman pieniksi. Koska alapohjan eristyksen U-arvo on jopa hie- man vaadittua passiivienergiatavoitetasoa parempi eli 0,07 W/m<sup>2</sup> K, on rakenne sekä lämpö- että kosteusteknisesti- kin hyvä. Myös varsinaisen ryömintätalankin kosteus- ja lämpötekninen toiminta varmistettiin niin, että sekä sokkelia että maata vasten on asennettu vähintään 80 mm paksu uretaanilevykerros.

Kattorakenne on tehty uretaanieristeisenä ilman höyrinsulkua. Sen eristys koostuu kolmesta SPU-AL -levykerroksesta, kokonaiseristepaksuudeltaan 410 mm, jolla

päästään 0,07 W/m<sup>2</sup> K U-arvoon. Tiiveys on hoidettu rakenteellisesti SPU-AL levyjä ja vaahdotusta hyväksikäyttäen ilman erillistä höyrysulkua.

Ikkunoissa on Skaalan Alfa 2+2 kaasutäytteiset avattavat lasit, joiden U-arvo on 0,79 W/m<sup>2</sup> K. Ovet ovat saman toimittajan erikoisovia. Isojen etelään ja länteen suuntautuvien ikkuna-aukkojen suunnittelussa ja toteutuksessa on otettu huomioon kesäaikainen varjostus.

Energiaratkaisuna on Savumax-savupiippuvaraajan ympärille rakennettu energiantuotantoryhmä. Sen kokoaavana keskusyksikkönä toimii 720 l vesisäiliöllä varustettu Savumax-savupiippuvaraaja, johon on yhdistetty katolle asennettu 17,5 m<sup>2</sup> suuruinen aurinkolämpökerääjäryhmä, sekä olohuoneeseen Savumax-säiliön viereen muurattu massiivinen tulisija. Lisäksi järjestelmään kuuluu tekniseen tilaan sijoitettu toinen 800 l lämminvesivaraussäikkö. Savumax on suurella pystysuuntaisella vesisäiliöllä varustettu lämminvesivaraaja, jonka lävitse kulkee yksikköön kuuluva happoteräksinen savuhormi. Vesivaraajan vesi lämmitetään suurimman osan vuotta aurinkopaneelien kautta kerätyn ja varaajaan johdetun aurinkoenergian avulla.

Pakkaskausina lämpö tuotetaan takan polttamisesta syntyvien savukaasujen hukkalämmöllä tai tarvittaessa sähkövastuksin. Varaajalla tuotetaan myös asunnon lämmin käyttövesi ja vesikiertoiseen lattialämmitykseen tarvittava lämpöenergia. Lämpöä voidaan käyttää myös ulkouima-altaan lämmittämiseen. Märkätilojen mukavuuslattialämmityksen lisäksi taloon asennettiin vesikiertoinen lattialämmitys myös muihin tiloihin.

Rakennuksen ilmanvaihto hoidetaan pyörivällä lämmönsiirtimellä varustetulla Enervent Greenair sarjaan

kuuluvalla Pegasos ekoEDW ilmanvaihtokojeella. Laitteen vuotuinen lämmön talteenoton hyötysuhde on jopa 75–80 %.

Talon kattomuotona on maaston muotoa mukaileva vino-orsikatto ja sisähuonekorkeus kasvaa pohjoisen suuntaan, mikä kesäajan ilmanvaihtoa ja tuuletusta ajatellen on oivallinen ratkaisu. Lämpiviä sisäilma kerääntyy talon yläosiin, josta ilmastointi poistaa sen. Etelään päin laskeva laaja kattopinta mahdollistaa samalla myös aurinkopaneelien hyödyntämisen energian tuotannossa.

Passiivenergiatiilitalon lämmitykseen ja jäähdytykseen tarvittava energiankulutuksen tavoitetaso on 20–30 kWh/brm<sup>2</sup> vuodessa ja tässä kohteessa peräti 17 kWh/brm<sup>2</sup>. Sekä lämmityksen että lämpimän käyttöveden tuottamiseen käytetty primäärienergia voidaan tuottaa edullisin keinoin aurinkolämmöllä ja polttopuiden polttamisesta syntyvällä savukaasujen hukkalämmöllä.

Hyvästä tiiveydestä ja lämmöneristävydestä johtuen eristeen sisäpuoliset massiivirakenteet varaavat hyvin lämpöä itseensä talvikautena ja toisaalta ne toimivat myös asuintilojen viilentävänä elementtinä kesäkaudella ilman varsinaista jäähdytystä. Passiivenergiataloissa massiivisuuden kautta saatava energian säästö on jopa 10–15% lämmityskaudella ja jäähdytysenergian säästö on vielä tätäkin merkittävämpi. Myös julkisivumuurausten ja ilma-raon energiaa säästävää hyötyä on tutkittu (TKK ja TTY) ja esimerkiksi matalaenergiatalossa sen U-arvoa parantava hyöty on jopa 10 % laskennalliseen arvoon verrattuna.

Koska passiivenergiatiilitalon lämmitystarve on talvellakin pieni, tulisi tulisijan olla massiivinen ja luovuttaa lämpöä hitaasti ja pienellä teholla.



*LämpöHelmi-paritalo  
Kuopion asuntomessuilla.*

### **LämpöHelmi Kuopion Asuntomessuilla**

LämpöPlus Oy:n rakennuttama LämpöHelmi-messutalo Kuopion Asuntomessuilla, jossa energiatehokkuus on huomioitu aina rakenteista ja lämmitys-järjestelmästä lähtien kodin elektroniikkaan asti.

Paritalon lämmitysratkaisuna on LG Electronicsin Therma V -vesi-ilmalämpöpumppu sekä lisälämmönlähteinä LG:n palkittuja ilmalämpöpumppuja. Betonimestarit Oy:n toimittamien sandwich-seinäelementtien lämmöneristeenä on 170 mm PUR, U-arvo = 0,14. Ne ovat myös hyvin tiiviitä.



*Dresdenin teknillistaloudellisen ammattikorkeakoulun kirjaston energiaratkaisuna on käytetty mm. aktivoitua betoniydintä.*

Massiivinen kivirakenne kerää lämpöä ja tasaa lämmön vaihteluita talon sisällä, täten kivitalo on talvella lämmin ja kesällä viileä. LämpöHelmen lämpöeristeiksi on valittu SPU-eristeet, jotka ovat markkinoiden tehokkaimpia ja omaavat huippuluokan lämmöneristysominaisuudet.

## 7.2 Muut maat

### Teknillistaloudellisen ammattikorkeakoulun kirjasto Dresden, Saksa

Ammattikorkeakoulun kirjasto on vuosina 2004-2006 rakennettu nelikerroksinen, tasakattoinen, teräsbetonista valmistettu rakennus. Julkisivut ovat ripustettuja, läpivärjättyjä ja hiekkapuhallettuja esivalettuja betonielementtejä. Sen välipohjat ovat paikallavalettuja ja filigranvälipohjia ja väliseinät muuattuja ja levyseiniä. Rakennuksessa on tasakatto.

Uudisrakennus on muista erillään oleva, suorakulmainen rakennus, jossa on ylös asti auki oleva, joka puolelta ympäröity atrium. Nelikerroksisen tasakattoisen rakennuksen perustukset tehtiin teräspalkkipaaluttamalla eikä rakennukseen kaivettu kellaria. Kirjaston kaikista tiloista aukeaa näkymä atriumiin, joka on ”läpinäkyvän” ja avonaisen uudisrakennuksen yhteinen tila.

Katetun sisäänkäynnin edessä on hierretystä betonista valmistettu lattiapinta. Kaikki luku- ja työskentelytilat on sijoitettu auringosta pois päin oleville julkisivuille sekä atriumin puoleiselle seinustalle. Kaksikerroksisessa lukusa-

<b>Rakennuttaja</b>	ReimarHerbst Architekten
<b>Rakennuttaja</b>	Freistaat Sachsen
<b>Käyttöala/Kerrosala</b>	2189 m <sup>2</sup>
<b>Bruttotilavuus</b>	16885 m <sup>3</sup>

lissa ympäriinsä kulkevat ikkunarivit luovat näköyhteyden sekä viherpihalle että seminaarirakennukselle. Julkisivun massiivisuutta tuettiin valituilla materiaaleilla – siihen käytetään isoja, 12 cm paksuja, läpivärjättyjä betonielementtejä. Myös sisäpinnoissa on runsaasti betonia.

Rakennuksen yhtenäinen runko ja sisällä sijaitseva atriumin olivat syynä kirjaston rakentamiselle ilman kellaria, mikä puolestaan mahdollistaa ikkunatuuletuksen lähes kaikissa rakennuksen osissa.

Tavoite oli, että rakenteellisten ratkaisujen avulla ilmastointilaitteista voitaisiin pääasiallisesti luopua. Perinpohjainen neuvottelu talotekniikan ja rakennusfysiikan asiantuntijoiden sekä suunnittelijoiden välillä tuki suunnitteluprosessia ja mahdollisti kaikkien välttämättömien komponenttien yhdistämisen innovatiiviseksi sisäilmäkonseptiksi. Erityisen hankalaksi haasteeksi osoittautuivat läpinäkyvät aurinkosuojina toimivat luonnonkiven ja lasin yhdistelmäelementit sekä aktiiviset rakenneosat sisäilmäratkaisun suunnittelussa ja toteutuksessa.

Rakennuksen keskellä sijaitsevan atriumin hormivaikeus tukee ristituuleutusta. Atriumin suojaus suoralta auringonpaisteelta tapahtuu moottoreilla ohjailtavien, katon korkeudessa olevien lamellien avulla. Lamellit liikkuvat auringon suunnan mukana vertikaalisesta normiasennosta auringon valolta ja säteilyltä suojaamaan horisontaaliseen asentoon. Lamellien väritys – taivasta kohti oleva puoli

tumma, sisäänpäin oleva puoli vaalea – huolehtii niiden lämpenemisestä ja tukee samalla atriumin ”kaminaefektistä” johtuvaa ilman kohoamista. Samalla lamellien vaaleampi alapuoli hyödyntää atriumin puoleisista ikkunoista tulevaa päivänvaloa.

Matalalla olevat ikkunat, joihin aurinkosuojina auringonpuoleisella julkisivulla on osittain käytetty luonnonkivi-eristyslasi-yhdistelmäelementtejä, suojaavat auringon valolta ja lämpösäteilyltä. Avattavien tuuletusluukkujen auringolta suojaavan lasin ja kiinteiden ikkunaelementtien luonnonkivi-eristyslasi-yhdistelmäelementtien hyödyntää päivänvaloa optimaalisesti ja suojaa suoralta valolta.

Säädettävä ikkunatuuletus takaa puhtaan ja lämpötilasta riippuvan ilmanvaihdon sekä yöaikaisen ja sääolosuhteiden mukaisen tuuletuksen. Ikkunat aukaistaan automaattisesti ryhmittäin tilojen lämpötilasta ja kosteuden määrästä riippuen.

Sisäseinät ja –katot ovat päällystämättömiä eivätkä lattiat ole eristettyjä, jotta ne pystyisivät varastoimaan lämpöä suhteellisen nopeasti ja pitkillä aikaväleillä.

Sisäilmaratkaisuun kuuluvien muiden elementtien välittömään yhteyteen liitettiin betoniytimen aktivointijärjestelmä. Useat vedellä täytetyt putket, jotka kulkevat betonivälipohjissa absorboivat lämpöä seinistä, lattiaista sekä katoista. Termisen hitautensa ansiosta betonivälipohjat luovuttavat absorboidun lämmön vasta jonkin ajan kuluttua takaisin tiloihin. Rakennuksen vuotuinen lämmitystarve on 56,6 kWh/m<sup>2</sup>.



*Sairaskassa Schwenninger BKK:n hallintorakennuksen lasijulkisivu aurinkosuojineen.*

## Sairaskassa Schwenninger BKK:n hallintorakennus, Villingen-Schwenningen, Saksa

Vuosina 2003–2005 rakennettu Schwenninger BKK -sairaskassan pääkonttorin rakennus on tärkeä myös kaupungin imagolle – onhan se ensimmäinen rakennus, jonka kaupunkiin tulevat näkevät.

Rakennuksen runko ja välipohjat sekä kattorakenne ovat teräsbetonia. Rakennuksen ei-kantavat väliseinät ovat lasia ja siinä on alumiini-pilari-palkki -julkisivu. Toimistotilat ympäröivät rakennuksen keskeistä osaa, nelikerroksista sisääntulohallia, joka jatkuu avoimena atriumina. Rakennuksessa on hallintotilojen lisäksi kahvila ja parkkihalli.

Kauttaaltaan yhtenäinen kattorakenne ja auringolta suojaavat lamellit hallin ja atriumin katolla luovat portaitaisen kulun hallista pation kautta ulos. Katutasen kerros haluttiin luoda rakennuksen saumakohdaksi yhdistämään sisääntulohalli ja toimistorivistöt. Belle étageissa sijaitsee sisääntuloaula, eteishalli, tilaisuuksia varten oleva sali, asiakaspalvelutilat ja korkeatasoinen työpaikkaruokala.

Ylimmäisissä kerroksissa toimistot ovat jaettu käytävien molemmille puolille. Myös julkisivun rakenne korostaa rakennuksen rungolle ja pohjamuodolle annettua teemaa – ”ydin ja kuori”. Julkisivun yhtenevän toteutuksen noudattamiseksi, on toimistohuoneiden koko kerroksen korkeuisen lasitetun julkisivun eteen asennettu aurinkosuojat. Ne liikkuvat auringon suunnan mukaisesti oikeaan asentoon. Näin rakennus saa syvyyttä ja – riippuen vuorokaudenajasta ja säästä – erilaisen kuvan avoimuudesta ja läpi-

<b>Arkkitehti</b>	wulf & partner
<b>Rakennuttaja</b>	Schwenninger BKK K.d.ö.R.
<b>Käyttöala/Kerrosala</b>	7500 m <sup>2</sup>
<b>Bruttotilavuus</b>	39560 m <sup>3</sup>

näkyvyydestä. Näkymä ulos ei kuitenkaan esty kokonaan, vaikka aurinkosuojat olisivatkin kokonaan kiinni.

Eteisaulan ja atriumin sisäjulkisivut ovat myös kokonaan lasia ja tämä antaa rakennukselle lisää läpinäkyvyyttä koko syvyydessään.

Ulko- ja sisäjulkisivuja, eteisaulaa sekä atriumin kattoja peittävät erilaiset lineaariset aurinkosuojakonstruktiot. Valon ja varjojen muodostamat linjat sekoittuvat aina silloin tällöin arkkitehtuurin kanssa, jolloin saadaan aikaan mielenkiintoinen duaalisuus arkkitehtuurisen struktuurin sekä toteutetun valon ohjailun välille. Läpinäkyvyyttä on vielä jatkettu kehittämällä uudentyypinen, kokonaan lasinen väliseinäsystemi.

Lattiamateriaalivalinnoilla, katutasen liuskekilvialla ja muiden kerrosten parkettialalla, on haluttu vastapainoa sisä- ja ulkojulkisivujen lasisuudelle. Materiaalien luonnollisuuden ja betonista valmistettujen pintojen ansiosta on saatu luotua selkeä materiaali- ja pintakonsepti.

Rakennuksen tehtävänä on tarjota käyttäjilleen optimaalista mukavuutta mahdollisimman pienin investointi- ja käyttökustannuksin ja luonnonmukaisin keinoin. Muutamia toimintatiloja lukuun ottamatta ilmanvaihto hoidetaan ikkunatuuletuksella. Hallia reunustavia tiloja tuuletetaan ensisijaisesti yöaikaan, jolloin ulkoilma on viileämpää. Tuuletukselta tehostetaan toimistojen tuloilma-aukkojen sekä hallin katossa olevien poistoilma-aukkojen

## VBI EcoPrefab- järjestelmä yliopistorakennuksessa Groningenissa

Groningenin valtionyliopiston kampuksella on sovellettu hollantilaisen Consolis- konserniin kuuluva VBI-yrityksen kantavaan, esivalmistettuun rakenteeseen interoimia VBI

EcoPrefab –konseptin mukaisia jäähdytys- ja lämmitys-järjestelmiä.

The Center of Life Sciences -rakennus valmistui vuoden 2009 lopulla ja se on otettu käyttöön vuonna 2010. Rakennuksessa on toimistoja, luentosaleja, laboratorioita ja useita tutkimustiloja. Yhdeksänkerroksisen rakennuk-



*Groningenin yliopiston jäähdytyksessä käytetään alueen termisen energian varastointimahdollisuuksia sekä VBI:n uutta esivalmistettuihin rakenteisiin integroitua jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmää.*

<b>Arkkitehti</b>	Arkkitehtitoimisto Jürgen Franke
<b>Rakennuttaja</b>	Cottbusin kaupunki
<b>Käyttöala/Kerrosala</b>	4554 m <sup>2</sup> (koulurakennus) 1598 m <sup>2</sup> (monitoimihalli)
<b>Bruttotilavuus</b>	4500 m <sup>3</sup>

sen kokonaispinta-ala on

34,000 m<sup>2</sup>. Rakennus on hyvin futuristinen siipineen ja niiden välisine siltoineen, jotka muodostavat maisemaan virtuaalisen portin.

Rakennus on kytketty alueella olevaan energian massa-varastoon. VBI-konseptin mukainen rakennus mahdollistaa termisen massan ja muun putkituksen ja asennuksien integroimisen lattiarakenteeseen. VBI-ilmastointilattiassa kulkevat jäähdytys- ja lämmitysputket on yhdistetty lämpöpumppuun, joka pumppaa kylmää tai lämmintä ympäröivästä maaperästä. Lattia toimii siis sekä lämmitys- että jäähdytyslementtinä. VBI ilmoittaa, että sen avulla toteutettujen rakennusten energiakustannukset jäävät yli 60% alhaisemmiksi kuin perinteisillä järjestelmillä. Huoneet ovat kesälläkin miellyttävän viileitä, ja talvisin niissä on kattolämmitys.



*Hyvin eristetyin, tiiviin ja massiivisen rakennuksen lämmitys voidaan mitoittaa selvästi alhaisemmalle teholle kuin aikaisemmin.*

### **Esimerkki ThermoDeck-järjestelmästä: Lärkträdet, Vara, Ruotsi**

<b>Arkkitehti</b>	Vara Byggkonsult AB
<b>Rakennuttaja</b>	Vara Bostäder AB
<b>Urakoitsija</b>	Tommy Byggare AB
<b>Vaippa ja ThermoDeck</b>	AB Strängbetong
<b>Kerrosala</b>	1350 m <sup>2</sup>

Rakennuksen vaippa koostuu hyvin eristetyistä (250 mm EPS) sandwich-elementeistä. Laatan onteloita hyödynnetään ilmanvaihdossa, lämmityksessä ja jäähdytyksessä ThermoDeck-järjestelmän mukaisesti. Rakennus lämpiää 8,5 kW maalämpöpumpulla (95%), jota täydentää kylmimpään vuodenaikaan sähköinen 10 kW lämpöelementti. Noin puolet lämpimästä vedestä tuotetaan aurinkokehäimillä.

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 huonetilaan. Ylikuumentumisriskiä ei siis ole, ja lämpö jakautuu katosta tasaisesti koko asuntoon.

Samoin kesällä yllämpö vähenee, kun rakenteisiin kerääntynyt lämpö voidaan viilentää noin 13-asteisella ulkoilmalla, ja se voi ottaa vastaan seuraavan päivän lämpökuorman.

Hyvin eristetyn ja tiiviin rakennuksen aikavakio on hyvin korkea, jos siinä on myös paljon termistä massaa.

Aikavakio on silloin yli 350 tuntia. Ruotsalaisten passiivitalokriteerien mukaan tällaisen rakennuksen mitoittava ulkolämpötilaa voidaan -18°C:sta -10°C:een, mikä vähentää merkittävästi tarvittavaa lämmitystehoa.

## Viitteet:

- /1/ Hietämäki 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/ Vinba, J. et al. *Asuinrakennusten ilmanpäätyys, sisäilmasto ja energiatalous.* TTY. Rakennustekniikan laitos. 2009.
- /4/ *Terma-järjestelmäopas.* Parma Oy. 2006.
- /5/ *Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings.* IEA. 2008.
- /6/ *Matalaenergiabarkkotalo. Pientalojen energiankulutuksen vertailulaskelmia.* Tutkimusraportti RTE 627/05. VTT. Espoo 2005.
- /7/ *Matalaenergiabarkkotalo. Yleissuunnitteluohje. Tutkimusraportti RTE 3785/02.* VTT. Espoo 2002.
- /8/ *General guidelines for using thermal mass in concrete buildings. European concrete platform.* 2009.
- /9/ *Concrete for Energyefficient buildings. The benefits of thermal mass. European concrete platform.* 2007.
- /10/ *Puu- ja kivitalojen vertaileva asumistyytyväisyystutkimus 2008.* Suomen Betonitieto Oy.
- /11/ *Betong för energieffektiva byggnader. En rapport från Betongforum. Sverige.* 2009
- /12/ *Betonirakenteiden ympäristöominaisuudet.* Betonikeskus ry. 2007.
- /13/ *Nieminen J. et al. Passiivitalo. PEP- Promotion of European Passive Houses-projektiraportti.* VTT. 2008.
- /14/ *Suomen rakentamismääräyskokoelma RakMk C3. Rakennusten lämmöneristys. Määräykset 2010.*
- /15/ *Suomen rakentamismääräyskokoelma RakMk D3. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2010.*
- /16/ *EN ISO 13790:2008. Rakennusten lämpötekniset ominaisuudet. Lämmityksen ja jäädytyksen energiantarpeen laskenta.*
- /17/ *Suomen rakentamismääräyskokoelma RakMk D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2007.*
- /18/ *Passiivenergiatalo harkoista- LVI- tekniikan ratkaisumallit ja suunnitteluohjesuunnitteluohje. Tutkimusraportti VTT-R\_08496-09. VTT 2009.*
- /19/ *Energieeffizienz im Hochbau. Teil 1. Wirtschafts Hochbau. BetonMarketing Deutschland.* 2009.
- /20/ *Lounamaa, A. . CO2-Emissions during the life cycle of Apartments and Office buildings – effects of precast concrete elements. Diplomityö, Teknillinen korkekoulu 2010.*
- /21/ *RIL 249-2009 Matalaenergiarakentaminen Asuinrakennukset. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2009*
- /22/ *Suomen rakentamismääräyskokoelman osien C4, D2, D3 ja D5 lausuntoversiot 28.9. 2010.*