

## Matalaenergiarahkotalo

# LVIS-suunnitteluohje

# Matalaenergiaharkkotalo **LVIS-suunnitteluohje**

Juhani Laine ja Mikko Saari  
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka



Copyright © VTT 2002

#### JULKAISIJA

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Lämpömiehenkuja 3, PL 1804, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 455 2408

#### RAPORTIN JAKELU

Suomen Betonitieto Oy

PL 11, (Unioninkatu 14), 00131 HELSINKI

puh. (09) 696 2360

faksi (09) 651 145

Raportin viimeistely Auli Rautakivi

Espoo 2002

# Tiivistelmä

Tässä raportissa esitetään suunnitteluohjeita ja perusteita matalaenergiarahkotalon lämmityksen ja ilmanvaihdon, vesi- ja viemärijärjestelmien sekä sähköjärjestelmien suunnitteluun, laitevalintoihin ja toteutukseen.

Tutkimuksilla on osoitettu komponenttien ja järjestelmien toimivuus ja merkitys energiankäytön taloudellisessa tehostamisessa ja hyvän sisäilmaston toteuttamisessa. Rakennus- ja talotekniikan yhteensovitus matalaenergiatalojen toteutuksessa johtaa yksinkertaiseen, toimivaan ja edulliseen lopputulokseen. Matalaenergiatalo kuluttaa vähän energiaa, mutta oleellisinta talotekniikan kannalta on, että se tarvitsee vain vähän lämmitystehoa. Tehontarve on kovimmillakin pakkasilla vain 15 - 25 W/m<sup>2</sup>. Sen tuottamiseen ei kovin monimutkaisia lämmitysratkaisuja ole järkevää rakentaa. Esimerkiksi ilmanvaihtojärjestelmän tuloilmavirta pystyy jakamaan tarvittavan lämmön huoneisiin.

# Alkusanat

Suunnitteluohjeen tilaaja oli Suomen Betonitieto Oy.

Projektin johtoryhmään kuuluivat Seppo Petrow, Suomen Betonitieto Oy:stä, puheenjohtaja, Heikki Korhonen, Reikäbetoni Oy:stä, Tuomo Kovanen, Rakennusbetoni ja elementti Oy:stä, Jouko Partanen ja Mikko Pöysti, Optiroc Oy:stä, Jukka Parviainen ja Pekka Tikkanen, HB-Betoniteollisuus Oy:stä sekä Tuomo Sahlsten, Lakan betoni Oy:stä.

Suunnitteluohjeen ovat laatineet Juhani Laine ja Mikko Saari VTT:stä.

# Sisällysluettelo

|   |    |
|---|----|
| Tiivistelmä.....                                    | 3  |
| Alkusanat.....                                      | 4  |
| 1. Mikä on matalaenergiatalo.....                   | 6  |
| 2. Terveellinen sisäilmasto .....                   | 6  |
| 3. Lämmitysjärjestelmä.....                         | 6  |
| 3.1  Varaava lattialämmitys.....                    | 8  |
| 3.2  Ilmanvaihtolämmitys.....                       | 9  |
| 3.3  Lämmityksen säätö- ja ohjausjärjestelmä.....   | 10 |
| 4. Tulisija matalaenergiatalossa .....              | 13 |
| 5. Ilmanvaihtojärjestelmä.....                      | 15 |
| 5.1  Ilmanvaihtokone.....                           | 16 |
| 5.2  Ilmakanavisto päätelaitteineen .....           | 17 |
| 5.3  Ilmanvaihdon säätö- ja ohjausjärjestelmä ..... | 18 |
| 5.4  Käyttö ja huolto .....                         | 19 |
| 6. Vesi- ja viemärijärjestelmä .....                | 19 |
| 7. Sähköjärjestelmä.....                            | 20 |
| Lähdeluettelo .....                                 | 21 |

# 1. Mikä on matalaenergiatalo

Matalaenergiatalon tilojen lämmitysenergiankulutus on alle puolet tavanomaisen talon kulutuksesta. Rakennuksen energiankulutusta voidaan pienentää lämmitystavasta tai energiantuotantotavasta riippumatta. Matalaenergiarahkotalossa käytettyjä yksinkertaisia matalaenergiaratkaisuja ovat ilmanvaihdon energian lämmöntalteenotto, parempi seinien, alapohjan, yläpohjan, ovien ja ikkunoiden lämmöneristys. Lisäksi huolellisella rakentamisella vältetään rakenteiden lämpö- ja ilmavuodot sekä vältetään kosteusvauriot.

Koska matalaenergiatalossa lämmitysenergian tarve on pieni, voidaan lämmitysjärjestelmää yksinkertaistaa ja siten lisätä laitteiden toimintavarmuutta. Esimerkiksi lämmityspatterit voidaan jättää pois ikkunoiden alta. Ikkunavettoa ei synny, koska ikkunapintojen lämpötila on lähes sama kuin huonelämpötila.

## 2. Terveellinen sisäilmasto

Pienentyneen energiankulutuksen lisäksi matalaenergiarahkotalo tarjoaa korkealuokkaisen sisäilmaston, mikä tarkoittaa raikasta ja puhdasta ilmaa, sopivia lämpötiloja, vedottomuutta ja meluttomuutta. Matalaenergiarahkotalossa ulkomelun ääneneristys on luonnostaan erittäin hyvä.

Hyvä sisäilmasto perustuu hallittuun koneelliseen ilmanvaihtoon, hyvään ilmansuodattukseen, hyvin lämpöeristettyihin ja tuulenpitäviin rakenteisiin. Lisäksi hyvä sisäilmasto varmistetaan huolellisella suunnittelulla ja rakentamisella. Käytettyjen rakennusratkaisujen ja -materiaalien sekä teknisten järjestelmien turvallisuus ja toimivuus on varmennettu tutkimuksissa.

## 3. Lämmitysjärjestelmä

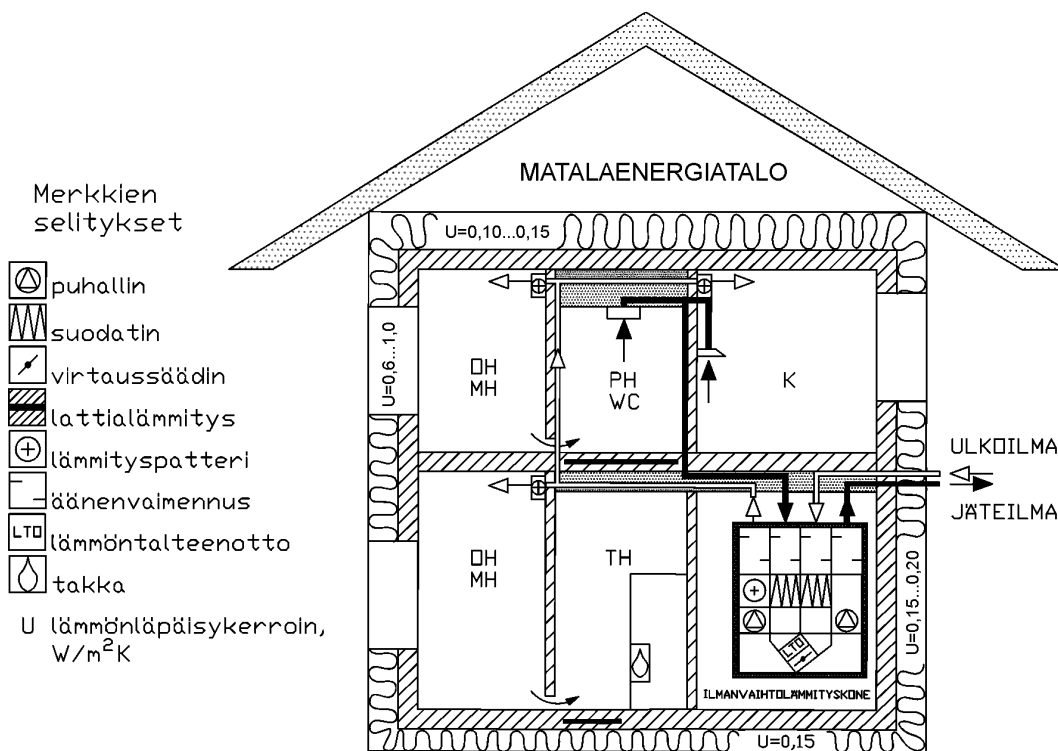
Lämmitysjärjestelmänä matalaenergiarahkotalossa on osittain varaava lattialämmitys ja ilmanvaihtolämmitys (kuva 1). Lattialämmityksessä edullista yösähkölämpöä varastoidaan kivrakenteisiin lattioihin. Lattiaan varattu lämpö vapautuu päivän aikana huoneilmaan. Lämmön varaus toimii automaattisesti termostaatilla, joka ottaa huomioon ulkoilman lämpötilan ja lattian lämpötilan.

Lattialämmitys tapahtuu pääosin yösähköllä. Matalaenergiatalossa ei tarvita lämmitysvesivaraajaan perustuvaa varaavaa lämmitysjärjestelmää. Varaamiseen riittävät lattiarakenteet.

Lisäksi kaikissa asuinhuoneissa on huonetermostaatti, jolla sisälämpötila voidaan asettaa halutuksi huonekohtaisesti. Tällä termostaatilla voidaan tarpeen mukaan muuttaa sisälämpötiloja kellonajasta riippumatta. Lämmitys tapahtuu lämmittämällä huoneisiin puhallettavaa ilmanvaihdon tuloilmaa. Tällä menetelmällä huonelämpötila voidaan pitää tasaisena nopeasti muuttuvissakin olosuhteissa. Lisäksi talossa on kuivauspattereita (tai varaus) tarpeen mukaan esimerkiksi pesuhuoneessa ja tuulikaapissa.

Lämpimän veden lämmitys tapahtuu lämpimän käyttöveden varaajalla, jonka sopiva tilavuus on 300 litraa talon ja perheen koon mukaan. Lämmitys tapahtuu kokonaan yösähköllä. Varaajan viereen varataan toiselle 300 litran aurinkolämpövaraajalle. Lisäksi varataan reititystilat aurinkolämpöputkille varaajasta katolle.

Matalaenergiatotalossa on tilavaraus lämpövaraavalle tulisijalle. Jos löylyhuoneessa on sähkökiuas, kannattaa suunnitelmissa tehdä tila- ja reititysvaraus myös puukiukaalle ja savuhormille.



Kuva 1. Ilmanvaihtolämmitysjärjestelmän periaatekuva.



### Matalaenergiäharkkotalon lämmitysjärjestelmän tekninen kuvaus:

- ☺ lämmitysenergiamuoto on sähkölämmitys: osittain varaava sähkölämmitys, yösähkön osuus on yli 90 % lämmitysenergiasta
- ☺ lämmönjakotavat ovat osittain varaava lattialämmitys sähkölämmityskaapeleilla kivirakenteisissa lattioissa sekä huonekohtainen ilmanvaihtolämmitys säätölämmityksenä lattialämmitetyissä asuinhuoneissa
  - ☺ huonekohtaista ilmanvaihtolämmitystä voidaan käyttää päälämmityksenä asuinhuoneissa, joissa ei ole lattialämmitystä
- ☺ lämmönsäätöjärjestelmä on keskitetty säätöjärjestelmä ME-Platin tai vastaava säätöjärjestelmä varaavaa lattialämmitystä ja ilmanvaihtolämmitystä varten
- ☺ lämpimän käyttöveden vuorokausivarastointi vesivaraajaan yötariffin aikana
  - ☺ varmistetaan vesivaraajan kestävyys valitsemalla syöpymätön materiaali tai esimerkiksi monikerrosemalointi
  - ☺ vesivaraajassa pitää olla tehokas lämmöneriste (esimerkiksi 100 mm polyuretaania) joka puolella varaajaa (tavoitteena on, että 300 litran varaajan lämpöhäviöteho saa olla huonelämpötilassa korkeintaan 100 W veden lämpötilan ollessa 80 °C)
  - ★ aurinkolämpö lisävarusteena

## **3.1 Varaava lattialämmitys**

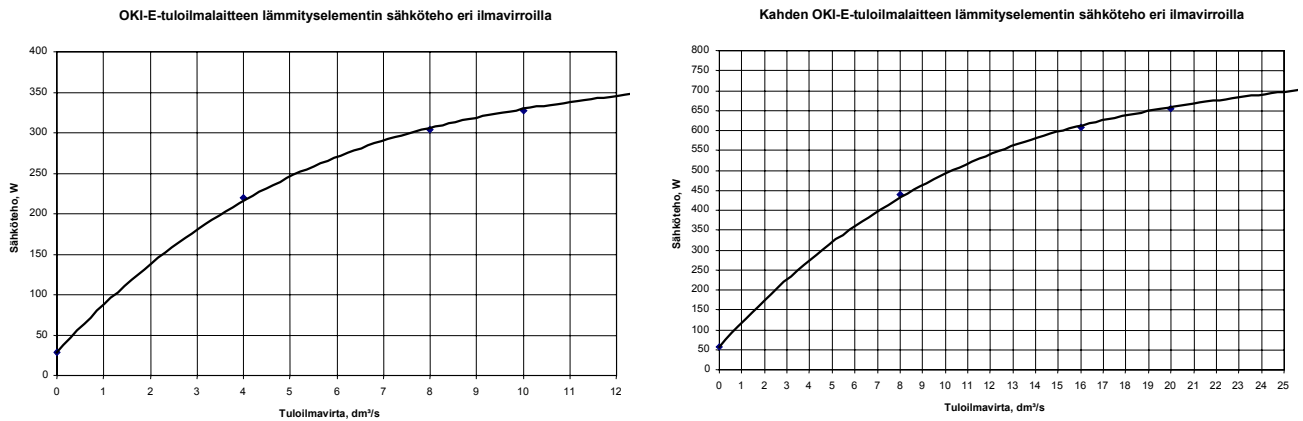
- ☺ peruslämmitys toteutetaan yksinkertaistetulla osittain varaavalla lattialämmityksellä (sähkölämmityskaapeli ala- ja välipohjan betonilaatassa)
- ☺ tilojen mitoituslämmöntarve on noin 30 W/m<sup>2</sup> (LVI- tai sähkösuunnittelija määrittää huonekohtaiset mitoituslämmöntarpeet)
- ☺ sopiva osittain varaavan lattialämmityksen mitoitus-teho on noin 60 W/m<sup>2</sup>
- ☺ varaavan lattialämmityksen säätöpiirejä pyritään suunnittelemaan mahdollisimman vähän, säätöpiirijako riippuu talon pohjaratkaisusta, tilojen käytöstä ja lattian pinnoitteista
- ☺ samoin lattialämmityksen lämmityskaapelilenkkejä suunnitellaan mahdollisimman vähän (noin 2 kW, max 10 A, lenkit ovat sopivia eli noin 30 - 35 m<sup>2</sup>/lenkki)
- ☺ lämmönsäätö lattiatermostaatilla ulkoilman lämpötilan mukaan
- ☺ lämmityskaapelien asennusväli on normaalisti 30 cm, märkätiloissa 15 cm (klinkkeripintaiset tilat)
  - ☺ klinkkeripintaiset lattiat omaan säätöpiiriin
- ☺ betonisen lattialaatan minimipaksuus on 100 mm lämmönvaraavuuden takia
  - ☺ jos laatta valetaan kahdessa vaiheessa, niin sitä voi vielä paksuntaakin, esim. 150 mm
- ☺ asennustyön yksinkertaistamiseksi ja halventamiseksi sekä varauskyvyn parantamiseksi lämmityskaapelit asennetaan ennen väliseiniä niin, että kaapelit kulkevat myös kiinteiden kalusteiden ja kevyiden väliseiniä alla (väliseiniä tai kaapistoja ei saa ampua kiinni lattialämmityslaataan)

- ☺ näin tehtynä lattialämmitys ei estä väliseinien ja kaapistojen vapaata siirtelyä
- ☺ lämmityskaapelit asennetaan betonialapohjassa (kuorilaatta soveltuu hyvin tähän tarkoitukseen) mahdollisimman syväälle, ei kuitenkaan kiinni alapuoliseen lämmöneristeeseen tms.
  - ☺ kahdella laatan valukerralla voidaan varmistaa kaapelin asennussyvyys ja mahdollistaa turvalliset kiinnitykset lattiaan
- ☺ paikalla valetussa välipohjassa lämmityskaapelit asennetaan mahdollisimman keskelle rakennetta
- ☺ ontelolaattarakenteessa lämmityskaapelit asennetaan ontelolaatan päälle ennen pintalaatan betonivalua (pintalaatan paksuudeksi riittää 60 - 80 mm)
  - ☺ ontelolaattarakenteessa lämmityskaapelit voidaan asentaa vaihtoehtoisesti myös ontelolaatan onteloihin, jolloin kaapelit ovat tarvittaessa vaihdettavissa (mallitoteutusratkaisu on suunniteltava hyvin ennen rakentamista) (Kaitamaa et al 1993)
- ☺ betonisessa välipohjassa lattialämmitys toimii myös alla olevien tilojen kattolämmityksenä
  - ☺ alapuolella olevien puolilämpimien ja viileiden tilojen (varastot, autotallit ym.) katot tulee lämpöeristää esim. akustiikkalevyllä (yleensä pelkkä kipsilevytyks riittää)
- ☺ matalaenergiarahkotalossa varaava lattialämmitys toimii matalilla lämpötilatasoilla, joten yleensä kaiken tyyppisiä lattian pintamateriaaleja voidaan käyttää
  - ☺ mitoituspakkasillakin lattialaatan lämpötila on vain noin 26 °C ja lattian pintalämpötila noin 24 °C (lämpötilaa rajoitetaan lattiatermostaattilla !)
  - ☺ lattiapinnoitteen soveltuvuus lattialämmitykseen on varmistettava aina pinnoitteen valmistajalta

### 3.2 Ilmanvaihtolämmitys

- ☺ huonekohtaista ilmanvaihtolämmitystä käytetään säätölämmityksenä lattialämmityksessä asuinhuoneissa tai päälämmityksenä asuinhuoneissa ilman lattialämmitystä
- ☺ säätö huonelämpötilan perusteella
- ☺ lämmitysvastuksen pintalämpötila pitää olla niin matala, ettei se polta pölyä (korkein sallittu pintalämpötila on 80 °C)
  - ☺ esim. RC-Linja Oy:n OKI-E-lämmittävä tuloilmalaite, jonka itserajoittuva jatkuva teho on 300 - 400 W (kuva 2)
  - ☺ kytkentäryhmiä suunniteltaessa on otettava huomioon, että PTC-lämmitysvastuksen kytkentävirtapiikki voi olla jopa 16 A, vaikka jatkuva virta on alle 2 A (esim. etuvaroke C-laukaisukäyrällä)
  - ☺ OKI-E ei vaadi ylikuumenemissuojia tai muita turvalaitteita
  - ☺ vain yksi lämmitinkoko, tarvittaessa suurempia tehoja käytetään useampia lämmittimiä
- ☺ makuuhuoneisiin riittää yleensä yksi lämmittävä tuloilmalaite

- ☺ olohuoneeseen tarvitaan yleensä kaksi lämmittävää tuloilmalaitetta
- ☺ matalaenergiarahkotalossa tuloilma voidaan puhaltaa vapaasti seinän yläosasta tai katosta, esimerkiksi sisäseinältä ikkunaa kohti ilman vedon tai lämpötilojen kerrostumisen pelkoa



Kuva 2. Lämmittävän tuloilmalaitteen lämmitysteho riippuu ilmavirrasta. Laitteelle tulevan ilman lämpötila on 20 °C. Ilmavirran pienentyessä laitteen lämmitysteho pienenee itsestään eikä ylikuumentumissuojia tai muita varolaitteita tarvita.

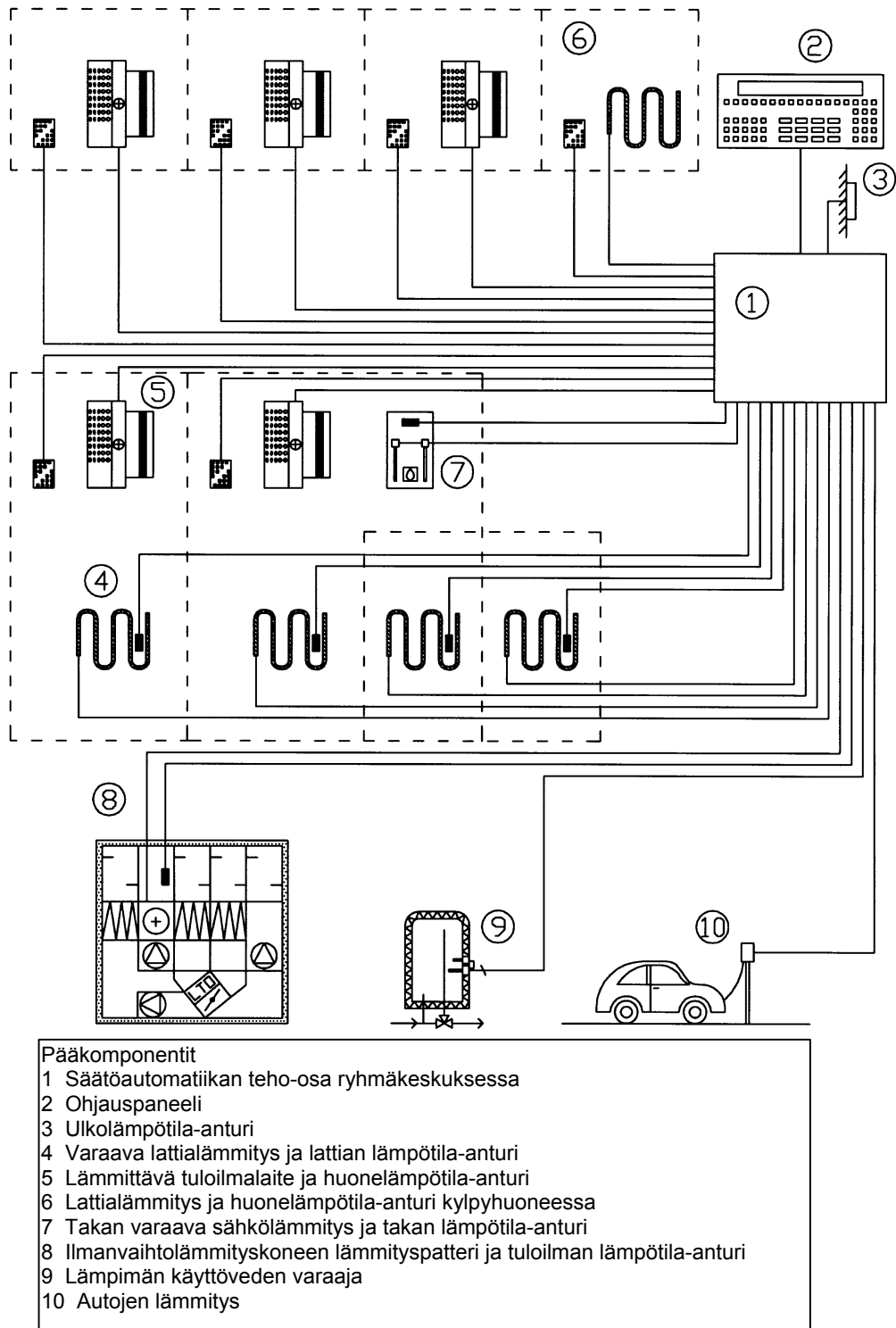
### 3.3 Lämmityksen säätö- ja ohjausjärjestelmä

- ☺ lattialämmityksessä on lämmityspiirikohtainen betonilattialaatan lämpötilan säätö
- ☺ ilmanvaihtolämmityksessä on tilakohtainen huonelämpötilan säätö
- ☺ lämminvesivaraajassa on yösähköohjaus ja lisäksi päiväkäyttöohjaus
- ☺ varaavaa lattialämmitystä ohjataan ulkolämpötilan ja betonilattialaatan lämpötilan mukaan lattiatermostaattilla (taulukko 1)
  - ☺ lattialämmitys on normaalisti päällä vain yösähkötariffilla ja vain öisin (ei esimerkiksi sunnuntaina päivällä)
  - ☺ koko lattialämmityksen ohjaus on myös mahdollista päiväohjauksella (esim. 5 °C:n pudotuksella, joka on aseteltavissa)
  - ☺ lämmitystä voidaan ohjata kotona/poissa kytkimellä
  - ☺ säätimen asetusarvo (=betonilaatan lämpötila) määräytyy ulkoilman lämpötilasta
  - ☺ säätöpiirejä suunnitellaan mahdollisimman vähän
  - ☺ kiukaan lämmitys vuorottelee varaavan lattialämmityksen kanssa

Taulukko 1. Varaavan lattialämmityksen säätötavat.

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Säätötapa 1                | Yösähköjakson aikana betonilattialaatan lämpötilan asetusarvo riippuu suoraan hetkellisestä ulkolämpötilasta. Mitä kylmempää ulkona on, sen korkeampi on betonilaatan lämpötilan asetusarvo. Tyypillinen säätökäyrä kulkee seuraavien pisteiden kautta: ulkolämpötilassa -30 °C asetusarvo on +26 °C ja ulkolämpötilassa +10 °C asetusarvo on +20 °C. Yösähköjakso voidaan jakaa kahteen osaan (esim. klo 20-03 ja klo 03-07), joilla on omat säätökäyränsä. Näin voidaan ajoittaa varaus leudolla säällä aamuyöhön. Tällöin aamulla päiväsähkön alkaessa lattiassa on maksimaalinen lämmönvaraus, mutta yöllä sisälämpötilat eivät nouse tarpeettomasti. Laiteratkaisuksi sopii esimerkiksi ME-Platin (kuva 3).   |
| Vaihtoehtoinen säätötapa 2 | Yösähköjakson alussa (esim. klo 20) mitatun ulkolämpötilan perusteella säädin laskee säätökäyrästä betonilattialaatan lämmittämisen aloitusajankohdan. Lämmitys päättyy päiväsähköjakson alkaessa. Säätökäyrä kulkee esimerkiksi seuraavien pisteiden kautta: kun ulkolämpötila on alle -25 °C, niin lämmitys on päällä 100 % yösähköajasta ja kun ulkolämpötila on yli +10 °C, niin lämmitys ei mene lainkaan päälle. Näiden lämpötilojen välillä aloitusaika määräytyy lineaarisesti säätökäyrästä. Lämmitysaikaa voidaan tarvittaessa hienosäätää -20 % ....+20 % muuttamatta säätökäyrää. Betonilattialaatan lämpötilan ylittäessä maksimiasetusarvon, lämmitys katkeaa. Sopiva maksimilämpötilan asetusarvo lienee noin +26 °C. Laiteratkaisuksi sopii esimerkiksi Devireg 710. |

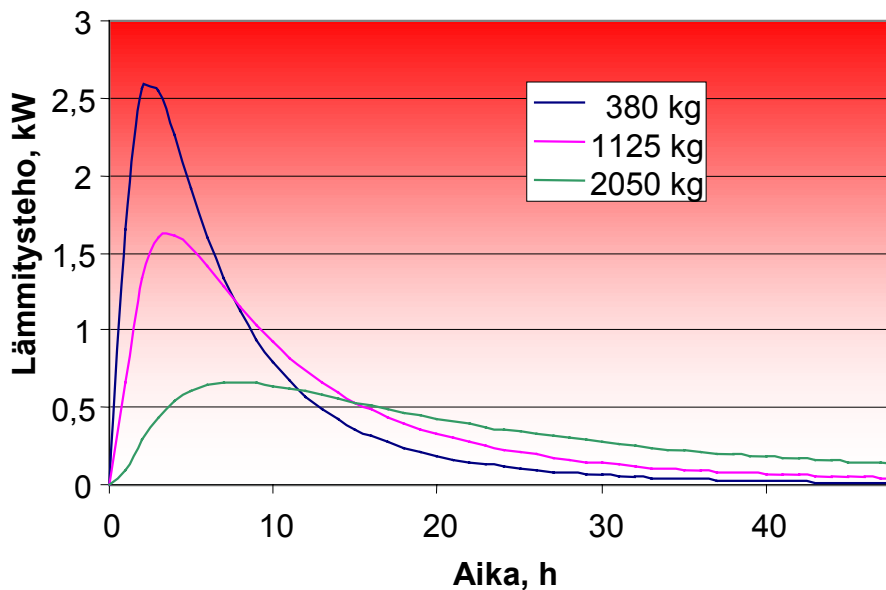
- ☺ märkätiloissa lattialämmitystermostaatilla voidaan asettaa muita tiloja korkeampi pintalämpötila
- ☺ ilmanvaihtolämmitystä ohjataan huonelämpötilan mukaan huonetermostaatilla
  - ☺ lämmitys on mahdollista kaikilla sähkötariffeilla



Kuva 3. Keskitetyllä lämmönsäätöautomatiikalla toteutetun matalaenergiatalon sähkölämmitysjärjestelmän kaavio. (Laine et al 1998)

## 4. Tulisija matalaenergiatalossa

Matalaenergiatalon lämmitystarve on talvellaikin pieni, joten tulisijan tulisi luovuttaa lämpöä hitaasti ja pitkään pienellä teholla (kuva 4). Varaavassa uunissa tulee olla riittävän paljon lämpöä varaavaa massaa ja alhainen pintalämpötila. Pintalämpötilan alentaminen voidaan toteuttaa kuorirakenteilla tai muilla lämmönsiirtoa hidastavilla rakenneratkaisuilla. Kevyt tulisija saattaa antaa matalaenergiataloon liian suuren hetkellisen lämpötehon, joka nostaa sisälämpötilan tarpeettoman korkeaksi.



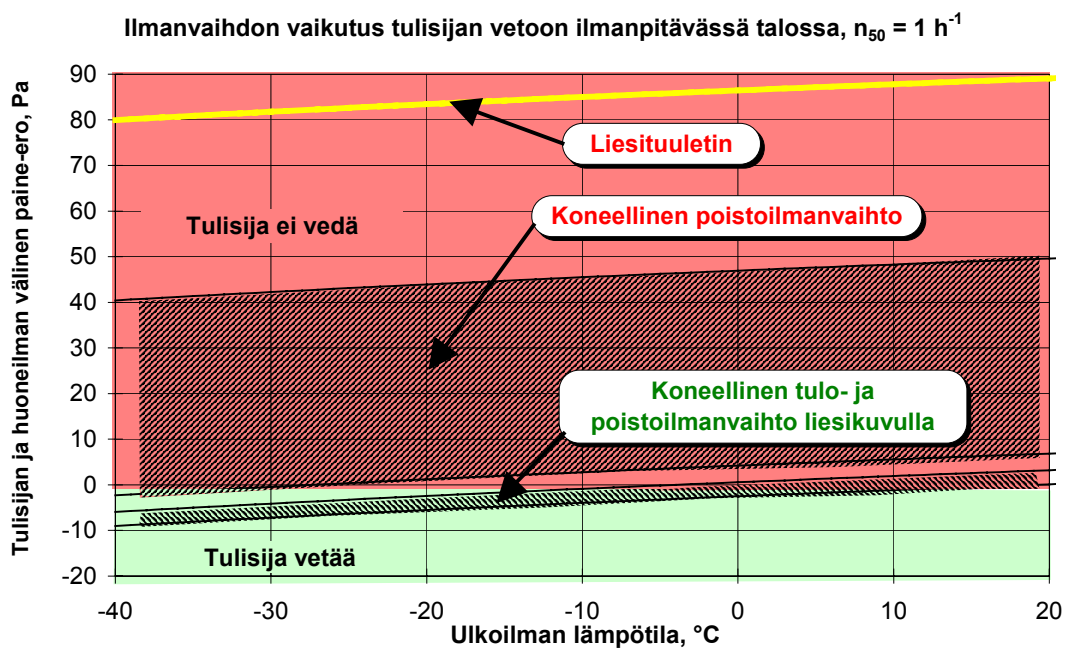
Kuva 4. Massiivinen varaava tulisija luovuttaa matalaenergiataloon lämpöä tasaisesti usean päivän ajan yhdellä poltolla. Tulisijan lämmönluovutusta kuvaava keskiarvoaika tulisi olla vähintään 12 tuntia. Kevyt tulisija antaa matalaenergiataloon liian suuren hetkellisen lämpötehon, joka nostaa sisälämpötilan tarpeettoman korkeaksi ja lämpö on tuuletettava ulos (Tuomaala et al 2001, LVI 10-40045 2000).

Talon sisälle suuren alipaineen aiheuttavien ilmanvaihtojärjestelmien rakentaminen ja käyttö on merkittävä syy tulisijojen savupiipun huonoon vetoon (kuva 5). Veto-ongelmia esiintyy etenkin sytytysvaiheessa savupiipun ollessa kylmä. Suuri alipaine talossa heikentää toisaalta myös palamisilman saantia, vaikka tuli olisi saatu syttymään ja savupiippu vetämään. Suuri alipaine voi syntyä myös liesituulettimen tai keskuspölynimurin käytöstä.

**Tulisijan ja ilmanvaihdon moitteettoman yhteistoiminnan varmistamiseksi palamisilma tulisi johtaa tulisijaan ulkoa pienipainehäviöisellä ja lämpöeristetyllä ilmanavalla suuluukkuun ja siitä tulipesään.** Tarvittavat ilmavirran säätölaitteet voivat olla esimerkiksi suuluukussa. Lisäksi tarvitaan toimiva ja tiivis sulkuventtiili.

Tällöin tulisijan vedossa ei ole ongelmia oli ilmanvaihtoratkaisu tai talon ilmanpitävyys mikä tahansa.

Jos talossa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, jonka tuloilman ja poistoilman ilmavirtasuhde on 90 %, ei tulisijan vedon kanssa tule ongelmia, vaikka paloilma otettaisiinkin talon sisältä. Ilmanpitävässä talossa tulisijan veto voidaan varmistaa ja sitä voidaan tehostaa ylipaineistamalla talo tilapäisesti ilmanvaihtojärjestelmällä.



*Kuva 5. Ilmanvaihdon vaikutus tulisijan vetoon sytytysvaiheessa ilmanpitävässä pien-talossa. Kun savupiipun ilmanpaine on alempi kuin huoneilman paine (paine-ero on kuvassa -merkkinen), tulisija lähtee vetämään jo silloin, kun savupelti avataan. Jos taas savupiipun ilmanpaine on korkeampi kuin huoneilman paine (paine-ero on kuvassa +merkkinen), tulisijan kautta saattaa alkaa virrata ilmaa sisäänpäin, kun savupelti avataan. Jos tulisijaan sytytetään tuli tässä tilanteessa, savukaasut virtaavat sisälle taloon. (Tuomaala et al 2001)*

## 5. Ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihto on toteutettu hallitulla koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä, jossa on poistoilman lämmöntalteenottolaite. Lämmöntalteenotossa talosta ulospuhallettavan ilman lämmöllä lämmitetään ulkoa sisäänotettavaa kylmää ulkoilmaa ilmaiseksi. Näin ilmaa voidaan vaihtaa energiataloudellisesti. Ilmanvaihtojärjestelmä suunnitellaan ja toteutetaan niin, että sen sähkönkulutus on mahdollisimman alhainen.

Hallitussa ilmanvaihdossa olohuoneeseen ja makuuhuoneisiin puhalletaan ilmanvaihtokoneessa esilämmitettyä ja suodatettua ulkoilmaa vedottomasti ja meluttomasti. Vastavasti ilmaa poistetaan keittiöstä, pesutiloista, WC:stä ja vaatehuoneesta. Ilmanvaihto on asukkaan säädettävissä. Eri tilanteissa (ruoanlaitto, pyykinpesu, saunominen, vieraat, poissaolo) voidaan käyttää normaalia suurempaa tai pienempää ilmanvaihtoa tarpeen mukaan.

Tehokkailla ilmansuodattimilla ulkoa otettavasta ilmasta poistetaan epäpuhtaudet (mm. siitepölyt), jotta sisäilmaa on helppo hengittää. Suodatuksen ansiosta myös ilmanvaihtolaitteisto pysyy puhtaana ja turvallisena. Oikealla mitoituksella ja tehokkaalla äänenvaimennuksella ilmanvaihtojärjestelmästä saadaan käytännössä äänetön.

### Matalaenergiäharkkotalon ilmanvaihtojärjestelmän tekninen kuvaus:

- ☺ ilmanvaihtojärjestelmä = **koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä lämmöntalteenotolla (LTO)**
- ☺ valitaan hallittu ilmanvaihto ja toteutetaan se laadukkaasti
  - ☺ käytetään pestyjä ilmakehän osia tai pestään ne ennen asennusta ja pidetään ne puhtaana rakentamisen aikana
  - ☺ suunnitellaan puhtaana pysyvä ja helposti puhdistettava ilmakehän avisto
  - ☺ varmistetaan ilmakehän oikea lämmön- ja kosteudeneristäminen (kosteusvaurioiden ja homeiden kasvun estämiseksi)
  - ☺ huolehditaan maaperän radonin hallinnasta
- ☺ toteutetaan meluton sisäilmasto
  - ☺ äänitaso asuintiloissa korkeintaan 22 dB(A) (0.7 dm<sup>3</sup>/s/m<sup>2</sup> tuloilmavirralla) ja 25 dB(A) (ilmanvaihtokoneen suurimmalla säätöasennolla)
  - ☺ äänitaso keittiössä, kodinhoito- ja pesutiloissa korkeintaan 25 dB(A) (ilmanvaihtokoneen suurimmalla säätöasennolla)
  - ☺ ilmanvaihtokoneen valinnassa, äänenvaimennuksessa ja sijoittamisessa pitää ottaa huomioon ilmanvaihtokoneen tuottama melu ympäröiviin tiloihin ja ilmakehän kautta ulos
  - ☺ LVI-suunnittelija suunnittelee ilmanvaihtokoneen äänenvaimennuksen ilmanvaihtokonekohtaisesti, mutta vähimmäistarve lienee tuloilmakanavissa kaksi suurta vaimenninta peräkkäin (esim. 160 mm:n kanavassa 1200 mm:n vaimennin ja 900 mm:n vaimennin peräkkäin) ja poistoil-



makeavissa yksi suuri vaimennin (esim. 160 mm:n kanavassa 1200 mm:n vaimennin)

- ☺ vaihtoehtoisesti voidaan käyttää ilmanvaihtokoneeseen liitettävää äänenvaimennusyksikköä, jonka äänenvaimennus ominaisuudet on mitattu luotettavasti ja tiedetään
- ☺ ilmanvaihto on säädettävissä tarpeen mukaan
  - ☺ muuttuva ulkoilmavirta: minimi  $0.33 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$  ... maksimi vähintään  $1.0 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$  (kesällä vähintään  $1.5 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ )
- ☺ tehokas ilmansuodatus
- ☺ ilmavirtojen mitoitus: Sisäilmastoluokitus 2000:n ja rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan
  - ☺ mitoituksessa otetaan huomioon myös lämmitys- ja jäähdytystarpeet

## 5.1 Ilmanvaihtokone

- ☺ valitaan ilmanvaihtokone, jossa on pienet sisäiset painehäviöt
  - ☺ suuret painehäviöt näkyvät korkeana puhallinsähkötehona ja pienenä LTO:n hyötysuhteena ja kuuluvat meluna
  - ☺ ei käytetä erillistä liesituuletinta vaan ilmanvaihtokoneeseen kytkettyä liesikupua
- ☺ lämmöntalteenoton ohitusautomaattikka
- ☺ koko asunnon ulko- ja jäteilmavirta pitää pystyä mittaamaan ilmanvaihtokoneesta
- ☺ suunnitellaan tarvittava äänenvaimennus
- ☺ ilmanvaihtokoneessa olevat lämmityspatteri(t) toimivat sähköllä
  - ☺ lämmityspatterit mitoitetaan niin, että tuloilman lämpötila on aina vähintään  $10 \text{ }^\circ\text{C}$
  - ☺ lämmityspatterin ohjaus voidaan toteuttaa myös keskitetyllä lämmönsäätölaitteella
- ☺ ilmanvaihtokone käy aina (ei virtakytkintä liesikupuun)
- ☺ koneessa pitää olla riittävän kookkaat ja tehokkaat ilmansuodattimet (tuloilman suodatusluokka vähintään F 7/EU 7), jotka on kiinnitetty tiiviisti koneeseen ohivuotojen eliminoimiseksi
- ☺ lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilahyötysuhteen tulisi olla normaalikäytössä vähintään 60 %, kun tuloilmavirta on  $0.5 - 0.6 \text{ dm}^3/\text{s}$  lattia- $\text{m}^2$  kohti ja tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan on 90 % (tuloilman lämpötilahyötysuhde pitää olla tällöin noin 70 - 80 %)
- ☺ puhaltimien yhteenlaskettu ominaissähköteho tulee olla hyvä eli A-luokkaa (alle  $1.6 \text{ W}/(\text{dm}^3/\text{s})$ ) tai tyydyttävä eli B-luokkaa (alle  $2 \text{ W}/(\text{dm}^3/\text{s})$ )
- ☺ ilmanvaihtokoneessa olevan tuloilman esilämmityspatterin lämpötilan asetusarvo on korkeintaan  $15 \text{ }^\circ\text{C}$

## 5.2 Ilmakanavisto päätelaitteineen

- ☺ ilman virtausnopeudet kanavistossa ovat alle 2 m/s (poikkeus: lyhyissä ilmanvaihtokoneelta lähteivissä kanavissa virtausnopeus pitää olla alle 3 m/s)
- ☺ minimikanavakoko on 125 mm (ellei hyvin perusteltua syytä käyttää pienempää kanavakokoa, tilanpuute ei riitä perusteeksi)
- ☺ mahdollisimman lyhyet ja helposti puhdistettavat ilmakanavat
- ☺ **ilmakanavia ei saa asentaa ullakotilaan höyrynsulun ulkopuolelle vaan kote-loihin ja alaslaskettujen kattojen sisälle tai muihin vastaaviin tiloihin**
- ☺ ilmakanaviston, ilmanvaihtokoneen ja päätelaitteiden on oltava asennettuina tiiviit
  - ☺ tavoitteena on tiiviysluokka C (Suomen RakMK, osa D2 2002)
  - ☺ kokonaisvuotoilmavirta saa olla korkeintaan 5 % suurimmalla ilmavirralla ja sitä vastaavalla paineella
- ☺ päätelaitteiden paine-ero mitoitusilmavirroilla
  - ☺ tuloilmalaite 30 - 50 Pa
  - ☺ poistoilmalaite 60 - 80 Pa
- ☺ mitoitetaan suunnitteluvaiheessa päätelaitteiden esisäätoarvot ja painehäviöt ja merkitään ne kuviin
  - ☺ päätelaitteiden suurinta ilmavirtaa (äänitasovaatimus) ei saa ylittää tehostustilanteessa
  - ☺ mutkat ja T-haarat välittömästi ennen päätelaitetta voivat lisätä äänitasa merkittävästi
- ☺ suunnitellaan päätelaitteiden muut ominaisuudet (säädettyvyys, sijainti, heittopituus ja -kuvio, otetaan huomioon mahdolliset virtausesteet ym.)
  - ☺ sijainti sovitaan yhteistyössä eri suunnittelijoiden ym. kanssa
  - ☺ tuloilma voidaan puhaltaa vapaasti seinän yläosasta tai katosta, esimerkiksi sisäseinältä ikkunaa kohti ilman vedon tai lämpötilojen kerrostumisen pelkoa
- ☺ valitaan sellaiset päätelaitteet ja sijoitetaan ne niin, etteivät seinä- ja kattopinnat likaannu
- ☺ valitaan sellaiset poistoilmapäätelaitteet, jotka eivät likaannu tai mahdollinen likaantumisen ei saa pienentää ilmavirtaa
- ☺ **ei käytetä erillistä liesituuletinta vaan liesikupua, joka kytketään riittävän suurella (160 mm) kanavalla ilmanvaihtokoneeseen**
  - ☺ liesikuvussa on oltava tehokas rasvasuodatus, joka estää kanaviston ja koneen likaantumisen
  - ☺ liesikuvun kärynsieppauskyvyn pitää olla riittävän hyvä (suurimmalla ilmavirralla vähintään 80 %)
  - ☺ keittiön liesikuvun poistoilmavirta normaalisti 10 dm<sup>3</sup>/s, tehostettuna vähintään 40 dm<sup>3</sup>/s
  - ☺ liesikuvun tulee täyttää äänivaatimukset maksimipaine-erollakin
- ☺ oviraot ja muut siirtoilmareitit asunnon sisällä on suunniteltava ja toteutettava suunnitelmien mukaan (varmistettava reitit viimeistään ilmavirtoja mitattaessa)

- ☺ vähintään 150 cm<sup>2</sup> siirtoilma-aukko 10 dm<sup>3</sup>/s ilmavirtaa kohti
- ☺ otetaan huomioon myös vaativan asiakkaan mahdolliset äänitekniset vaatimukset
- ☺ ulkoilmakanava ja jäteilmakanava
  - ☺ sopivan väljä kanavistomitoitus
  - ☺ sekä ulko- että jäteilmakanava on lämpöeristettävä kokonaisuudessaan (vähintään 50 mm eristevillaa vastaava erityis, mieluiten 100 mm) ja kondenssieristettävä sisätiloissa
  - ☺ väljät päätelaitteet, tunnetut virtaus- ja äänitekniset ominaisuudet
  - ☺ ulkoilmasäleikössä ei saa olla tiheää verkkoa, virtausnopeuden pitää olla alhainen, ettei kanavaan joudu vettä, lunta tai esim. roskaa
  - ☺ mahdollisen sisäänpäässeän veden pitää valua hallitusti esim. ulos
  - ☺ varmistetaan, ettei lumi kinostuneenakaan tuki ulkoilma-aukkoa
  - ☺ jäteilman ulospuhalluksessa pyritään käyttämään mahdollisuuksien mukaan seinäpuhallusta
- ☺ saunassa hallittu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto
  - ☺ tuloilma puhalletaan katosta (tai seinästä vähintään 500 mm:n etäisyydeltä kiukaasta) kiukaan päältä, tuloilmavirta ja puhalluksen suuntaus tulee olla saunojan säädettävissä
  - ☺ poistoilma otetaan lauteiden alta, noin 60 cm lattiasta tai vaihtoehtoisesti oven alta pesuhuoneen poistoilmalaitteen kautta

### 5.3 Ilmanvaihdon säätö- ja ohjausjärjestelmä

- ☺ ilmanvaihdon ohjaus toteutetaan erillisestä paneelista tai liesikuvusta, jossa ei saa olla ilmanvaihtokoneen päävirtakytkintä
- ☺ ilmanvaihdon tehoporrastus suunnitellaan kohdekohtaisesti ilmanvaihdon tarpeen mukaan (esim. muuttamalla puhaltimien syöttöjännitteitä)
- ☺ lämmöntalteenoton jäätyminen esto ja/tai luotettava jään sulatusmenetelmä
  - ☺ **matalaenergiatalossa ja ilmavaihtolämmityksessä tuloilmapuhaltimien pysäyttämistä ei tule käyttää jäätymissuojauksena**
  - ☺ jäätyminenesto voidaan hoitaa esimerkiksi esilämmittämällä koneelle tulevaa ulkoilmaa kylmimpänä vuodenaikana, kun ulkolämpötila on alle - 10 ... - 15 °C
    - ☺ jäätyminenestön ohjaus esimerkiksi LTO:n jälkeisen tuloilman lämpötilan mukaan
  - ☺ jäätyminenesto voidaan hoitaa vaihtoehtoisesti myös pysäyttämällä koko ilmanvaihto sulatusjakson ajaksi yöllä, esim. klo 2 - 3
  - ☺ jäätyminenesto voidaan hoitaa vaihtoehtoisesti myös LTO:n ohituksella

## 1.4 Käyttö ja huolto

- ☺ tehdään talosta huoltokirja osana suunnittelua ja toteutusta
- ☺ käyttöohjeet asukkaille
- ☺ käyttö- ja huolto-ohjeet huoltohenkilöstölle
- ☺ liesikuvun rasvasuodattimen pesu tarvittaessa kuukausittain
- ☺ ilmansuodattimien vaihto vähintään kerran vuodessa
- ☺ laitteiston tarkistus ja puhdistus
  - ☺ ilmanvaihtokone
  - ☺ päätelaitteet
  - ☺ ulkosäleiköt
  - ☺ ilmakeinot
- ☺ ilmanvaihtokoneen kondenssivedenpoistoputken tarkistus

## 6. Vesi- ja viemärijärjestelmä

Tavanomaisissa kiinteistöissä vesikustannukset ovat jopa yli puolet siitä, mitä energiakustannukset ovat. Matalanenergiarahkotalossa energiakustannusten pienentyessä vesikustannus on vieläkin merkittävämpi. Tarpeettoman vedenkulutuksen vähentämisellä saadaan aikaan merkittäviä käyttökustannussäästöjä. Samalla pienennetään puhdistettavien jätevesien määrää ja sitä kautta ympäristökuormitusta. Keinoja vedenkulutuksen hallintaan ja vesi- ja viemärijärjestelmän energiankulutuksen pienentämiseen ovat:

- ☺ vakiopainesäätö vesiverkossa
- ☺ vettäsäästävät vesikalusteet, myös WC-istuimen huuhtelu
- ☺ usean huoneiston yhtiömuotoisissa kiinteistöissä huoneistokohtaisella vedenmittauksella ja -laskutuksella on saatu aikaan merkittäviä säästöjä
- ☺ suunnitellaan helposti korjattava vesi- ja viemärijärjestelmä
  - ☺ käytetään esim. pinta-asennettuja kupariputkia tai muoviputkia, jotka asennetaan suojaputkiin jakotukilta kalusteelle saakka
  - ☺ vuotovahingot vähenevät
  - ☺ putket ovat vaihdettavissa
- ☺ suunnitellaan pienipainehäviöinen vesiputkisto, painetta kalusteelle
  - ☺ veden paineen vaihtelu pienenee
- ☺ suunnitellaan meluton vesi- ja viemärijärjestelmä
- ☺ suunnitellaan talon pohjaratkaisu ja reititystilat niin, että putkivedoista tulee mahdollisimman lyhyet
  - ☺ viemärit toimivat hyvin, eivät tukkeudu, vaikka vedenkulutus on pientä, viemärit on helppo puhdistaa tarvittaessa

- ☺ lämpimän käyttöveden kiertojohtoa/saattolämmitystä ei tarvita
  - ☺ lämpimän käyttöveden kiertojohtoa ei tulisikaan käyttää käyttövesivaraajaan liitettynä sähkölämmitystalossa (kierto sekoittaa varaajan lämpötilakerrostuman)
  - ☺ tarvittaessa voidaan käyttää saattolämmitystä
  - ☺ mahdollisten kiertovesipumppujen sähkötehot minimoidaan putkiston oikealla mitoituksella
- ☺ lämminvesiputket lämpöeristetään
- ☺ kylmävesiputket lämpö- ja kondenssieristetään
- ☺ käytetään vesivuodot havaitsevia turvajärjestelmiä
- ☺ ympäristön ja rahan säästämiseksi voidaan rakentaa pihojen kastelua varten kaivo tai sadevesien varastointijärjestelmä hyödyntäen normaalia pinta- ja sadevesien viemärintijärjestelmää

## 7. Sähköjärjestelmä

- ☺ ryhmäkeskuksesta pitää tulla mahdollisimman pieni ja yksinkertainen
  - ☺ ei turhia päällekkäisiä toimintoja
- ☺ suunnitella kytkinten, pistorasioiden, termostaattien yms. sijoittelu seinille (ei täytetä seiniä sähkölaitteilla)
- ☺ valitaan mahdollisuuksien mukaan yösähkökiuas
  - ☺ normaalin kiukaan tehon terve pitää varmistaa
- ☺ piiloon asennettavat johdot asennetaan suojaputkiin, putkitus yläpohjan höyrynsulun sisäpuolelle (ei rikota höyrynsulkua eikä pilata ilmanpitävyyttä)
- ☺ ulkoseinissä voidaan käyttää lista-asennusta (esim. puulistoja voidaan käyttää)
  - ☺ muunneltavuus
- ☺ uppovalaisimien asennus suunnitellaan etukäteen, etäisyydet palaviin rakenteisiin ja höyrynsulkuihin selvitetään ja mahdolliset koteloinnit huomioidaan arkkitehti ja rakennesuunnittelussa.
- ☺ suositellaan pienoistoistelamppuja ja loisteputkia, joilla on noin 5 - 6- kertainen valoteho sähkötehoa kohti
  - ☺ halogeenilamppuja käytetään harkiten, koska niiden valotehokkuus samaa luokkaa kuin hehkulamput ja ne tuottavat paljon lämpöä -> palovaara ja materiaalien kestävyysongelma
  - ☺ terassien ja katosten säteilylämmittimiä ei suositella, mutta jos niitä pakottavista syistä käytetään, tulee ne varustaa ajastimella esim. 0 - 30 minuuttia

## Lähdeluettelo

Broas, P., Heikkinen, J., Kovanen, K., Luoma, M., Saari, M. & Siitonen, V. Jäteilman seinäpuhallus asuinkerrostaloissa. Espoo: VTT Rakennustekniikka, Sisäilmasto- ja laitetekniikka, 1994. 106 s. (VTT Tiedotteita 1595). ISBN 951-38-4710-1

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta. 2001. Bryssel, 11.5.2001. KOM(2001) 225 lopullinen. 2001/0098 (COD).

Feist, W. 1998. Das Niedrigenergiehaus. 5. Auflage. Hamburg: Die Deutsche Bibliothek. 217 s. ISBN 3-7880-7638-0

Hyvä ja taloudellinen talo. 2000. Rakennutan energiaa säästävän pientalon. Motiva Oy, Helsinki. 23 s.

Häkkinen, T., Tattari, K., Klobut, K., Nyman, M., Saari, M & Laine, J. 1999. Taloteknisten laitteiden ja järjestelmien ympäristövaikutukset, arviointiperusteet ja ympäristöselosteet. Helsinki: Suomen talotekniikan kehityskeskus. 105 s. + liitt. 6 s. (TAKE SERIE KLU F REPORT 11; Klusterirakenteiden vahvistaminen, elinkaaritoiminta)

Kaitamaa, A., Laine, J. & Saari, M. 1993. EBES-asuinkerrostalo. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1993. 62 s. + liitt. 17 s. (VTT Tiedotteita 1515). ISBN 951-38-4449-8

Kouhia, I. & Nieminen, J. IEA5-aurinkotalo. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1997. 26 s. + liitt. 5 s. (VTT Tiedotteita 1828). ISBN 951-38-5104-4

Kouhia, I., Heimonen, I., Ojanen, T. & Nieminen, J. 1997. Massiivinen matalaenergiatalo. Koerakentamisvaiheen loppuraportti. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. VTT Rakennustekniikan moniste. 24 s. + liitt. 2 s.

Kovanen K. (toim.) Sisäilmaston suunnitteluperusteet. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, LVI-tekniikan laboratorio, 1993. 135 s. (LVIS-2000 tutkimusohjelma, Raportti 24). ISBN 952-9601-13-1

Laine, J. & Saari, M. 1993. MEPI-Kanerva pienenergiakoti. Teoksessa: RAKET Rakennusten energiankäytön tutkimusohjelma. Vuoden 1993 keskeiset tulokset. Espoo: VTT Rakennustekniikka. S. 64 - 73. (RAKET JULKAISUJA 1). ISBN 952-5004-00-7

Laine, J. & Saari, M. 1996. Sisäilmastomittaukset matalaenergiapienaloissa. Teoksessa: Ruotsalainen, R. & Säteri, J. (toim.) Sisäilmastoseminaari 20.3.1996. Espoo: Teknilli-

nen korkeakoulu, LVI-tekniikan laboratorio. S. 31 - 36. (SIY raportti 6). ISBN 951-97186-4-8

Laine, J. & Saari, M. 1997. Ilmanvaihtolämmitys - luonnollinen valinta matalaenergiataloon. Teoksessa: Ruotsalainen, R. & Säteri, J. (toim.) Sisäilmastoseminaari 19.3.1997. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, LVI-tekniikan laboratorio. S. 251 - 256. (SIY raportti 8). ISBN 951-97186-7-2

Laine, J. & Saari, M. 1998. ESPI-matalaenergiapientalot. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 76 s. + liitt. 44 s. (VTT Tiedotteita 1924). ISBN 951-38-5332-2 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Laine, J. & Saari, M. 2001a. Matalaenergiatalotekniikan haasteita. Talotekniikka. Talotekniikka-Julkaisut Oy, vol. (2001) 7, s. 85 - 90. (lehtiartikkeli) ISSN 12365173

Laine, J. & Saari, M. 2001b. Pientalon kivirakenteet toimivat edullisena lämpövarastona. Betoni, kivirakenteiset pientalot. Suomen Betonitieto Oy, vol. 71 (2001) 3, s. 22 - 25. (lehtiartikkeli) ISSN 1235-2136

LVI 05-10318. 2001. Sisäilmastoluokitus 2000. Helsinki, Sisäilmayhdistys ry. Rakennustieto Oy. 19 s. (LVI-ohjekortti, RT-kortti 07-10741)

LVI 10-40045. 2000. Tulisijalämmitys. Helsinki, Rakennustieto Oy. 19 s. (Tiedonjyväkortti)

Nieminen, J., Kouhia, I., Haakana, M. & Pulakka, S. 1994. Matalaenergiapientalon energiankulutus ja säästötoimenpiteiden kannattavuus. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 19 s. + liitt. 9 s. (VTT Tiedotteita 1589). ISBN 951-38-4704-7

Pietarinen, P. & Saari, M. 1999. Ilmanvaihtolämmityksen hajautettu automaatio matalaenergiatalossa. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 43 s. (VTT Tiedotteita 1950). ISBN 951-38-5415-9 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Pulakka, S. et al. 2000. Kustannustehokkaat matalaenergiarakennukset. LVI-kortisto: LVI 02-400046. Rakennustietosäätiö ja LVI-keskusliitto. 2 s. (tiedonjyväkortti)

Romo, I. 1996. Energiaa säästävät koetalot, ratkaisut ja tulokset. Helsinki: Rakennustieto Oy. 46 s. ISBN 951-682-394-7

Saari, M. 1991. Asuinhuoneistossa tarvittavien ilmavirtojen määrittäminen kuormituksen perusteella. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 98 s. + liitt. 24 s. (VTT Tiedotteita 1310). ISBN 951-38-4043-3

Saari, M. 1999. Matalaenergiarakennukset käytäntöön. Rakennustekniikka-lehti 3/1999. S. 24 - 28. (Lehtiartikkeli) ISSN 0033-913X

Shemiecka, J., Kosonen, R., Hoving, P., Laitila, P., Pihala, H. & Laine, T. 1996. Rakennuksen sähköenergiankulutuksen tavoitearvot. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 123 s. + liitt. 9 s. (VTT Tiedotteita 1756). ISBN 951-38-4911-2

Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa C3 määräykset ja C4 ohjeet. 2002. Ympäristöministeriön asetus rakennusten lämmöneristyksestä. Helsinki: ympäristöministeriö. 7 s. (voimassa 1.10.2003 alkaen)

Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa C3. 1985. Lämmöneristys. Määräykset. Helsinki: ympäristöministeriö. 3 s. (voimassa 30.9.2003 saakka)

Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa D2. 1987. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet. Helsinki: ympäristöministeriö. 21 s. (voimassa 30.9.2003 saakka)

Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa D2. 2002. Ympäristöministeriön asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Määräykset ja ohjeet. Helsinki: ympäristöministeriö. 36 s. (voimassa 1.10.2003 alkaen)

Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa D5. 1985. Rakennusten lämmityksen tehon ja energiantarpeen laskenta. Ohjeet. Helsinki: ympäristöministeriö. 14 s.

Tuomaala, P. & Klobut, K. 2001. COMBI - tutkimuksen tulisijojen mittaustuloksia. Tulisijan, lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän yhteiskäyttö. Espoo: VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka.