

TKK, Talonrakennustekniikan laboratorio
Rak-43.J Rakennusten elinkaaritekniikka - kurssi
Kurssin toinen jakso 30.9. - 1.10.2003
TKK:n Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto, Otaniemi

DI Juhani Laine

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

RAKENNUSTEN ENERGIATALOUDEN OPTIMOINTI

SISÄLLYSLUETTELO

Koettua kustannustehokasta energiatehokkuutta	1
Energiatehokkailla rakenne- ja taloteknisillä keinoilla hyvään sisäilmastoon.....	2
Optimoitu energiatehokkuus on elinkaarilaatua	3
Lämmitystä vain kolme kuukautta.....	3
Lisää lämpimiä neliöitä.....	4
Lämmönlähteellä ei ole merkitystä.....	4
Ikkuna parantaa sisäilmastoa energiatehokkaasti.....	5
Energiatehokkuus ei juurikaan vaikuta rakennuskustannuksiin	5
Tulevaisuuden kehityssuunta	6
Kirjallisuutta.....	7

LIITTEET

Liite 1. Matalaenergiateknologian keinot ja hyödyt

Liite 2. Inducon-rakennuskonsepti

RAKENNUSTEN ENERGIATALOUDEN OPTIMOINTI

Ilmaiset lämpökuormat riittävät lämmittämään talon jopa yhdeksän kuukautta vuodessa, kun talon lämpöhäviöt on pienennetty alle puoleen nykytasosta matalaenergiateknologialla. Rakennus- ja talotekniikan yhteensovitus rakennusten energiatalouden optimoinnissa johtaa yksinkertaiseen, toimivaan ja elinkaariedulliseen lopputulokseen. Samalla syntyy laadukas sisäilmasto sekä kesähelteillä että talvipakkasilla.

Koettua kustannustehokasta energiatehokkuutta

Uusi matalaenergiateknologia on pienentänyt 1990-luvulla rakennettujen koetalojen energiankulutusta taloudellisesti jopa kolmannekseen ja tuottanut samalla laadukkaan sisäilmaston. VTT on ollut yritysten kanssa koerakentamassa useita matalaenergiataloja ja seurannut niiden suunnittelua, rakentamista, käyttöä, LVIS-järjestelmien toimivuutta, sisäilmaston laatua ja energiankulutusta. Koerakentamalla on osoitettu sovellettujen tekniikoiden toimivuus ja merkitys energiankäytön taloudellisessa tehostamisessa ja hyvän sisäilmaston toteuttamisessa.

1990-luvulla rakennettujen matalaenergiatalojen lämmittämiseen kului energiaa 40 - 60 kWh/m², kun taas 1980-luvulla rakennetuissa koetaloissa kulutus oli keskimäärin 120 kWh/m². Voimassa olevien (30.9.2003 asti) rakennusten energiamääräysten mukaan rakennettujen talojen lämmittämiseen kuluu noin 160 kWh/m².

Matalaenergiatalo tarvitsee vain vähän lämmitystehoa. Tehontarve on kovimmillakin pakkasilla vain 15 - 25 W/m². Talvikuukausina tarvitaan keskimäärin vain noin 5 W/m² lämmitysteho. Sen tuottamiseen ei kovin monimutkaista lämmitysjärjestelmää ole järkevää rakentaa. Matalaenergiatalon ilmanvaihtojärjestelmässä on tehokas poistoilman lämmöntalteenotto, jonka hyötysuhde on 50 - 70 %. Ilmanvaihtojärjestelmä riittää jakamaan tarvittavan lämmön huoneisiin.

Ilmaisten lämpökuormien (kotitalouskoneet, valaistus, auringonsäteily) hyödyntäminen edellyttää rakenteiden ja talotekniikan yhteistoiminnan nykyistä parempaa hallintaa. Rakenteiden massan hyväksikäyttö mahdollistaa siirtymisen nykyistä yksinkertaisempiin ja kustannustehokkaampiin lämmitysjärjestelmiin. Talossa pitää olla hyvä lämmöneristys. Vaipparakenteiden lämmönläpäisykertoimet ovat 0.10 - 0.15 W/m²K. Lämmöneristeen sisäpuolella tarvitaan riittävästi lämpöä ja viileyttä varaavia rakenteita.

Rakenteiden massan hyödyntämismahdollisuudet lämpövarastona ja hyvän sisäilmaston hallinnassa ovat matalaenergiatalossa paremmat kuin tavanomaisessa talossa. Matalaenergiatalo lämpiää 70 - 80 %sti ilmaisilla lämpökuormilla. Rakenteiden massiivisuudella on ratkaiseva merkitys lämpökuormien hyödyntämisen tehokkuuteen. Raskaiden rakenteiden avulla voidaan sisäilmaa viilentää kesällä jopa neljällä asteella ilman koneellista jäähdytystä.

Energiatehokkailla rakenne- ja taloteknisillä keinoilla hyvään sisäilmastoon

Vastoin yleistä käsitystä erittäin pieni energiankulutus luo edellytykset hyvälle sisäilmastolle ja elinkaarikustannusten alentamiselle. Taloudellisessa matalaenergiatalossa pienellä lämmönkulutuksella tuotetaan aina hyvä sisäilmasto. Hyvin lämpöä ja tuulta pitävän rakennusvaipan ja myös ikkunoiden sisäpinnat ovat lämpimiä eikä vetoa esiinny. Nykyisin käytettävissä rakenteissa esiintyy epäviihtyisyyttä ja kosteusongelmia aiheuttavia kylmäsiltoja ja ilmavuotoja. Matalaenergiatalossa ne eliminoidaan asiantuntevalla detaljisuunnittelulla ja huolellisella rakentamisella.

Energiatehokkuuden optimaalisessa toteutuksessa minimoidaan rakennusten lämmityksen ja jäädytyksen tehontarpeet ilmanvaihdon lämmön- ja kylmäntalteenotolla sekä rakenteellisin keinoin: vaipan lämmöneristyksellä ja ilmanpitävyydellä, energiatehokkailla ikkunoilla ja niiden aurinkosuojauksella sekä sisäisten lämpökuormien torjunnalla ja hyödyntämisellä. Talotekniikkajärjestelmien lämpöhäviöt minimoidaan lämmöntuotolaitteiden, lämminvesivaraajien, pumppujen putkistojen ja ilmakeinavistojen nykyistä tehokkaammilla lämmön- ja kosteudeneristyksillä. Talotekniikan (esim. puhaltimien ja pumppujen) sähköenergiankulutus minimoidaan taloteknisten järjestelmien edullisella reitityksellä, tarpeenmukaisella säädöllä, väljällä ilmastointikoneiden, ilmakeinavistojen ja putkistojen mitoituksella. Käytetään pienenergiavalaistusta. Rakenne- ja talotekniikkajärjestelmiä tarkastellaan yhtenä järjestelmäkokonaisuutena.

Kun rakennusvaipan ilmanpitävyyttä kuvaava n_{50} -luku on alle 1.0 l/h, niin esimerkiksi rakennuspaikan tuulisuudella tai mikroilmastolla ei ole enää mitään vaikutusta sisäilmastoon eikä energiankulutukseen. Rakennusvaipan hyvä ilmanpitävyys tarjoaa myös tehokkaan suojan ulkoilman äkillisiä epäpuhtauksia vastaan, joita ovat esimerkiksi tulipaloissa syntyvät savukaasut tai muut myrkkypäästöt [VDI 3816 1993] [Siren 1993]. Hatara talo sen sijaan suojaa ihmisiä huonosti.

Suomen ilmastossa energiatehokkaassa rakennuksessa on oltava hallittu ilmanvaihtojärjestelmä, joka on varustettu poistoilman lämmöntalteenotolla. Talvella tuloilma on lämmintä. Kesällä tehostettu ilmanvaihto siirtää talon yllilämmön poistoilman mukana ulos ja tuo yöllä viileän raikasta ulkoilmaa sisälle jäädyttäen rakenteita. Kun rakenteet ovat aamulla riittävän viileitä, eivät sisälämpötilat nouse päivän aikana häiritsevän korkeiksi.

Ulkovaipan hyvä lämmöneristys estää hellettä tunkeutumasta päivällä sisälle rakenteiden läpi. Massiivisessa matalaenergiatoimistotalossa sisälämpötila pysyy miellyttävänä kesähelteilläkin ilman jäädytyskoneita. Hellepäivinä sisälämpötila jää jopa 4 °C alemmaksi kuin kevytrakenteisessa talossa. Seurantamittausten mukaan kesäaikainen yllilämpö ei ole ongelma matalaenergiataloissa, joissa on tehokas ilmanvaihtojärjestelmä ja sitä myös käytetään.

Matalaenergiatalossa sisäilmastoa ei tarvitse pilata myöskään käyttökustannusten sääntön nimissä. Sisälämpötilan nostaminen tai alentaminen ei juurikaan vaikuta rahan menoon. Sisälämpötila voidaan valita yksilöllisesti. Sen sijaan esimerkiksi nykytapaan rakennetussa normipientalossa voidaan palelemalla säästää jopa 300 - 400 € vuodessa.

Silti lämmitykseen kulutetaan moninkertainen rahamäärä verrattuna matalaenergiatalon lämmitykseen.

Vastaavasti normipientalossa voidaan ilmanvaihdosta tinkimällä ja pilaamalla sisäilmasto "säästää" jopa tuhat euroa vuodessa. Silti edelleen lämmitykseen kulutetaan moninkertainen rahamäärä matalaenergiatalon lämmitykseen verrattuna. Jos haluat pysyä terveenä ja kutsua vieraita raikkaaseen ja viihtyisään kotiin, rakenna matalaenergiatalo.

Optimoitu energiatehokkuus on elinkaarilaatua

Kun tarkastellaan rakennuksen eri energiankulutustasojen vaikutusta talotekniikan ratkaisuihin ja reitityksiin tavoitellun elinkaarilaadun saavuttamiseksi, voidaan rakennusten energiankulutustasot luokitella Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n ohjeiden "RIL 216-2001:Rakenteiden elinkaaritekniikka" mukaisten talotyyppejen mukaan:

Normitalo 2000

Normitalo 2003

Matalaenergiatalo

Minimienergiatalo

Kun tilojen lämmittämiseen tarvittavan lämmitysenergian kulutus saadaan alle puoleen normitalon 2000 tasosta, voidaan talotekniikkaa yksinkertaistaa. Talotekniikan laitekoot ja samalla niiden tilantarpeet pienenevät. Pienet lämpö- ja sähkötehot merkitsevät myös energiamaksujen puolittumisen lisäksi oleellisia pienennyksiä energialaitosten liittymis- ja tehomaksuihin.

Yksinkertaistettu ja tuotteistettu järjestelmätekniikka (rakenne- ja talotekniikka) sekä uudet, tutkitut laatuotteet, nykykäytäntöä täsmällisemmän ja laadukkaamman suunnittelun ja huolellisemman rakentamisen kanssa luovat edellytykset suuren energiansäästön aikaansaamiseen ja rakennusten elinkaarilaadun parantamiseen. Samalla rakennuskustannukset pysyvät hyvin kurissa ja elinkaarikustannukset alenevat, eikä lämpöenergian hinnalla ole enää juurikaan vaikutusta asumiskustannuksiin.

Energiataloudellisen rakenne- ja talotekniikan yhteensovituksen avulla lämmitys- ja jäähdytystarpeet saadaan matala- ja minimienergiataloissa niin pieniksi, että talot voidaan taloudellisesti lämmittää ja jäähdyttää ilmanvaihdolla, eikä ikkunoiden alla tarvita enää lämpöpattereita kuten normitalossa 2000 ja normitalossa 2003.

Lämmitystä vain kolme kuukautta

Lämmöntarpeen pienentyessä lämmityskausi lyhenee merkittävästi, kun auringonsäteily ja sisäiset lämmönlähteet kuten kotitalouskoneet ja valaistus riittävät lämmittämään a-

lon. Rakenteiden massaa hyödyntämällä matalaenergiatalossa lämmityskausi voi jäädä jopa vain kolmen kuukauden (joulu-, tammi- ja helmikuu) mittaiseksi. Suurimman osan vuotta jäähdytetään huoneita tavanomaista suuremmalla ilmanvaihdolla ja samalla saadaan kaupan päälle erinomainen sisäilmasto. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton ansiosta energiankulutus pysyy kuitenkin pienenä.

Matalaenergiateknologian avulla rakennuksen lämmitys- ja jäähdytystarpeet saadaan niin pieniksi, että rakennus voidaan taloudellisesti lämmittää ja jäähdyttää ilmanvaihtojärjestelmän tuloilmalla. Sisäpinnaltaan lämpimien ikkunoiden alla ei tarvita lämpöpattereita. Koska sisäilmassa, ikkunoissa ja rakenteissa ei juurikaan ole lämpötilaeroja, talon sisälämpötila on tasainen, miellyttävä ja vedoton.

Kesällä huoneita voidaan jäähdyttää ulkoilman sisältämällä jäähdytysenergialla. Yöllä viileää ulkoilmaa käytetään ilmanvaihdon tuloilmana. Päivällä voidaan poistoilman lämmöntalteenottolaitteella jopa jäähdyttää muutoin helteistä tuloilmaa.

Lisää lämpimiä neliöitä

Matalaenergiakoetaloissa käytetyn tekniikan laajamittainen käyttöönotto vaatii uuden ajattelutavan juurruttamista suunnitteluun ja rakentamiseen. Prototyypituotteiden tilalle täytyy kehittää uusia toimivuudeltaan tutkittuja sarjatuotantoon otettuja tuoteratkaisuja. Tekniikka on periaatteessa erittäin yksinkertaista, mutta älykkäästi tehokasta. Matalaenergiataloissa on nykyistä paljon paremmat ikkunat, parempi lämmöneristys ja vaipan ilmanpitävyys sekä ilmanvaihdon poistoilmasta tehokas lämmöntalteenotto. Talot ovat viihtyisiä, niissä ei ole kylmiä pintoja eikä vetoa. Uusilla ikkunaratkaisuilla ikkunan lämpöhäviöt ja auringon lämpökuormat on voitu pienentää jopa neljäsosaan verrattuna normaaliin kolmilasiseen ikkunaan. Tällöin huoneen oleskelualuekin voi sekä kesällä että talvella olla miellyttävän lämpötilan ansiosta paljon lähempänä ikkunaa.

Lämmönlähteellä ei ole merkitystä

Matalaenergiatalon lämmittämiseen kuluu niin vähän energiaa, ettei eri energiamuotojen pienillä hintaeroilla tai ympäristövaikutuseroilla ole käytännössä merkitystä.

Sähkölämmitteisissä taloissa on käytetty huonekohtaisesti säädettävän ilmanvaihtolämmityksen eli lämmittävien tuloilmalaitteiden lisäksi rakennelämmitystä (esimerkiksi lattiaa tai välipohjaa) tai uudentyypistä matalapintalämpötilaista varaavaa takkaa, jolloin edullista yöenergiaa saadaan varatuksi taloon luonnollisesti kuuluviin rakennusmassoihin jopa 80 % lämmitystarpeesta. Ei siis tarvita erillisiä massavaraajia eikä vesimassoja tilojen lämmittämiseen.

Öljy- ja kaukolämmitteisissä taloissa ei ilmanvaihtolämmityksen lisäksi välttämättä tarvita muuta lämmitysjärjestelmää. Mukavuuden lisäämiseksi käytetään varsinkin kosteissa tiloissa lattialämmitystä. Lattialämmitystä käytettäessä matalaenergiatalossa lattian

pintalämpötilaksi riittää mitoituspakkasella niinkin alhainen lämpötila kuin 24 °C. Tällaisen lämpötilan tuottamiseen kelpaa hyvin myös kaukolämmön paluuvesi.

Ikkuna parantaa sisäilmastoa energiatehokkaasti

METOP-matalaenergiatoimistotalon huoneiden lämmitys- ja jäähdytystarpeet on saatu pieniksi tehokkailla ikkunoilla. Kehitetty ikkuna pienensi merkittävästi lämmitys- ja jäähdytystarvetta. Ikkunan lämmönläpäisy oli vain noin neljäsosa tavanomaiseen kolmilasiseen ikkunaan verrattuna. Ikkunan laskemallinen U-arvo oli 0,5 W/m²K. Mitoitusulkolämpötilassa (-26 °C) ikkunoiden lämpöhäviöt olivat toimistohuoneessa vain noin 3 - 4 W/lattia-m² eli noin 10 - 20 % kokonaisjohtumislämpöhäviöistä. Ihmiset ja valaistus riittivät kompensoimaan huoneen johtumislämpöhäviöt. Vetoa ei esiintynyt, koska ikkunan sisälasin pintalämpötila oli riittävän korkea, noin 17 °C, vaikka ikkunan alla ei ollutkaan lämmityspatteria. Etenkin kuulaina syysaamuina näin hyvin lämpöä eristävän ikkunan ulkopinnan alaosassa saattoi erottaa tiivistynyttä kosteutta. Kosteus haihtui nopeasti aamulla eikä siitä ollut haittaa. Kastuvathan ikkunat sateellakin.

Ikkuna suojasi tehokkaasti myös liialliselta auringon säteilylämmöltä. Ikkuna läpäisi vain noin 12 % seinälle tulevasta auringon suorasta säteilystä. Auringonpaiste aiheutti huoneeseen hetkellisesti vain noin 20 W/lattia-m² lämpökuorman. Erikoisikkunan auringon säteilyn läpäisy on vain noin 30 % tavanomaisen kolmilasisen ikkunan läpäisystä. Näkyvän valon läpäisyyn tai ikkunan ulkonäköön auringon suojauksella ei ollut ratkaisevan suurta merkitystä. Kesällä ilman koneellista jäähdytystä etelänpuoleisen toimistohuoneen sisälämpötilat nousivat pitkällä hellejaksoillakin vain noin 25 °C:een, vaikka ulkolämpötila oli lähes 30 °C.

Energiatehokkuus ei juurikaan vaikuta rakennuskustannuksiin

Matalaenergiataloissa on yksinkertaisella ja taloudellisella tavalla hyödynnetty rakenteiden ja talotekniikan yhteistoimintaa. Energiatehokkuuden rakennuskustannus vastaa muutaman kuukauden vuokraa. Koerakennuskohteissa lisäkustannukset ovat olleet vain 25 ... 75 €/m². Vastapainoksi matalaenergiatalon lämmittäminen maksaa vain murtoosan nykytapaan rakennetun normitalon lämmittämisestä ja elinkaarikustannukset aletnevat. Energian hinnan moninkertaistuminen ei lisää matalaenergiatalossa kovin paljoa lämpölaskua, kun taas nykytapaan rakennetun normitalon lämpölasku nousee kohtuuttoman suureksi.

Hyvin suunniteltuna matalaenergiatalo voidaan rakentaa samalla hinnalla tai jopa halvemmalla kuin nykytapaan rakennettu normitalo. Energiatehokkuuden parantamisen tarvitsema hinta voidaan helposti tuhlata talon muihin arvovalintoihin ja niiden mukaisiin teknisiin ratkaisuihin moninkertaisesti. Matalaenergiatalossa laadukas sisäilmasto syntyy ilmaiseksi.

Tulevaisuuden kehityssuunta

Rakennukset käyttävät vuodessa kolmasosan Suomessa kulutetusta energiasta. Tästä kaksi kolmannesta on lämmitysenergiaa ja yksi kolmannes sähköenergiaa. Rakennuksissa on runsaasti energiankäytön tehostamismahdollisuuksia ja sisäilmaston parantamistarvetta. Matalaenergiarakentaminen on ympäristöä säästävää. Se parantaa sisäilmastoa ja vähentää energiantarvetta ja samalla hiilidioksidipäästöjä ja muita haitallisia päästöjä.

Suomi toteuttaa kansallisella ilmastostrategialla Kioton ilmastopimuksen kasvihuonekaasujen vähentämistavoitteet. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen pyritään myös uusilla ympäristöministeriön 1.10.2003 lähtien voimassa olevilla rakennusten energiamääräyksillä. Niillä vähennetään noin 30 % rakennusten energiankulutusta nykytasoon verrattuna. Lisäksi EU:n direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta edellyttää nykyistä pienempää energiankulutusta.

Harhakuvitelma, että Suomi olisi eturivin maa energiatehokkuudessa, voidaan unohtaa. Muun muassa Saksa on 1990-luvulla ohittanut Suomen rakennusten energiatehokkuuden kehittämisessä. Yksi tärkeimmistä energia-, rakenne- ja talotekniikkajärjestelmien kehitystä ohjaavista tekijöistä lähivuosina on kasvihuonekaasupäästöjen rajoittaminen. Uuden energiatehokkaan sisäilmastoteknologian kysyntä tulee kasvamaan voimakkaasti. Varhaiset investoinnit teknologian kehittämiseen vaikuttavat usein ratkaisevasti kehityksen suuntaan ja yritysten kilpailuasemaan.

Matalaenergiatalo ja minimienergiatalo. Uusien tekniikoiden toimivuus ja merkitys energiankäytön taloudellisessa tehostamisessa ja hyvän sisäilmaston toteuttamisessa on osoitettu koerakentamalla. Rakenne- ja talotekniikan yhteensovitus sekä talotekniikan tasavertainen asema energiatehokkaiden talojen toteutuksessa on johtanut yksinkertaiseen, toimivaan ja elinkaariedulliseen toteutukseen. Käytännössä uusien talojen energiankulutus tulisikin vähintään puolittaa normitasosta 2000 ja siirtyä uuteen rakentamiskäytäntöön kehittämällä alhaiselle energiankulutustasolle tarvittavat uudet rakenne- ja talotekniikkatuotteet, jotta koerakentamisessa jo nyt kokeilluilla ratkaisumalleilla saadut hyvät tulokset voitaisiin tuotteistaa.

Rakennusten elinkaarilaatu ja taloudellisuus toteutuvat energiatehokkaiden rakenne- ja talotekniikkajärjestelmien optimaalisella yksinkertaistamisella ja yhteensovituksella. Lisäksi tarvitaan tilasuunnittelun (sisältäen talotekniikan reititystilat) ja massoitelun sopeuttamista rakennuksen uusiin taloudellisen energiatehokkuuden vaatimuksiin.

**Rakennusten energiatalouden optimi löytyy suurista energiatehokkuuden parannuksista. Suurilla energiatehokkuuden parannuksilla voidaan merkittävästi alen-
taa rakennusten elinkaarikustannuksia. Pienet energiatehokkuuden parannukset yleensä vain lisäävät elinkaarikustannuksia.**

Kirjallisuutta

RIL 216-2001 Rakenteiden elinkaaritekniikka. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y. 301 s. (ISBN 951-758-414-8).

Savolainen, I., Tuhkanen, S. & Lehtilä, A. (toim.). 2001. Teknologia ja kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittaminen : Taustatyö kansallista ilmasto-ohjelmaa varten. Helsinki, Kauppa- ja teollisuusministeriö, 2001. 198 s. (Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisuja; 1/2001) ISBN 951-739-585-X.

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

VDI 3816. 1993. Betreiben von Raumluftechnischen Anlagen bei belastenden Aussenluftsituationen. Grundlagen. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure. 6 s.

Siren, K. 1993. The Protection Ability of the Building Shell Against Sudden Outdoor Air Contamination. In: Mujumdar, A.S., Mashelkar, R.A., Advances in Transport Processes IX. Building Environment. The Netherlands 1993, Elsevier Science Publishers B.V., s. 255-269.

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

Laine, J. & Saari, M. 1994. METOP, CFC-aineeton matalaenergiatoimistotalo. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 58 s. + liitt. 21 s. (VTT Julkaisuja 795). ISBN 951-38-4503-6.

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.

Asuinkerrostalo 2000, Asu paremmin-tutkimusprojekti: Energiansäästäjä on myös terve talo. Talotekniikka 5/1997. S. 32 - 33. (Lehtiartikkeli) ISSN 12365173.

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

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

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. ESPI-matalaenergiapientalot. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1998. (VTT Tiedotteita 1924). ISBN 951-38-5332-2 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>).

Häkkinen, T., Saari, M., Vares, S., Vesikari, E. & Leinonen, J. Ekotehokkaan rakennuksen suunnittelu. Helsinki: Rakennustieto, 1999. 94 s. + liitt. 15 s. (Ekotieto) ISBN 951-682-576-1.

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

Sarja Asko, Laine Juhani, Pulakka Sakari & Saari Mikko. INDUCON-rakennuskonsepti. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1998. (VTT Tiedotteita 2206). 66 s. + liitt.35 s.

Laine, Juhani, Salonvaara, Mikael & Saari, Mikko. Matalaenergiarahkotalo. Ratkaisumallit. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 2002. (VTT Tutkimusraportti nro RTE2183/02). 51 s. Raportin jakelu: Betonitieto Oy.

Laine, Juhani ja Saari, Mikko. Matalaenergiarahkotalo. Yleissuunnitteluohje. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 2002. (VTT Tutkimusraportti nro RTE3785/02). 38 s. Raportin jakelu: Betonitieto Oy.

Laine, Juhani ja Saari, Mikko. Matalaenergiarahkotalo. LVIS-suunnitteluohje. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 2002. (VTT Tutkimusraportti nro RTE4396/02). 23 s. Raportin jakelu: Betonitieto Oy.

Lämmöneristysmääräysten 2003 täyttäminen. Lämpöhäviöiden tasaus ja U-arvon laske-
nta. Helsinki: Ympäristöministeriö 2003. Ympäristöopas 106. 79 s. ISBN 951-682-
736-5. Raportin jakelu: Rakennustieto Oy.

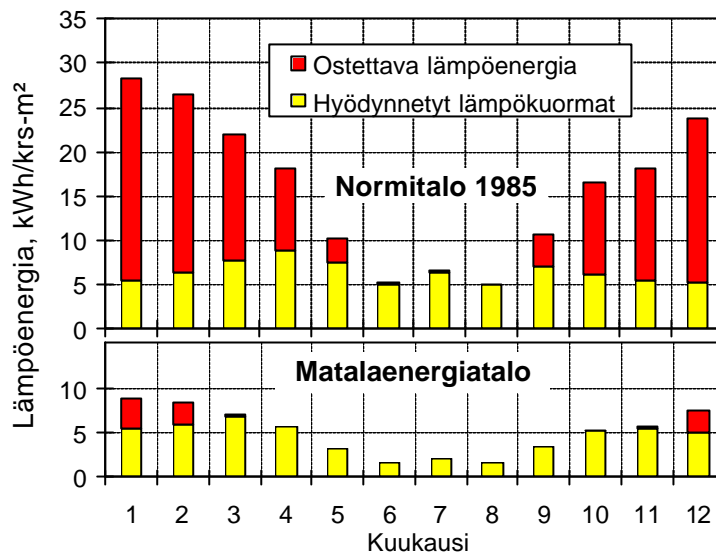
Liite 1 MATALAENERGIATEKNOLOGIAN KEINOT JA HYÖDYT

Yksinkertaiseen matalaenergiarakentamiseen soveltuvia keinoja

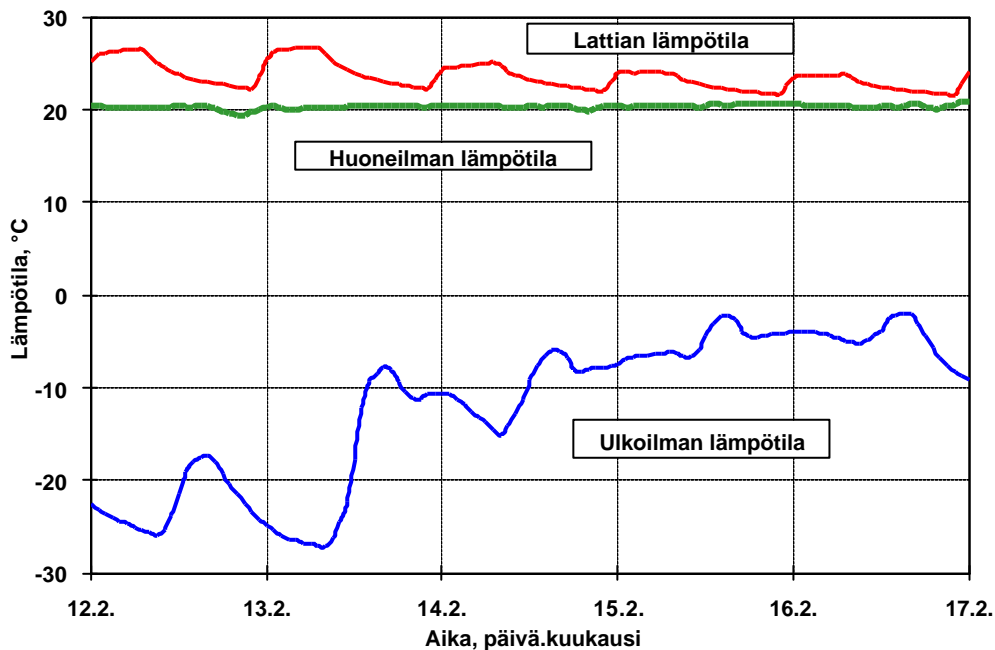
- ? ikkunoiden ja muiden rakenteiden energiatehokkuuden parantaminen
- ? ilmanvaihdon tarpeenmukainen käyttö ja poistoilman lämmöntalteenoton tehostaminen
- ? rakenteiden lämmönvarauskyvyn hyödyntäminen ilmaislämpöjen varastointiin ja kesähelteillä sisälämpötilan alentamiseen
- ? lämmitys-, ilmanvaihto- ja rakennusautomaatiojärjestelmien sopeuttaminen matalaenergiarakentamisen tarpeisiin
- ? huolellinen rakentaminen, jotta välttytään hallitsemattomilta ilma- ja lämpövuodoilta sekä saadaan aikaan hyvä sisäilmasto

Matalaenergiatalotekniikalla voidaan hyödyntää rakenteiden lämpöä vaaravaa massaa

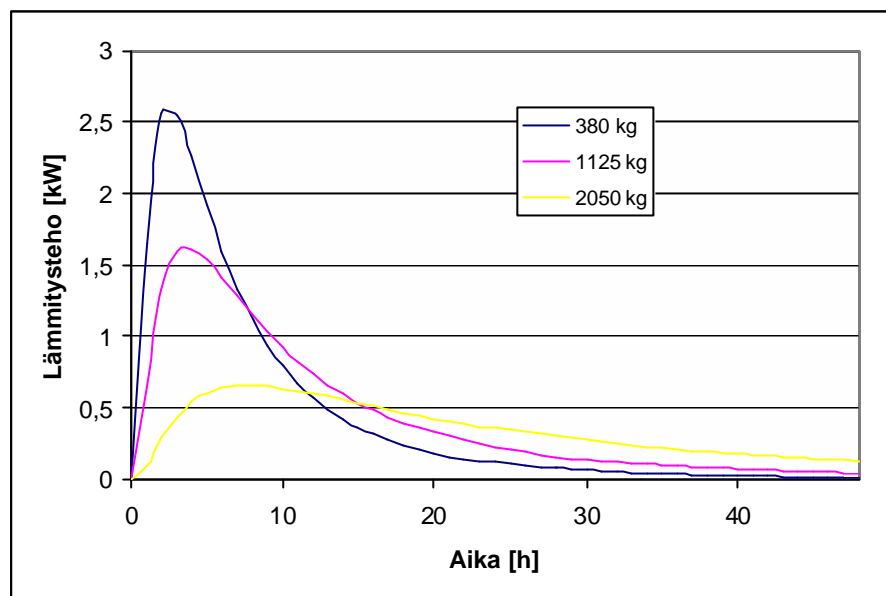
- ? sisälämpötilan vaihtelun tasaamiseen
- ? sisäisten lämpökuormien hyödyntämiseen lämmityksessä
- ? aurinkoenergian passiiviseen tai aktiiviseen varastointiin ja myöhempään luovutukseen sisälämpötilan ylläpitoon
- ? poikkeustilanteiden lämpövarastona (esim. katko energiansaannissa)
- ? jaksottaisen lämmityksen yhteydessä lämmön varastointiin ja myöhempään luovutukseen sisälämpötilan ylläpitoon (esim. tulisijalla, yösähköllä tai aurinkolämmöllä)
- ? rakennuksen jäähdyttämiseen ulkoilmalla (huoneilman tai rakenteiden jäähdyttäminen)
- ? huoneisiin puhallettavan tuloilman lämpötilan vaihtelun vaimentamiseen (esim. ontelolaattakanavisto)



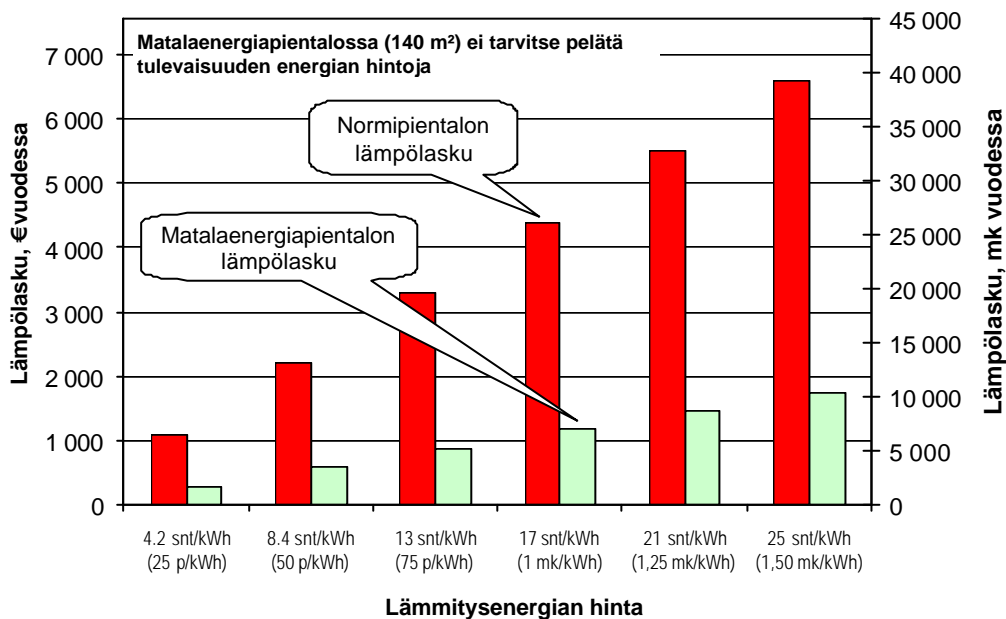
Kuva 1. Rakenteiden massaa hyödyntävässä matalaenergiatalossa lämmitystarve on pieni ja lämmityskausi lyhenee merkittävästi. Auringonsäteily ja sisäiset lämmönlähteet kuten kotitalouskoneet ja valaistus riittävät pitämään talon lämpimänä jopa 9 kuukauden ajan.



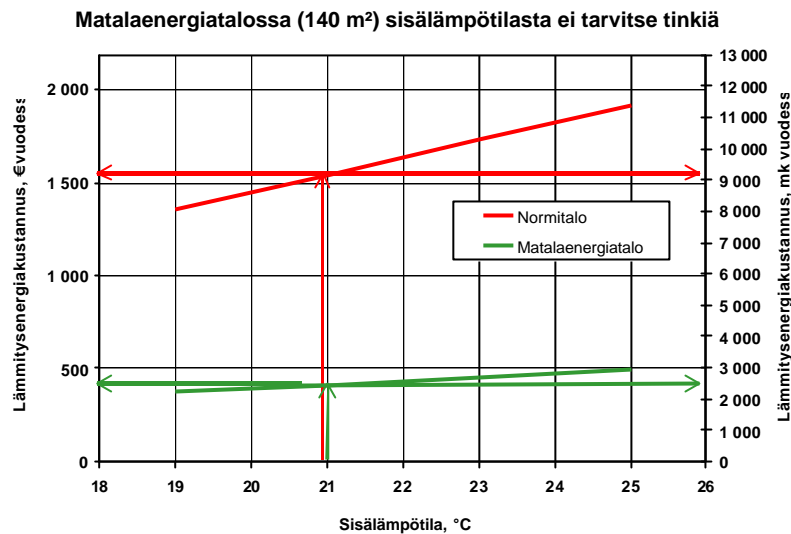
Kuva 2. Espoossa sijaitsevassa MEPI-matalaenergiapientalossa kivirakenteiden massaa on hyödynnetyt varaavassa lämmitysjärjestelmässä. Matalaenergiatalossa betoniseen välipohjaan varattu lämpö riittää mitoituspakkasillakin. Lämmönvarauskyvyltään 10 cm paksu ja 100 m²:n suuruinen betonilaattaa vastaa 1000 litran lämmityksen vesivaraajaa. Laatan lämpötila on korkeimmillaankin vain 27 °C. Kuvan mittausjaksolla ulkoilman lämpötila kohoaa nopeasti lähes 20 °C. Sisälämpötilat eivät kuitenkaan nouse, koska matalaenergiatalossa lattian ja huoneilman lämpötilaero on pieni ja lämmityksen yöaikaista lämmönvarausta ohjataan ulkoilman lämpötilan mukaan.



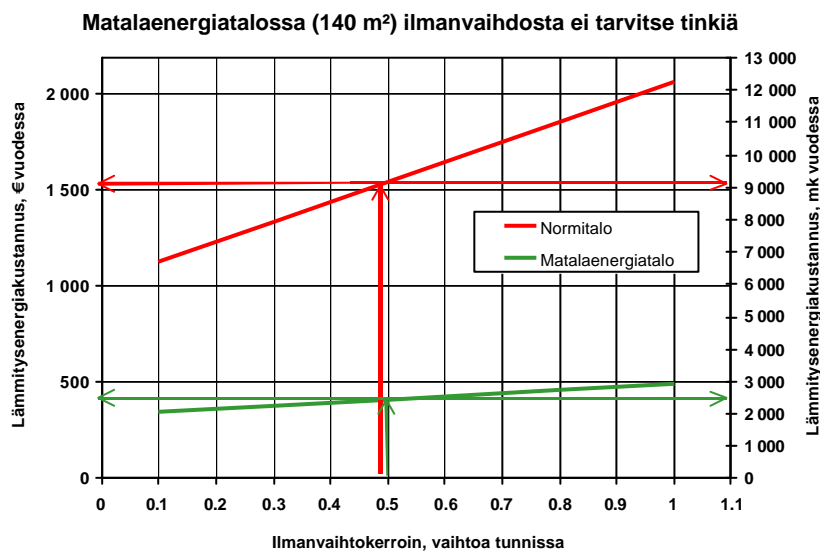
Kuva 3. Massiivinen varaava tulisija luovuttaa matalaenergiataloon lämpöä tasaisesti usean päivän ajan yhdellä poltolla. Kevyt tulisija antaa matalaenergiataloon liian suuren hetkellisen lämpötehon, joka nostaa sisälämpötilan tarpeettoman korkeaksi ja lämpö on tuuletettava ulos [Tuomaala & Klobut 2001].



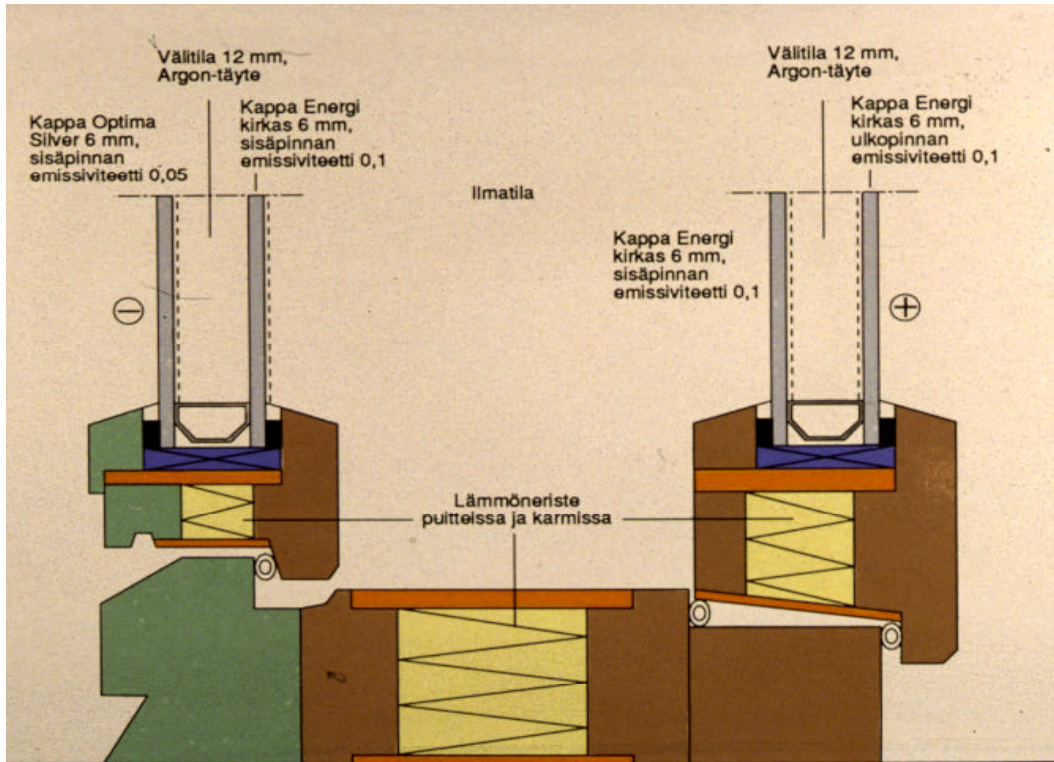
Kuva 4. Matalaenergiapientalon rakentajan ei tarvitse varautua yliraskailla "muunneltavilla" lämmitysratkaisuilla mahdollisiin hinnanmuutoksiin eri lämmönlähteiden välillä tulevaisuudessa. Eri energiamuotojen saatavuus, tariffipolitiikka ja järjestelmäinvestoinnit vaikuttavat eniten matalaenergiatalon lämmönlähteen valintaan. Lämmitysenergian hintaeroilla sinne tai tänne rakentamisvaiheessa ei ole mitään käytännön merkitystä matalaenergiatalossa. Esimerkiksi sähkölämpö ja kaukolämpö ovat molemmat matalaenergiataloon sopivia ja koerakentamiskohteissa toimiviksi havaittuja ratkaisuja. Normipientalon lämmitysenergiankulutus on 26 MWh vuodessa ja matalaenergiatalon 7 MWh vuodessa [Savolainen et al 2000].



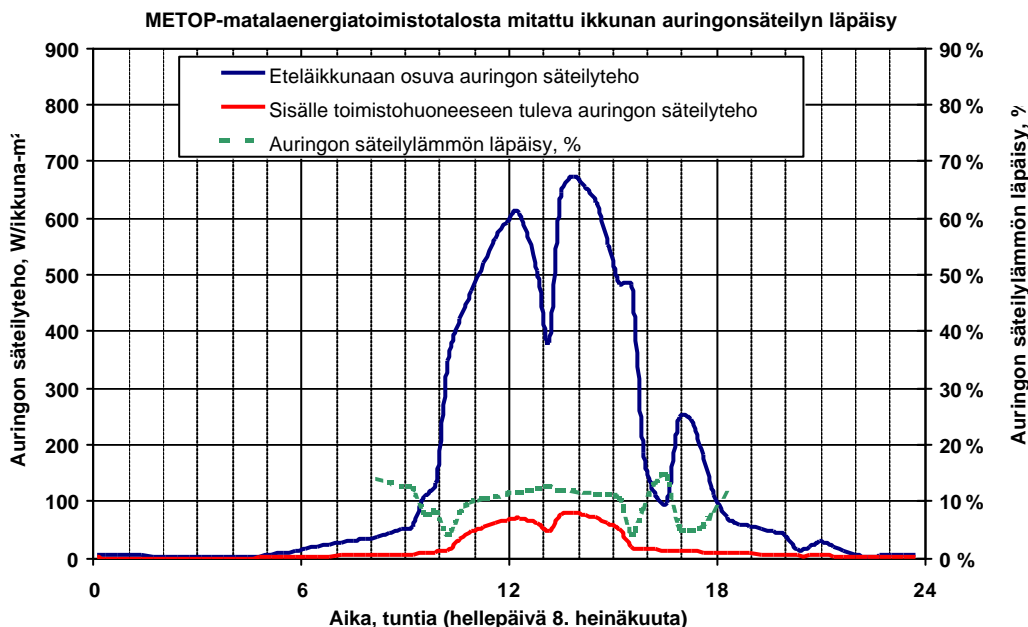
Kuva 5. Normipientalossa voidaan palelemalla säästää jopa pari tuhatta markkaa vuodessa, mutta silti kuluttaa lämmitykseen moninkertainen rahamäärä verrattuna matalaenergiataloon. Jos haluat nauttia asumisesta, rakenna matalaenergiatalo. Normipientalon lämmitysenergiankulutus on 26 MWh vuodessa ja matalaenergiatalon 7 MWh vuodessa, kun sisälämpötilan asetusarvo on 21 °C [Savolainen et al 2000]. Lämmitysenergian hinta on molemmissa taloissa 5.9 snt/kWh (35 p/kWh).



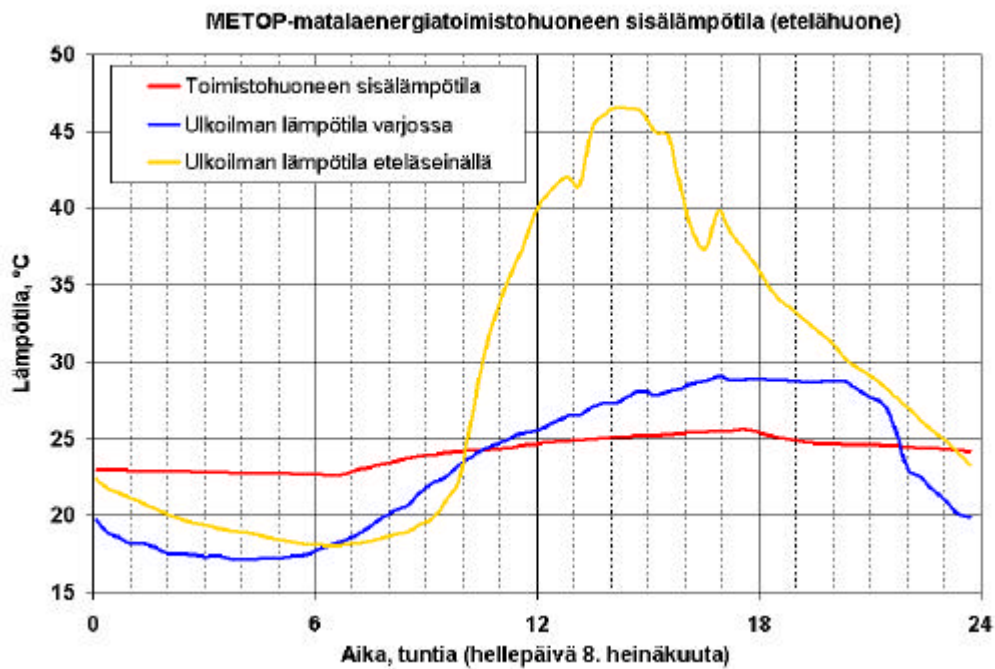
Kuva 6. Normipientalossa voidaan ilmanvaihdosta tinkimällä "säästää" jopa tuhansia markkoja vuodessa, mutta silti lämmitykseen kuluu moninkertainen rahamäärä verrattuna matalaenergiataloon. Jos haluat pysyä terveenä ja kutsua vieraita raikkaaseen kotiin, rakenna matalaenergiatalo. Normipientalon lämmitysenergiankulutus on 26 MWh vuodessa ja matalaenergiatalon 7 MWh vuodessa, kun ilmanvaihtokerroin on 0.5 1/h [Savolainen et al 2000]. Lämmitysenergian hinta on molemmissa taloissa 5.9 snt/kWh (35 p/kWh).



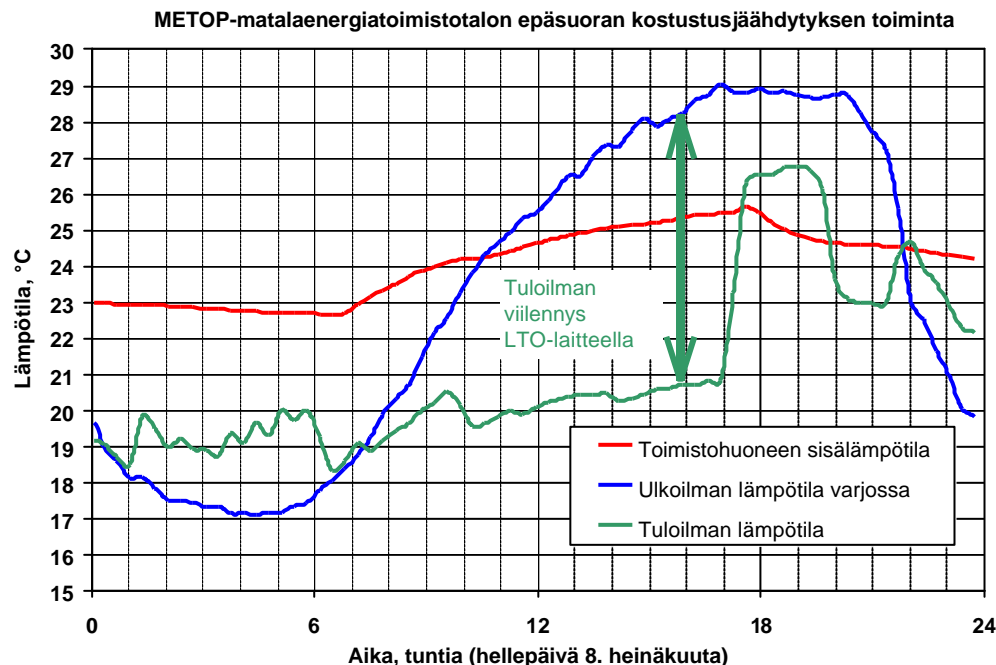
Kuva 7. METOP-matalaenergiatoimistotalon ikkuna toimii tehokkaana lämpösuojana talvella ja kesällä. Ikkunan lämmönläpäisykerroin on $0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja auringon suoran säteilyn läpäisy on vain 12 %. Tehokkaiden lasiratkaisujen lisäksi puitteissa ja karmissa on lämmöneriste.



Kuva 8. Toimistohuoneen sisälämpötilan hallitsemiseksi ja jäähdytystarpeen minimoimiseksi ikkunan auringonsuojaominaisuudet ovat METOP-matalaenergiatoimistotalossa huippuluokkaa. Ikkunan läpäisi vain 12 % auringon säteilytehosta. Erillisiä auringonsuojarakenteita tai -verhoja ei tarvita huoneen lämpötilan hallintaan.

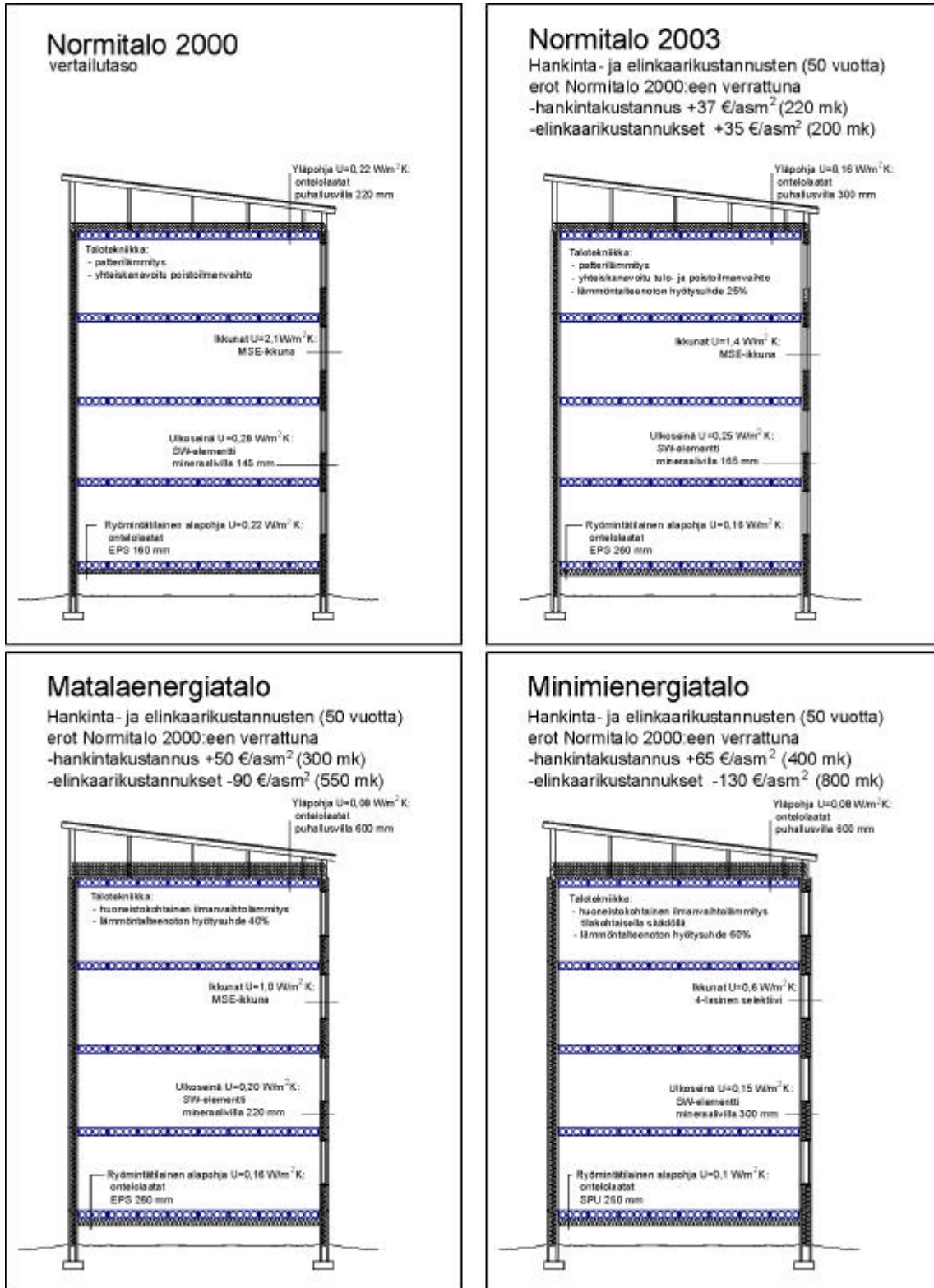


Kuva 8. Hellepäivinäkin METOP-matalaenergiatoimistossa sisälämpötila jää ilman koneellista jäädytystä alle 26 °C:n ja työteho säilyy hyvänä. Hyvä ulkovaipan lämmöneristyskyky estää tehokkaasti ulkoilman lämmön siirtymisen sisään. Vaalean eteläseinän lähellä ulkoilman lämpötila voi olla jopa yli 45 °C. Ulkoseinän lämmöneristettä tarvitaan siis kesälläkin.



Kuva 9. Tehostetulla epäsuoralla kostutusjäähdytyksellä estetään hellepäivinä ulkoilman lämmön siirtyminen sisään ilmanvaihdon mukana. Samalla tuloilma jäädyttää rakenteita. Tuloilman lämpötila on noin 20 °C, vaikka ulkolämpötila on lähes 30 °C. Epäsuoraan kostutusjäähdytykseen käytetään lämmöntalteenottojärjestelmää (LTO), jolle on näin löydetty järkevää käyttöä kesäksikin.

Liite 2. INDUCON-RAKENNUSKONSEPTTI

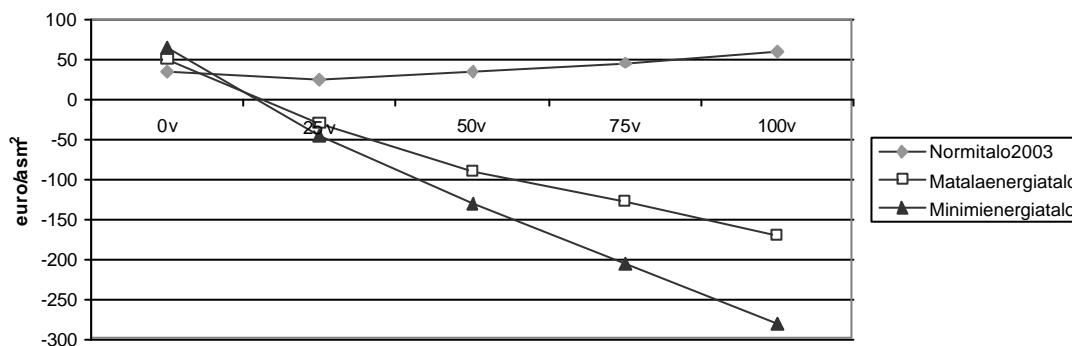


Kuva 1. INDUCON-esimerkkirakennuksen energiatalousluokkien mukaiset ratkaisumallit.

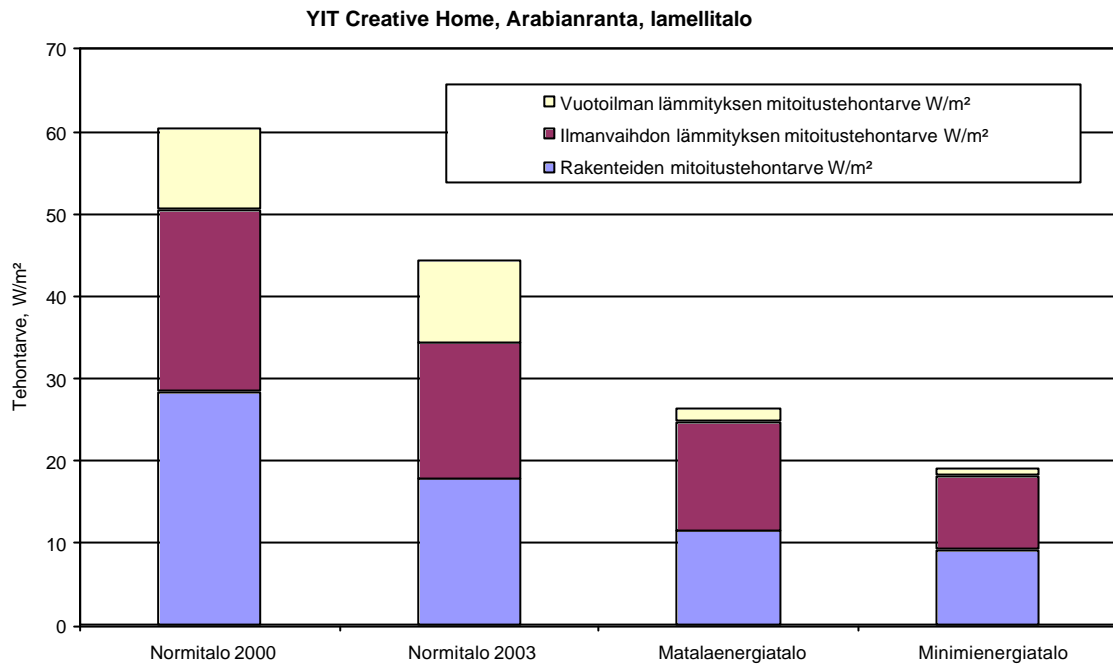
Taulukko 1. INDUCON-esimerkkirakennuksen Normitalo 2003:n, Matalaenergiatalon ja Minimiennergiatalon hankinta- ja elinkaarikustannusten nykyarvoerot asuntoneliometriä kohti (€/asm²) 50 vuoden suunnitteluajanjaksolla Normitalo 2000:een verrattuna. Reaalikorkokanta 2 %.

Kustannuslaji	Nykyarvoerot €/asm ² (mk/asm ²)		
	Normitalo 2003	Matalaenergiatalo	Minimiennergiatalo
Rakennustekniset hankinnat	+14 (+85)	+27 (+160)	+40 (+240)
Talotekniset hankinnat	+23 (+135)	+23 (+140)	+25 (+150)
Uushankinnat	+29 (+175)	+30 (+185)	+30 (+185)
Huolto	+6 (+35)	+4 (+25)	+4 (+25)
Energia	-55 (-330)	-190 (-1150)	-250 (-1500)
Rahoitus	+20 (+120)	+23 (+140)	+28 (+170)
Tilapäismajoitus		-7 (-40)	-7 (-40)
Yhteensä	+37 (+220)	-90 (-540)	-130 (-770)

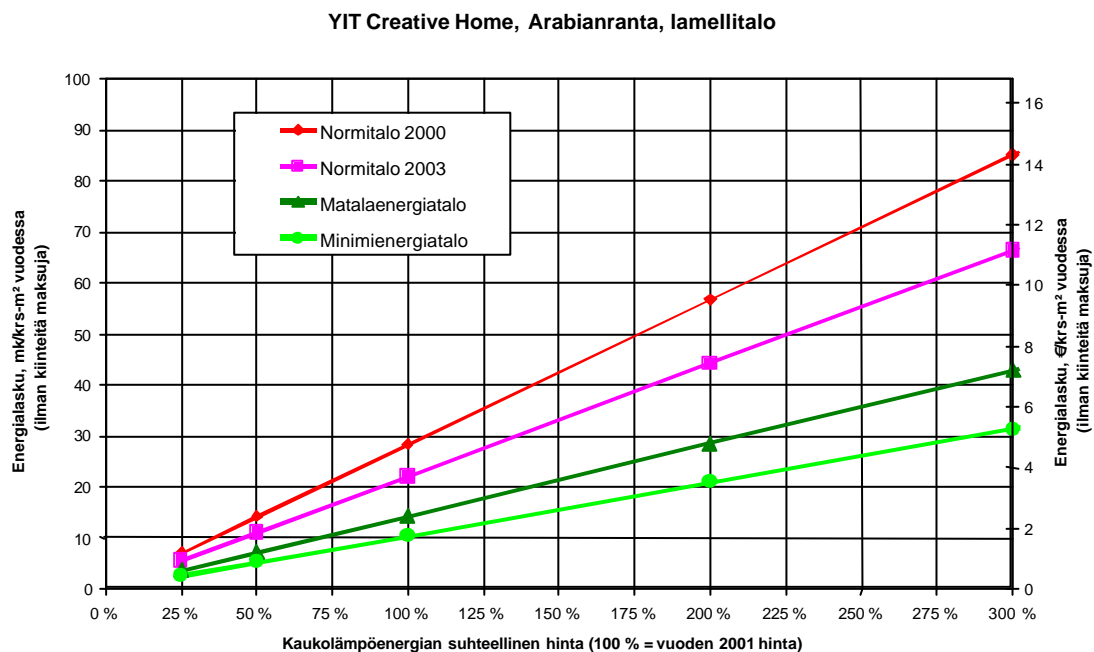
KOKONAISKUSTANNUSEROT NORMITALO 2000:EEEN (0...100 V)



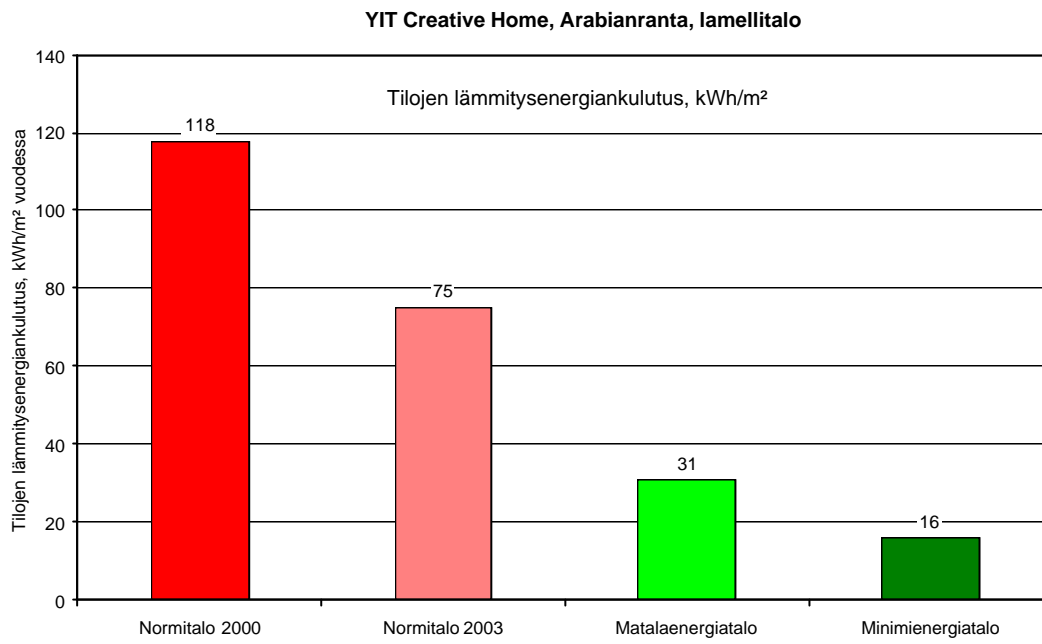
Kuva 2. INDUCON-esimerkkirakennuksen Normitalo 2003:n, Matalaenergiatalon ja Minimiennergiatalon hankinta- ja elinkaarikustannusten erot asuntoneliometriä kohti (€/asm²)100 vuoden aikana Normitalo 2000:een verrattuna. Reaalikorkokanta 2 %.



Kuva 3. Eri energiatalousluokkiin suunnitellun INDUCON-esimerkkirakennuksen mitoitustehontarve, W/asm^2 .



Kuva 4. INDUCON-esimerkkirakennuksen vuotuinen lämmitysenergiakustannus eri energiatalousluokissa ja eri energianhintatasoilla. Vuonna 2001 kaukolämmön talvi-hinta oli 180 mk/MWh (1.10.–30.4.) ja kesähinta 90 mk/MWh (1.5.–30.9.).











Kuva 5. Eri energiatalousluokkiin suunnitellun INDUCON-esimerkkirakennuksen vuotuinen ominaislämmönkulutus, kWh / asm².

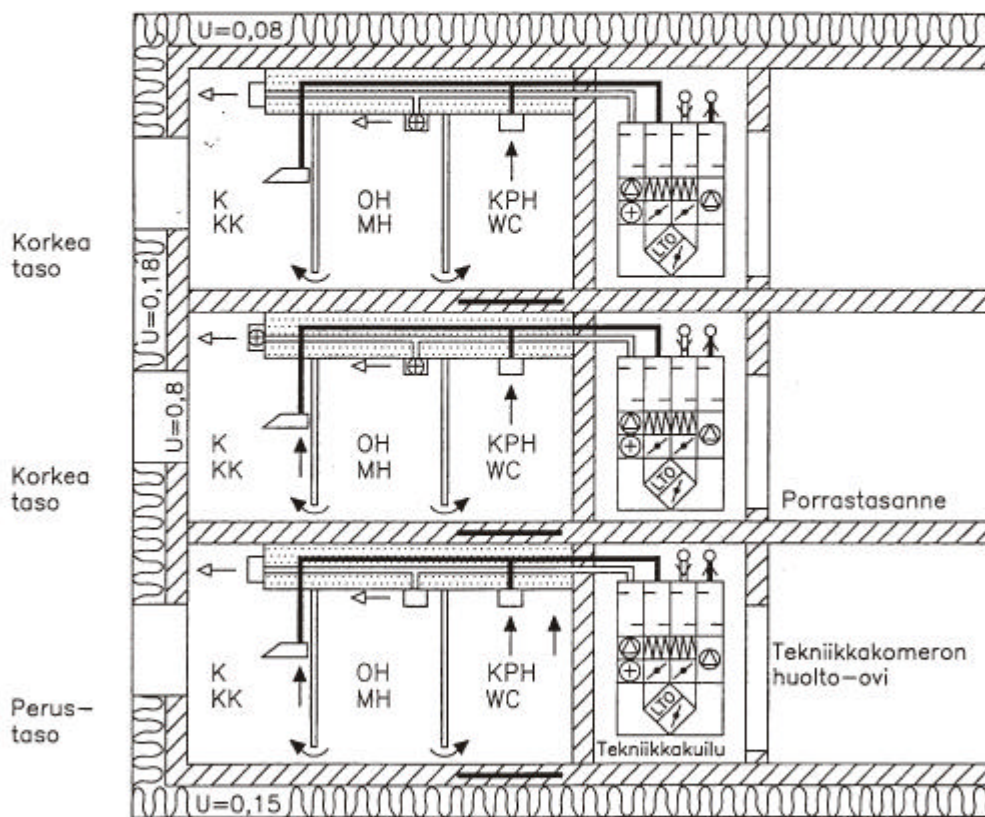
HUONEISTOKOHTAINEN ILMANVAIHTOLÄMMITYS,
JÄTEILMAN SEINÄPUHALLUS

Laatutaso voidaan valita huoneisto- ja/tai huonekohtaisesti

Merkkien selitykset

	puhallin		lämmityspatteri
	suodatin		äänenvaimennus
	virtaussäädin		lämmöntalteenotto
	lattialämmitys		tilavaraus

U lämmönläpäisykerroin, W/m^2K



Matalaenergiatalossa ei tarvita ikkunoiden alla lämmityspattereita. Lämmitys voidaan hoitaa edullisimmin ilmanvaihtolämmityksellä. Kustannuksia lisäämällä voidaan käyttää ilmanvaihtolämmityksen tilalla pintalämmitystä (lattia, katto, seinä) tai patterilämmitystä. Lämmityspatterit voidaan sijoittaa vapaasti huoneeseen, esimerkiksi kalustepatteri.

Kuva 6. INDUCON-esimerkkirakennuksen ilmanvaihtolämmityksen esimerkkikaavio

INDUCON-esimerkkirakennuksen huoneistokohtainen ilmanvaihtolämmitys

Kerrostaloissa saavutetaan korkeatasoinen sisäilmasto ja asumismukavuus sekä talvella että kesällä ilman erillisiä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiä. Taloissa yhdistetään rakenne-, ilmastointi-, sähkö- ja tietoteknisiä ratkaisuja yksinkertaiseksi, toimivaksi ja edulliseksi kokonaisuudeksi. Talot lämpiävät ja jäähtyvät uuden ja yksinkertaisen matalaenergiatekniikan avulla. **Lämmitys- ja jäähdytystarpeet ovat niin pienet, että tarpeenmukaisesti ohjattavan ilmanvaihdon avulla voidaan siirtää tarvittavat lämmitys- ja jäähdytystehot huoneisiin ilmanvaihtolämmityksen avulla.** Lämmitys- ja jäähdytystarpeiden pienentämistavoitteet toteuttavien vaipan rakenteiden elinkaarioptimointi on tehty hyvän elinkaaren aikaisen ekologisuuden ja hyvän taloudellisuuden perusteella.

Matalaenergiatalon ja Minimiergiatalon huoneistokohtaisen ilmanvaihtolämmitysjärjestelmän hyödyt:

- Säädettävyydeltään sopivan kokoinen ilmanvaihtolämmitysjärjestelmä ja sen älykäs ja tehokas säätöstrategia
- Ilmanvaihtolämmityksen sähköenergia minimoidaan ilmansiirtojärjestelmän mitoituksella (pieni ominaispuhallinteho $< 2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$), käytön ohjauksella ja säätöstrategialla
- Tehokas lämmöntalteenotto poistoilmasta talvella
- Tehokas kylmäntalteenotto poistoilmasta kesällä
- Yöaikainen jäähdytys tehostetulla ulkoilmavirralla
- Tarpeenmukaisesti tehostettava ilmanvaihto (ilman epäpuhtaudet, ylilämpö)
- Sisäisten lämmönlähteiden (ihmiset, kotitaloussähkö) hyödyntäminen ja torjunta ilmanvaihtolämmityksen säätöjärjestelmän ja tehokkaan säätöstrategian avulla.

Tarvittava vähäinen ostolämmöntarve hoidetaan kaukolämmityksen vesikiertoisilla l-malämmityspattereilla huoneistokohtaisessa ilmanvaihtolämmityskoneessa. Pienien lämmitystehojen vuoksi huonekohtainen lämpötilansäätö ei onnistu vesikiertoisilla l-malämmityspattereilla, koska sellaiset puuttuvat markkinoilta. Haluttaessa huonekohtainen lämpötilan hienosäätö toteutetaan tuloilmalaitteeseen lisävarusteena (korkea taso) sijoitetulla pienitehoisella sähkölämmityspatterilla.

Erillisiä ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmiä ei tarvita, vaan huoneiden lämmitys hoidetaan lämmöntalteenotolla varustetun ilmanvaihtolämmitysjärjestelmän avulla energiataloudellisesti.

Perinteisestä ilmalämmityksestä ilmanvaihtolämmitys eroaa siinä, että ilmavirrat mitoitetaan ilmanvaihdon tarpeen ja jäähdytystarpeen eikä lämmöntarpeen mukaan.

Huoneistokohtaisen ilmanvaihtolämmitysjärjestelmän toimintaperiaate

Ilmanvaihtolämmityksessä huoneisiin puhallettava tuloilma lämmitetään ensivaiheessa ilmanvaihtolämmityskoneen lämmöntalteenottolaitteessa ja kaukolämpöön liitetyllä vesikiertoisella ilmalämmityspatterilla sisä- ja ulkoilman lämpötiloista riippuen tyypillisesti 10–40 °C:n lämpötilaan. Sisälämpötilan huoneistokohtainen säätö tehdään yhteysmoduulin talotekniikan reititystilaan sijoitetun huoneistokohtaisen ilmanvaihtolämmityskoneen ilmalämmityspatterilla (perustaso). Haluttaessa sisälämpötilan hienosäätö tehdään tarpeen mukaan huonekohtaisesti tuloilmalaitteen sisälle sijoitettavalla pienitehoisella sähkölämmityselementillä (lisävaruste, korkea taso). Ilmanvaihtolämmityksessä tuloilman lämpötila voi mitoituspakkasella olla jopa +50 °C:n luokkaa aiheuttamatta ongelmia sisäilmastoon. Näin korkea tuloilman lämpötila sopii hyvin kaukolämmitykseen.

Huoneistokohtaisesti hallittu ilmanvaihto

Ilmanvaihtolämmitykseen kuuluvassa hallitussa ilmanvaihdossa olohuoneeseen, makuuhuoneisiin ja myös keittiöön puhalletaan lämmitettyä ja suodatettua ulkoilmaa vedottomasti ja meluttomasti. Vastaavasti ilmaa poistetaan keittiöstä, pesutiloista, WC:stä ja vaatehuoneesta. Ilmanvaihto on asukkaan yksilöllisesti tehostettavissa vähintään keittiön liesikuvusta (perustaso). Ilmanvaihtoa voidaan haluttaessa paikallisesti tehostaa keittiön lisäksi myös märkätiloissa (korkea taso). Eri tilanteissa (ruoanlaitto, pyykinpesu, saunominen, vieraat, poissaolot) voivat asukkaat huoneistokohtaisesti käyttää normaalia suurempaa tai pienempää kokonaisilmanvaihtoa tarpeen mukaan. Lisäksi asunon käyttöajan ulkopuolella on käytettävissä ns. perusilmanvaihto.

Ulkoilma otetaan ulkoseinältä ja jäteilma puhalletaan ulos samalta seinältä hyvien koe-rakennuskokemusten mukaisesti. Asentamalla ilmanvaihtolämmityskone lähelle ulkoseinää voidaan välttyä kalliilta ja pitkiltä lämpö- ja kosteuseristetyiltä ulkoilma- ja jäteilmakanavilta.

Koska ilmanvaihtolämmityksessä talosta ulos puhallettavan ilman lämmöllä lämmitetään ulkoa sisäänotettavaa kylmää ulkoilmaa ilmaiseksi, voidaan Matalaenergiatalossa hyvää sisäilmastoa ylläpitää energiataloudellisesti ympäri vuoden ja yli puoli vuotta ilman lämmitysenergian kulutusta.

Huoneistokohtaisen ilmanvaihtolämmityksen asennusteknisiä ominaisuuksia

Ilmanvaihtolämmityksen suunnitteluun ja asennukseen vaikuttavia erityisominaisuuksia on esitetty seuraavassa luettelossa:

- Erilaisten komponenttien määrä on vähäinen
- Komponenttien erilaisia liitoskokoja on vähän
- Komponentit ovat toimintavalmiita, monitoimintaisia ja tehtaalla esisäädettyjä

LIITE 2 (8/8)

- Automaatiolaitteiden asennus on ainoastaan eri komponenttien välisten johtojen liittämistä
- Ilmakanavisto on helppo suunnitella, itsestään säätyvä, virtausteknisesti stabiili, ääniteknisesti hallittu sekä tarpeenmukaisia ilmavirtamuutoksia salliva
- Asuntojen tekniikkavyöhykkeiden ansiosta perinteisten ilmakanavien tarve on vähäinen
- Lyhyiden ulkoilma- ja jäteilmakanavien ansiosta niiden lämmön- sekä kondenssineristyksen tarpeet ja lämpöhäviöt ovat vähäisiä
- Korkean pintalämpötilan ansiosta supereristysikkunoiden alla ei tarvita lainkaan perinteisiä lämmityspattereita
- Erillisiä huoneiden lämmitysvesiverkostoja tarvitaan vain märkätilojen mukavuuslattialämmityksessä
- Ilmanvaihtolämmityskone hoitaa ilmanvaihdon, lämmityksen ja jäähdytyksen
- Ilmanvaihtolämmityskone ja huoneiden tulo- ja poistoilmalaitteet ovat asennus- ja käyttövalmiita ja tehtaalla valmiiksi esisäädettyjä
- Ilmanvaihtolämmityksen asennus- ja säätötyö työmaalla on minimoitu
- Kalliita ilmavirtojen ja ilmanvaihtolämmityksen säätötoimenpiteitä ei juurikaan tarvita työmaalla
- Työmaalla tehdään ainoastaan ilma-, vesi- ja sähkökomponenttien liittämistä
- Rakennus saadaan nopeasti käyttöön.

Työmaa-aikainen lämmitys talvella voidaan pienien lämpöhäviöiden ansiosta hoitaa märkätilojen mukavuuslattialämmityksellä ja työmaavalaisimilla.