



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

VILLE VESTERINEN

ASUINRAKENNUKSEN KESÄAJAN YLILÄMPÖTILOJEN HALLINTA – KÄYTTÖVAIHEEN LÄMPÖVIIHTYVYYS

Diplomityö

Tarkastaja:  
professori Hannu Ahlstedt  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Automaatio-, kone- ja materiaalitekniikan tiedekuntaneuvoston kokouksessa 6. kesäkuuta 2012



## TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

**VESTERINEN, VILLE:** Asuinrakennuksen kesäajan yllämpötilojen hallinta – käyttövaiheen lämpöviihtyvyys

Diplomityö, 99 sivua, 1 liitesivu

Lokakuu 2012

Pääaine: Talotekniikka

Tarkastaja: professori Hannu Ahlstedt

Avainsanat: Asuinrakennus, lämpöolot, lämpöviihtyvyys, passiivinen auringonsuojaus

Euroopan unionissa hyväksytty rakennusten energiatehokkuutta parantava direktiivi on johtanut Suomen rakentamismääräysten tiukentumiseen. Tiukentuneiden rakentamismääräysten myötä merkitys rakennusten sisäilman määräystenmukaisuudesta ja lämpöviihtyvyydestä korostuu. Rakennusmääräysten täyttyminen tulee osoittaa dynaamisilla lämpötilasimuloinneilla.

Työssä tarkasteltiin kirjallisuuden avulla asuinrakennusten sisäilmastoon vaikuttavia tekijöitä sekä Suomen rakentamismääräysten vaatimuksia asuinrakennusten lämpöoloihin. Suomen rakentamismääräysten ja ohjeiden asettamien vaatimuksien täyttämiseksi haettiin asuinrakennuksen lämpöoloihin vaikuttavia tekijöitä. Yllämpötilojen hallitsemiseksi mahdollisia ratkaisuja löytyi rakenteellisista-, ilmanvaihdollisista- ja passiivisista auringonsuojaratkaisuksista sekä aktiivisesta jäähdytyksestä.

Rakenteellisten, ilmanvaihdollisten ja passiivisten auringonsuojaratkaisujen vaikutuksia asuinrakennusten lämpöoloihin ja lämpöviihtyvyyteen tutkittiin case-kohteiden avulla. Laskenta suoritettiin IDA indoor Climate and Energy 4.21 -simulointiohjelmistolla. Auringonsuojaratkaisujen vaikutuksia case-kohteiden lämpöoloihin tarkasteltiin vertailemalla valittuja rakenteellisia-, ilmanvaihdollisia- ja passiivisiä auringonsuojaratkaisuja tapaukseen, joka edustaa rakennusteknisesti normaalia nykypäivän asuinrakennusta ilman auringonsuojaratkaisuja. Tehokkaimmat passiiviset yllämmön hallintaratkaisut löytyivät ikkunoiden ominaisuuksia muuttamalla ja ulkopuolisia auringonsuojaratkaisuja tarkastelemalla.

Tehokkaimmista passiivisista auringonsuojaratkaisuksista luotiin toteuttamiskelpoiset yhdistelmät, jotka valittiin tarkempaan tarkasteluun. Auringonsuojaratkaisujen yhdistelmien avulla tutkittiin valittujen kriittisten asuntojen lämpöviihtyvyyttä, asetettujen määräysten täyttymistä sekä jäähdytystehontarvetta todellista käyttöä ja standardikäyttöä vastaavilla sisäisillä lämpökuormilla. Asuinrakennusten yllämpötilojen hallitsemiseksi luotiin kahdeksan passiivista auringonsuojaratkaisua, joilla tarkasteltujen case-kohteiden kriittisten asuntojen lämpöolot olivat lämpöviihtyisät ja määräystenmukaiset.

Yllämpötilojen hallitsemiseksi luotujen ratkaisujen avulla voitiin oleskelutilojen lämpöoloja hallita tehokkaasti. Auringonsuojalaseilla saavutettiin keskimäärin 2,5–6 asteen parannus huonelämpötiloihin, ilmanvaihdon tehostuksella noin 1,8–4,5 asteen ja auringonsuojaratkaisuilla 2–7 asteen oleskelutilojen lämpötilojen lasku.

Auringonsuojayhdistelmillä tarkasteltujen kohteiden lämpöviihtyvyyttä haluttiin tehostaa pienentämällä kesäajan lämpötilahuippuja aktiivisella jäähdytyksellä. Tällöin aktiivinen jäähdytys oli mahdollista mitoittaa 39–62 prosenttia pienemmäksi perustarkastelun auringonsuojaratkaisuilla kuin ilman auringonsuojaratkaisuja. Kesäjakson aikaisena jäähdytystarpeena ero on suurimmillaan 6,5–14 -kertainen, tarkasteltavasta auringonsuojayhdistelmästä riippuen.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

**VESTERINEN, VILLE:** Control of Overheat in Residential Building – Thermal Comfort in Use

Master of Science Thesis, 99 pages, 1 Appendix page

October 2012

Major: Building Services Engineering

Examiner: Professor Hannu Ahlstedt

Keywords: Residential building, thermal conditions, thermal comfort, passive solar shading

The European Union has approved a directive regarding energy performance of buildings which has led to tighter building regulations in Finland. The relevance with provisions of indoor air quality and thermal comfort is emphasized due to tightened building regulations. The fulfillment of these regulations must be shown with dynamic simulation programs.

This thesis includes a literature study of the factors which have an effect on the residential buildings indoor environment and the requirements for thermal environment on the National Building Code of Finland. Properties affecting thermal conditions in residential buildings were studied in order to find fulfilling solutions for the building regulations and guidelines. Possible solutions were found from structural-, ventilation- and passive solar control and active cooling.

The effects of structural, ventilation and passive solar shading solutions for thermal environment and thermal comfort were studied in a case study. The calculations were done with IDA Indoor Climate and Energy 4.21 -simulation tool. The effects of the solar control solutions for two different case studies were done by comparing structural, ventilation and passive solar control solutions with a case which represents a normal modern residential building without solar control. The most effective passive overheat control solutions were found by changing the properties of windows and considering external solar shading solutions.

The most effective passive solar control solutions were compiled to feasible combinations which were selected for a closer review. Case study buildings thermal comfort, regulations fulfillment and cooling demand were studied with combined passive control solutions considering internal heat loads of both realistic- and standardized living situations. 8 passive solar control combinations were made in order to control overheating in reviewed residential buildings and to ensure good thermal conditions and regulations fulfillment.

Effective overheating control was possible with all the studied passive solar control combinations. Solar control glasses decreased room temperatures from 2,5 to 6 °C, ventilation boosting from 1,8 to 4,5 °C and solar shading solutions from 2 to 7 °C on average.

Active cooling system was added to normal solar control combinations to increase thermal comfort as well as to reduce peak temperatures in residential buildings. The result was from 39 to 62 percent smaller active cooling need than in a building solution without any solar control. The difference in cooling demand for the summer period compared to a standard solution is from 6,5 to 14-fold, depending on the used solar control combination.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty rakennussuunnittelutoimisto Optiplan Oy:ssä yhteistyössä NCC Rakennus Oy:n kanssa. Diplomityön valvojana ja tarkastajana toimi Tampereen teknillisen yliopiston professori Hannu Ahlstedt. Diplomityön ohjaajana toimi diplomi-insinööri Tomas Törnblom.

Haluan kiittää Hannu Ahlstedtia työn aikana saamistani ohjeista sekä neuvoista ja opastuksesta koko opiskeluaikana. Lisäksi haluan kiittää Tomas Törnblomia kannustuksesta ja asiantuntevasta ohjauksesta koko diplomityöni ajan. Kiitän myös Kimmo Liljeströmiä työn mahdollistamisesta ja ohjeistuksista. Lisäksi kiitän koko Optiplanin henkilökuntaa kannustavasta ilmapiiristä ja avusta.

Erityskiitoksen esitän avopuolisolleni ja perheelleni saamastani kannustuksesta ja tuesta opiskelun ja diplomityön aikana.

Turussa 18.09.2012

Ville Vesterinen

## SISÄLLYS

1	Johdanto.....	1
1.1	Tausta.....	1
1.2	Tavoite ja tulokset .....	1
1.3	Työn rajaus.....	2
2	Sisäilmasto.....	3
2.1	Määritelmä .....	3
2.2	Sisäilmastotavoitteet.....	3
2.2.1	Yleiset tavoitteet .....	3
2.2.2	Lämpöolot.....	4
2.2.3	Ilman laatu .....	6
2.3	Sisäilmastoluokitus.....	7
3	Rakennusten energiatehokas suunnittelu.....	9
3.1	Euroopan unionin vaatimukset.....	9
3.2	Suomen rakentamismääräykset .....	10
3.2.1	Yleiset vaatimukset .....	10
3.2.2	Kokonaisenergiatarkastelu .....	11
3.3	Talotekniset suunnittelukriteerit.....	13
3.3.1	Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä .....	13
3.3.2	Ilmanvaihto .....	15
3.4	Suunnittelijoiden välinen yhteistyö rakennushakkeessa.....	18
3.4.1	Hankesuunnittelu .....	18
3.4.2	Luonnossuunnittelu .....	19
3.4.3	Toteutussuunnittelu .....	20
3.4.4	Rakentamisvaihe .....	20
3.4.5	Käyttö ja ylläpito.....	21
4	Asuinrakennuksen lämpöolot ja niiden hallinta.....	22
4.1	Lämpöviihtyvyys .....	22
4.2	Asuinrakennuksen lämpökuormat .....	26
4.2.1	Lämpötase.....	26
4.2.2	Sisäiset lämpökuormat .....	28
4.2.3	Ulkoiset lämpökuormat .....	28
4.3	Yleisimmät ongelmat.....	32
4.4	Ylilämpötilojen hallinta passiivisilla keinoilla.....	33
4.4.1	Asuinrakennuksen muoto .....	33
4.4.2	Sijainti ja suuntaus .....	34
4.4.3	Ikkunat.....	36
4.4.4	Terminen massa .....	39
4.4.5	Varjostukset.....	40
4.4.6	Säleet ja sisäpuoliset screenit.....	42
4.4.7	Markiisit ja ulkopuoliset screenit.....	43
4.5	Ylilämpötilojen hallinta aktiivisilla jäähdytysmenetelmillä .....	44

4.5.1	Tuloilman jäähdytys.....	44
4.5.2	Jäähdytyspalkit .....	45
4.5.3	Puhallinkonvektorit.....	46
4.5.4	Pintajäähdytys.....	46
4.6	Valintakriteerit .....	48
5	Lämpöolot ja energiasimulointi.....	49
5.1	Tutkimuksen kuvaus.....	49
5.2	Case-kohteiden kuvaus .....	49
5.3	Simuloinnin lähtötiedot .....	50
5.3.1	Yleiset .....	50
5.3.2	Laskennan säätiedot .....	53
5.3.3	Asuinrakennuksen lämpökuormat .....	55
5.3.4	Ylilämpötilojen hallintavaihtoehdot .....	59
6	Simulointitulokset ja niiden tarkastelu.....	61
6.1	Rakenteelliset ratkaisut.....	61
6.1.1	Kohteen huonelämpötilat .....	62
6.1.2	Ikkunoiden ominaisuuksien vaikutus ulkoiseen lämpökuormaan.....	64
6.2	Ilmanvaihdolliset ratkaisut.....	66
6.2.1	Kohteen huonelämpötilat .....	66
6.2.2	Ilmavirtojen keskimääräinen viilennysteho.....	69
6.3	Passiiviset auringonsuojaratkaisut.....	71
6.3.1	Kohteen huonelämpötilat .....	72
6.3.2	Auringonsuojaratkaisun vaikutus ulkoiseen lämpökuormaan.....	74
6.4	Auringonsuojaratkaisujen yhdistelmät .....	76
6.4.1	Astetuntitarkastelut .....	76
6.4.2	Lämpöviihtyvyys .....	81
6.4.3	Jäähdytystehontarve .....	87
6.4.4	Arvioidun ilmastonmuutoksen vaikutus lämpöoloihin .....	88
7	Johtopäätökset.....	92
	Lähteet.....	95
	Liite 1: Vyöhykkeen I-II säämuuttujien keskimääräiset arvot kuukausittain	

## TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Astetunti	Kuvaa tietyn raja-arvon ylittävän lämpötilan ja ajan tuloa, yksikkö °Ch
Atsimuutti	Etelän ja auringon säteilyn vaakatason projektion välinen kulma ilmoitettuna positiivisena etelästä myötäpäivään, yksikkö °.
Aurinkovakio	Auringon säteilytehon tiheys ilmakehän ulkopuolella mitattuna, yksikkö W/m <sup>2</sup> .
Deklinaatiokulma	Auringon korkeuskulma päiväntasaajaan nähden, yksikkö °.
E-luku	Kuvaa energiamuotojen kertoimilla painotettua rakennuksen vuotuista ostoenergian laskennallista kulutusta nettoalaa kohden, yksikkö kWh/m <sup>2</sup>
Energiatase	Kuvaa rakennuksen tulevien ja poistuvien lämpövirtojen määrää.
Ilmanvuotoluku	Kuvaa ilman vaihtuvuutta tunnissa rakennuksen vuotokohdan kautta, kun sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero on 50 Pa, yksikkö m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> ), 1/h.
Kesäjakso	Kuvaa simulointien ajanjaksoa 1.6.–31.8.
Korkeuskulma	Auringon ja vaakatason välinen kulma, joka kertoo auringon korkeusaseman, yksikkö °.
Kriittinen asunto	Kesäajan sisälämpötilatarkasteluun valittu asunto, johon kohdistuu suurimmat ulkoiset ja sisäiset lämpökuormat.
Kylmänkerroin	Kuvaa jäähdytysjärjestelmän kylmäntuottoa suhteessa käytettyyn sähköenergiaan.
Lämmönjohtavuus	Kuvaa miten hyvin materiaali johtaa lämpöä, yksikkö W/mK.
Lämpökuorma	Ulkoisten ja sisäisten lämmönlähteiden tuottama lämpömäärä, yksikkö W.



Lämpöviihtyvyys	Ilmaisee käyttäjän tyytyväisyyden koettuihin ympäristöolosuhteisiin.
Nettoala	Rakennuksen nettoala eli nettopinta-ala lasketaan rakennuksen kaikkien kerrostasojen kerrostasoalojen summana. Nettoala lasketaan ulkoseinien sisäpintojen mukaan. Nettoalaa käytetään E-luvun laskennassa, yksikkö m <sup>2</sup> .
Operatiivinen lämpötila	Operatiivisella lämpötilalla tarkoitetaan huoneilman lämpötilan ja ihmistä ympäröivien pintojen säteilylämpötilojen keskiarvoa, yksikkö °C.
PMV	Ilmaisee suuren joukon aistiman termisen viihtyvyyden keskiarvoa 7-portaisessa asteikossa (Predicted mean vote).
PPD	Lämpöviihtyvyyteen tyytymättömien prosentuaalinen osuus (Predicted percentage dissatisfied), yksikkö %.
Rakennuksen ostoenergia	Rakennuksen ostoenergialla tarkoitetaan energiaa, joka hankitaan rakennukseen esimerkiksi sähköverkosta, kaukolämpöverkosta, kaukojäähdytysverkosta ja uusiutuvan tai fossiilisen polttoaineen sisältämänä energiana, yksikkö Wh.
Standardikäyttö	Rakennuksen vakioitu käyttö, jonka avulla lasketaan E-luku. Rakennuksen todellinen käyttö eroaa usein standardikäytöstä käyttäjästä johtuen.
Terminen massa	Terminen massa määritellään rakennuksen massana, jolla on kyky sitoa lämpöenergiaa. Terminen massa sitoo itseensä lämpöä ja siten vaimentaa rakennuksien sisälämpötilan vaihtelua ulkoisten ja sisäisten lämpökuormien muuttuessa.
Tuntikulma	Auringon liikettä kuvaava aika, yksikkö 15°/h

**MERKINNÄT**

$\gamma$	Pinnan kaltevuuskulma, °.
$\delta$	Deklinaatiokulma, °.
$\rho$	Heijastavan pinnan heijastussuhde, -.
$\tau$	Tuntikulma, 15°/h.
$a$	Atsimuutti, °.
$A_{\text{kerrosala}}$	Rakennuksen kerrostasoala, m <sup>2</sup> .
$A_{\text{netto}}$	Rakennuksen nettoala, m <sup>2</sup> .
$A_{\text{vaippa}}$	Rakennuksen vaiipan ala, m <sup>2</sup> .
$f$	Energiamuodon kerroin E-luvun laskennassa, -.
$f_{\text{cl}}$	Vaatetuksen pinta-alakerroin, -.
$F_{\text{pm}}$	Tarkasteltavan ja heijastavan pinnan välinen näkyvyyskerroin, -.
$F_{\text{pt}}$	Taivaan näkyvyyskerroin, -.
$g_{\text{lasi}}$	Auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin, -.
$h$	Auringon korkeuskulma, °.
$h_c$	Konvektiivinen lämmönsiirtokerroin, W/m <sup>2</sup> K.
$i$	Auringon säteilyn ja pystysuoran pinnan välinen kulma, °.
$I_0$	Aurinkovakio 1353 W/m <sup>2</sup> , ilmakehän ulkopuolisen säteilytehon tiheys.
$I_{\text{cl}}$	Vaatetuksen lämmöneristävyys, m <sup>2</sup> K/W.
$I_{\text{D}}$	Auringon suoran säteilytehon tiheys maanpinnalla, W/m <sup>2</sup> .
$I_{\text{d}}$	Hajasäteilytehon tiheys, W/m <sup>2</sup> .
$I_{\text{kok}}$	Kokonaissäteilyn summa, W/m <sup>2</sup> .
$I_{\text{R}}$	Heijastuneen säteilytehon tiheys, W/m <sup>2</sup> .

$I_{TH}$	Kokonaissäteily vaakapinnalle, $W/m^2$ .
$k$	Ilmakehän kirkkausaste, -.
$L$	Leveyspiiri, -.
$M$	Aktiivisuustaso, $W/m^2$ .
$n$	Laskentapäivän järjestysnumero vuoden alusta laskettuna, -.
$n_{50}$	Ilmanvuotoluku, 1/h
$p_a$	Vesihöyryn osapaine, Pa.
$Q$	Energiankulutus, kWh.
$q_{50}$	Ilmanvuotoluku, $m^3/(h m^2)$
$t_a$	Ilman lämpötila, °C.
$t_{cl}$	Vaatetuksen lämpötila, °C.
$t_f$	Lattian pintalämpötila, °C.
$\bar{t}_r$	Keskimääräinen pintojen säteilylämpötila, °C.
$T_u$	Ilmanliikkeen turbulentsuusaste, -.
$T_v$	Näkyvän valon läpäisykerroin, -.
$U$	Lämmönläpäisykerroin, $W/m^2K$ .
$v_a$	Ilman liikenopeus, m/s.
$V_{rakennus}$	Rakennuksen tilavuus, $m^3$ .
$W$	Ihmisen mekaaninen teho, $W/m^2$ .



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tausta

Euroopassa on hyväksytty rakennusten energiatehokkuutta parantava direktiivi, jonka mukaan uusien rakennusten ja jo olemassa olevien rakennusten tulee olla vuoden 2020 loppuun mennessä lähes nollaenergiarakennuksia. Suomessa rakennusten rakentamista ja energiatehokkuutta ohjataan Ympäristöministeriön luomilla rakentamismääräyskoelmoilla, joilla pyritään saavuttamaan vuodelle 2020 asetettu tavoitetila. (Euroopan unionin virallinen lehti 2010)

Rakentamismääräykset uudistuvat ja vaatimukset rakennusten energiatehokkuuden parantamiseksi tiukentuvat. Merkitys uudisrakennusten sisäilman määräystenmukaisuudesta ja lämpöviihtyvyydestä korostuu. Uusia ratkaisuja ja ohjeita määräystenmukaisen sisäilman ja käyttäjän lämpöviihtyvyyden parantamiseksi on luotava. Rakentamismääräysten kiristymisen seurauksena rakennuksien kesäaikaisten lämpöolojen tarkasteluun tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota ja määräysten täytyminen rakennuksissa tulee osoittaa lämpötilasimuloinneilla. (Ympäristöministeriö 2011a; Ympäristöministeriö 2011b; Ympäristöministeriö 2011c.)

## 1.2 Tavoite ja tulokset

Tämä diplomityö toteutetaan Optiplan Oy:ssä yhteistyössä NCC Rakennus Oy:n kanssa. Työn päätarkoituksena on tarkastella case-kohteiden avulla eri suunnitteluratkaisujen vaikutusta asuinrakennuksen kesäajan lämpöoloihin ja ylläampötilojen hallintaan. Lisäksi työn tavoitteena on selvittää, millä eri keinoilla määräystenmukainen ja hyvä sisäilmasto on mahdollista toteuttaa asuinrakennuksessa. Työssä selvitetään myös eri suunnitteluvaiheissa tehtyjen päätösten vaikutusta asuinrakennuksen sisälämpötiloihin.

Päätuloksina työstä pyritään saamaan arvio eri ratkaisujen vaikutuksista asuinrakennuksen lämpöoloihin ja ylläampötilojen hallintaan. Ylläampötilojen hallintaan vaikuttavia sekä laadukkaan sisäilmaston mahdollistavia ratkaisuja voidaan käyttää suunnittelun ja muiden rakennushankkeeseen osallistuvien tukena rakennushankkeen aikana. Rakennushankkeen tueksi esitettyjä ratkaisuja voidaan käyttää Optiplan Oy:n suunnitteluohjeiden kehitystyössä ja NCC Rakennus Oy:n Asumisen koulu -materiaalin kehittämisesä.

### 1.3 Työn rajaus

Työssä pyritään löytämään erilaisia vaihtoehtoja asuinrakennuksen yllämpötilojen hallintaan sekä vertailemaan erilaisia ratkaisuja toisiinsa. Työssä tehtyjen tutkimusten perusteella esitetään ratkaisuja kesäaikaisten yllämpötilojen hallintaan, jotta yllämpötilat osataan ottaa huomioon suunnittelun eri vaiheissa ja niiden aiheuttamiin ongelmiin osataan puuttua. Työssä esitettyjen tuloksien avulla voidaan yllämpö ja asuinrakennuksen lämpöolot ottaa huomioon jo varhaisessa vaiheessa suunnittelun aikana mahdollistaen lämpöviihtyvyydeltään paremman lopputuotteen. Työn alussa tutustutaan rakennuksen sisäilmaston teoriaan sekä siihen, millaisia vaatimuksia hyvän sisäilmaston luomiseksi suunnittelijoille on asetettu. Tämän jälkeen tarkastellaan miten uudet rakentamismääräykset ovat tiukentuneet ja mitä seuraamuksia tiukentuneilla rakentamismääräyksillä on asuinrakennuksen lämpöoloihin. Rakentamismääräysten tarkastelun jälkeen selvitetään, miten yllämmön vaikutusta on mahdollista pienentää suunnittelun eri vaiheissa parantamalla suunnittelijoiden välistä vuorovaikutussuhdetta. Näiden jälkeen tarkastellaan erilaisia yllämpötilojen hallintaratkaisuja sekä tarkastellaan yllämpötilan hallintaratkaisujen vaikutuksia valittujen case-kohteiden lämpöoloihin ja lämpövihtyvyyteen.

Case-kohteiden avulla tarkastellaan esimerkiasuinkohteita ja tutkitaan valittujen yllämmönhallintaratkaisujen toimivuutta asuinrakennuksen yllämmön pienentämiseksi ja hyvän sisäilman varmistamiseksi. Esimerkkikohteita ja valittuja ratkaisuja simuloidaan IDA Indoor Climate and Energy 4.21 -ohjelmistolla. Tuloksia analysoitaessa tarkastellaan eri ratkaisujen vaikutuksia esimerkikohteiden lämpöoloihin sekä miten eri ratkaisut täyttävät vuonna 2012 voimaan tulleet määräykset.

## 2 SISÄILMASTO

### 2.1 Määritelmä

Rakennuksen sisäilmasto koostuu rakennuksen sisällä vaikuttavista ympäristötekijöistä, jotka vaikuttavat käyttäjien terveyteen ja viihtyvyyteen. Sisäilmastoon vaikuttavia fyysikaalisia suureita ovat sisäilman lämpötila ja kosteus, ilman liike, ääniolosuhteet, säteily ja valaistus sekä sisäilman epäpuhtaudet. (Sisäilmayhdistys 2008; Sosiaali- ja terveysministeriö 2003.)

Hyvä sisäilmasto lisää viihtyvyyttä, parantaa tehokkuutta sekä vähentää sairauksia. Hyvään sisäilmastoon vaikuttavat oikein suunniteltu ja hyvin toteutettu ilmanvaihto, rakennuksen sijainti ja sääolot, rakennustapa ja käytetyt rakennusmateriaalit sekä rakennuksen käyttö. (Sisäilmayhdistys 2008.)

Huono sisäilmasto aiheuttaa yleistä tyytymättömyyden tunnetta ja alentaa viihtyvyyttä rakennuksessa oleskellessa. Huono sisäilmasto on yleisesti havaittu ongelma ja sitä kutsutaan Sairas rakennus -ongelmaksi. Sairas rakennus -käsitettä on vaikea määrittää, koska ihmiset tuntevat sen erilailla. Osa kokee mittausten perusteella todetun hyvän sisäilmaston huonoksi. Huonon sisäilmaston aiheuttamia tavallisia oireita ovat silmien ärsytys, hengitysteiden ärsytys, äänen käheys, yskän ärsytys, hajun aistiminen, päänsärky ja väsymys. (Rakennustietosäätiö 1995.)

Sisäilmaston kokeminen hyväksi tai huonoksi on yksilöllistä ja se riippuu monesta eri tekijästä, kuten ihmisen iästä, terveydentilasta, altistumisajasta, herkistymisestä ja psykologisista tekijöistä. Näiden muuttujien vuoksi raja-arvoja sisäilmastoon vaikuttaville suureille on vaikea asettaa. (Rakennustietosäätiö 1995.)

### 2.2 Sisäilmastotavoitteet

Hyvä sisäilmasto on suunnittelun, rakentamisen ja kiinteistön ylläpidon keskeinen tavoite. Huoneistossa vallitsevien olosuhteiden hyvä laatu on tärkeää, sillä sisäilmasto vaikuttaa ihmisten terveyteen, viihtyvyyteen ja tehokkuuteen. Ihmiset oleskelevat yli 90 % ajastaan kodeissa, työpaikoilla, kouluissa ja harrastetiloissa, jolloin hyvän sisäilmaston merkitys korostuu. Hyvä sisäilmasto ja mahdollisuus itse vaikuttaa omiin olosuhteisiin lisää viihtyvyyttä ja vähentää oireilua. (Rakennustietosäätiö 2007.)

#### 2.2.1 Yleiset tavoitteet

Suomen rakentamismääräyskokoelman D2 mukaan rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan terveellinen, viihtyisä ja turvallinen

sisäilmasto kaikissa tavanomaisissa sääolosuhteissa ja käyttötilanteissa. Terveellinen ja viihtyisä rakennus tulee saavuttaa kohtuullisella energiankäytöllä. Energiankäytön minimointi rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseksi tulee saavuttaa sisäilmasto-olosuhteista tinkimättä. (Ympäristöministeriö 2011a; Ympäristöministeriö 2011b.)

Ilman liike, lämpösäteily, pintalämpötilat ja ilman hajut eivät saa aiheuttaa epäviihtyvyyttä, eikä sisäilmassa saa esiintyä haitallisia määriä terveydelle vaarallisia kaasuja, hiukkasia tai mikrobeja. Sisäilman kosteus ei saa tiivistyä rakenteisiin tai ilmanvaihtojärjestelmiin eikä niiden pinnoille. Kosteus on hallittava siten, ettei se ole haitallisen korkea ja aiheuta kosteusvaurioita, mikrobien tai pieneliöiden kasvua tai muuta terveydellistä haittaa. (Ympäristöministeriö 2011a.)

## 2.2.2 Lämpöolot

Lämpöolojen hallinta on yksi tärkeimmistä rakennuksen sisäilmaston suunnittelun tavoitteista. Lämpöolot muodostuvat ilman lämpötilasta, ilman liikenoudesta, kosteudesta sekä lämmönsiirrosta konvektiona ja säteilynä ihmisen, rakenteiden ja sisäilman välillä. (Rakennustietosäätiö 1995.)

Lämpöoloihin voidaan vaikuttaa jo suunnitteluvaiheessa valitsemalla rakennukseen oikeat talotekniset ratkaisut. Sisäisiä lämpökuormia vähentämällä, seinien ja rakenteiden oikealla lämmöneristyksellä ja ikkunoiden suuntauksella sekä aurinkosuojauksella voidaan hallita ja ylläpitää rakennuksen lämpöoloja siten, että rakennuksen lämpöviihtyvyys on hyvä. (Rakennustietosäätiö 1995.)

Elimistöä kuormittavat lämpöolot voivat aiheuttaa terveydellistä haittaa. Väärä huonelämpötila vaikuttaa merkittävästi työn tehokkuuteen ja se voi kuormittaa elimistöä kuten raskas työ. Korkean tai kylmän lämpötilan seurauksena aiheutuu erilaisia oireita ja epäviihtyvyyttä. Korkea huonelämpötila rakennuksissa aiheuttaa kuivuuden ja tunkkaisuuden tunnetta, lisää pölyisyyttä ja pintojen sähköisyyttä sekä aiheuttaa väsymystä. Kylmä huonelämpötila sen sijaan aiheuttaa vedon tuntemusta sekä sorminäppäryyden huononemista. (Rakennustietosäätiö 2007.)

Taulukossa 2.1 esitetään eri sisäilmastoluokkien mukaiset tavoitearvot sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaiset määräykset. Näiden ohjeiden ja määräysten avulla pyritään siihen, että rakennuksen oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto. Tarkemmin sisäilmastoluokitusta käsitellään kappaleessa 2.3. (Ympäristöministeriö 2011a.)



**Taulukko 2.1.** Asuinrakennuksen oleskeluvyöhykkeen tavoitearvot rakentamismääräyskokoelman D2 ja Sisäilmastoluokituksen 2008 mukaan (Rakennustietosäätiö 2008; Ympäristöministeriö 2011a).

	RMK D2	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila $t_{op}$ [°C]				
$t_u \leq 10$ °C	21 <sup>A</sup>	21,5 <sup>C</sup>	21,5	21
$10 < t_u \leq 20$ °C	-	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)^A$	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)$	$21 + 0,4 \times (t_u - 10)$
$t_u > 20$ °C	23 <sup>B</sup>	24,5 <sup>C</sup>	24,5	25
Sallittu poikkeama tavoitearvosta [°C]	$\pm 1,0$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]				
$t_u \leq 10$ °C	-	$t_{op} + 1,5$	$t_{op} + 1,5$	25
$10 < t_u \leq 15$ °C	-	$t_{op} + 1,5$	$23 + 0,4 \times (t_u - 10)$	25
$15 < t_u \leq 20$ °C	-	$t_{op} + 1,5$	$23 + 0,4 \times (t_u - 10)$	$t_{umax} + 5$
$t_u > 20$ °C	-	$t_{op} + 1,5$	27	$t_{umax} + 5$
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C]	-	20	20	18
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttöajasta]	-	$\geq 90$ %	$\geq 80$ %	-
Ilman liikenopeus (m/s)				
$t_{ilma} = 21$ °C	0,2	$< 0,14$	$< 0,17$	0,2 (talvi)
$t_{ilma} = 23$ °C	-	$< 0,16$	$< 0,20$	
$t_{ilma} = 25$ °C	-	$< 0,20$	$< 0,25$	0,3 (kesä)

(A) Oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvo

(B) Oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan kesäkauden suunnitteluarvo

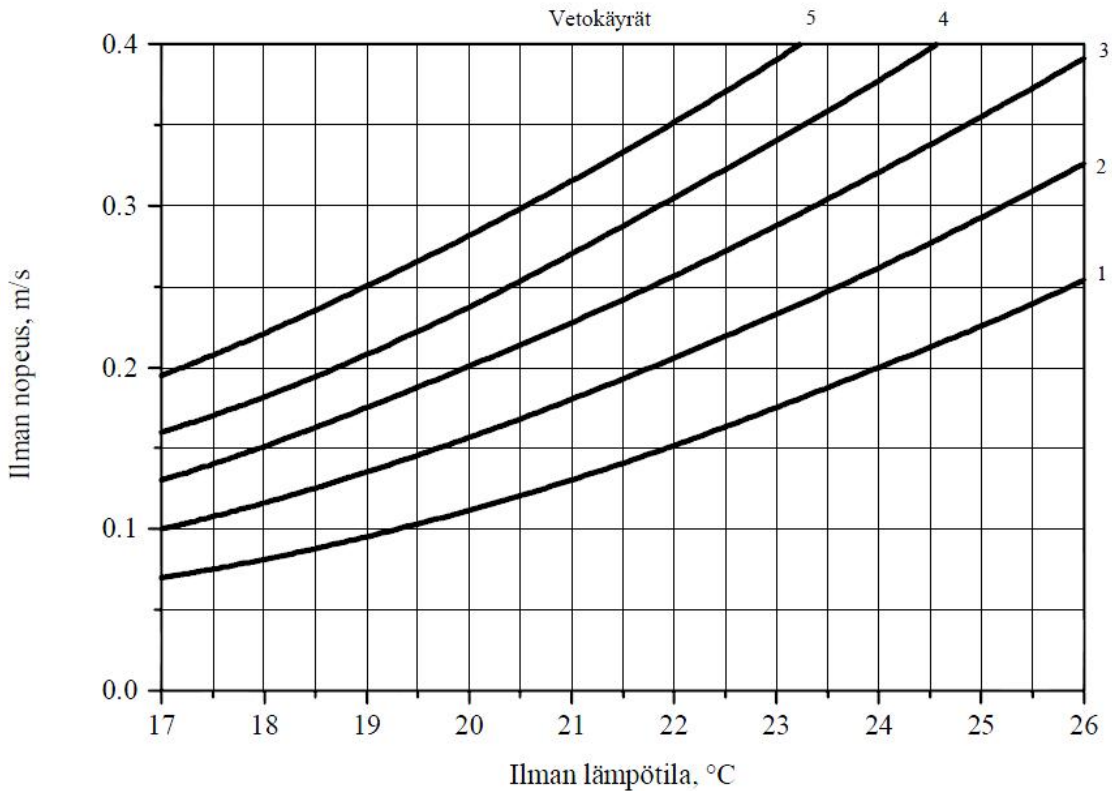
(C) S1-luokassa operatiivisen lämpötilan on oltava tila/huoneistokohtaisesti aseteltavissa välillä  $t_{op} \pm 1,5$  °C

Ulkolämpötilalla  $t_u$  tarkoitetaan ulkoilman 24 tunnin liukuvaa keskiarvoa

Ulkolämpötilalla  $t_{umax}$  tarkoitetaan ulkoilman viiden tunnin enimmäisjakson keskiarvoa

Lämpötilalla  $t_{ilma}$  tarkoitetaan liikkuvan ilman lämpötilaa tarkastelupisteessä

Operatiivisen lämpötilan sijasta voidaan usein tarkastella huonelämpötiloja, jos eri pintojen ja huoneiden lämpötila ei selvästi poikkea toisistaan. Lämpötilan tulee olla asetettujen tavoitearvojen ja annetun poikkeaman sekä määrätyn pysyvyyden sisällä rakennuksen suunnitellusta käyttöajasta. Lämpötilan yhden tunnin liukuva keskiarvo ei saa ylittää tai alittaa sille asetettuja enimmäis- tai vähimmäisarvoja mitoitussäässä. Tilan käyttäjän toivomuksesta voidaan lämpötilan antaa laskea tai nousta tavoitearvosta poiketen. Kuvassa 2.1 esitetään epäviihtyisyyttä aiheuttavan ilman nopeus eri huoneilman lämpötiloissa. (Sisäilmayhdistys 2008.)



**Kuva 2.1.** Ilman liikkeen ja lämpötilan vaikutus viihtyvyyteen (Ympäristöministeriö 2011a).

Asumisterveysohje määrittää asuinrakennusten oleskelutilojen ilman virtausnopeuden välttäväksi arvoksi vetokäyrän 3 mukaiset ilman nopeuden ja ilman lämpötilan suhteet. Vetokäyrän 3 ylittävät arvot aiheuttavat tilan käyttäjälle epäviihtyisyyden tunteen. Hyvän tason saavuttaminen edellyttää vetokäyrän 2 mukaisten arvojen täyttymistä. Kuvasta 2.1 voidaan huomata, mitä suurempi ilman lämpötila on, sitä suurempi ilman liikenopeus saa olla viihtyisyyden heikentymättä. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003; Ympäristöministeriö 2011a.)

### 2.2.3 Ilman laatu

Sisäilmassa on havaittavissa aina jossain määrin myös epäpuhtauksia. Ne ovat usein ihmisen kannalta harmittomia, mutta ne voivat olla myös haitallisia. Epäpuhtauksien määrä vaihtelee ajallisesti, määrällisesti ja paikallisesti, myös tilan käyttäjän toimilla on suuri vaikutus sisäilman laatuun. Ilman epäpuhtaudet ovat usein vaikeasti mitattavissa, koska ne ovat lyhytikäisiä. (Rakennustietosäätiö 1995.)

Sisäilmassa olevia yleisimpiä epäpuhtauksia ovat mikrobit, orgaaniset yhdisteet sekä pölyt ja hiukkaset. Kosteuden aiheuttamista homekasvustoista vapautuu mikrobeja sisäilmaan, joista voi seurata silmien, ihon ja hengitysteiden ärsytysoireita. Lisäksi joistakin rakennustarvikkeista ja -aineista voi erittyä ilmaan haitallisia orgaanisia yhdisteitä sekä hengitysilmaan suuria hiukkasia tai pölyä. (Rakennustietosäätiö 1995; Sosiaali- ja terveysministeriö 2003.)

Ilman laadulle asetettujen raja-arvojen käyttö taloteknisten järjestelmien suunnitteluperusteena on epävarmaa ja vaikeaa. Epäpuhtauspitoisuuksien raja-arvoja tulee käyttää silloin, kun tarkastellaan täyttääkö rakennuksen sisäilman laatu sille asetetut vaatimukset. (Rakennustietosäätiö 2007.)

## 2.3 Sisäilmastoluokitus

Sisäilmastoluokitusta käytetään rakennus- ja taloteknisen suunnittelun ja urakoinnin apuna entistä terveellisimpien ja viihtyisämpien rakennusten suunnittelun ja rakentamisen mahdollistamiseksi. Pääsääntöisesti sisäilmastoluokitus on luotu uudisrakentamiseen, mutta sitä voidaan käyttää soveltuvin osin myös korjausrakentamisessa. Sisäilmastoluokitus täydentää Suomen rakentamismääräyskokoelmia. Sisäilmastoluokitus tukee rakennusprojektiin osallistuvien työtä ja antaa sisäilmaston suunnittelu- ja tavoitearvot. Rakennushankkeen eri osapuolet pystyvät sisäilmastoluokituksen avulla sopimaan hyvän sisäilmaston tavoitteista sekä varmistamaan tavoitteiden toteutumisen valmiissa rakennuksessa. (Säteri 2008.)

Sisäilmastoluokituksessa on otettu huomioon ne suureet, joihin voidaan vaikuttaa suunnittelun ja rakentamisen keinoin ja jotka voidaan kohtuullisin kustannuksin todentaa valmiista rakennuksesta. Näin ollen tärkeimmiksi sisäilmaston suunnittelun kriteereiksi on valittu lämpötila, ilman liikenopeus, hiilidioksidipitoisuus ja radonpitoisuus. Lisäksi akustisen suunnittelun ja valaistuksen tavoitteet on otettu huomioon. (Säteri 2008.)

Sisäilmastoluokitus on jaettu kolmeen tasoon: laatuluokat S1, S2 ja S3. Luokka S1 on paras sisäilmaston luokitus, joka ilmaisee suurempaa tyytyväisten osuutta kuin luokat S2 ja S3. Tavoitteen asettaminen sisäilmastolle edesauttaa eri toimijoiden yhteistyötä ja vähentää viihtyvyyttä ja terveyttä vaarantavien riskien syntymistä. (Sisäilmastoluokitus 2008.)

Yksilöllinen sisäilmasto S1 tarkoittaa, että tilan sisäilman laatu on erinomainen eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Lämpöolot ovat viihtyisät eikä yllilämpöä tai vetoa esiinny. Tilan käyttäjän on mahdollista yksilöllisesti hallita lämpöoloja ja säätää valaistusta. Ääniosuhteet ovat hyvät ja tilan käyttötarkoituksen mukaiset. (Sisäilmastoluokitus 2008.)

Luokassa S2 sisäilman laatu on hyvä, eikä häiritseviä hajuja ole havaittavissa. Tiloissa tai rakenteissa ei ole ilmanlaatua heikentäviä tekijöitä. Kesäpäivinä yllilämpeneminen on mahdollista, mutta vetoa ei yleensä esiinny. Tiloissa on hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet. (Sisäilmastoluokitus 2008.)

Tyydyttävän sisäilmaston S3 luokassa täyttyy sisäilmastolle asetetut minimivaatimukset lämpöolojen, sisäilman laadun sekä ääniosuhteiden ja valaistuksen suhteen. Eri tiloille voidaan valita eri laatuluokan mukaisesti suureita ja tarvittaessa jokin suure voidaan määrittää tapauskohtaisesti siten, että vähimmäisvaatimukset täyttyvät. (Sisäilmastoluokitus 2008.)

Sisäilmaluokkien S1, S2 ja S3 lisäksi hyvän sisäilmaston varmistamiseksi on luotu ilmanvaihdon ja rakennustöiden puhtausluokitukset P1 ja P2, joilla varmistetaan tilojen puhtaus rakennusvaiheessa ja se, ettei sisäilmaan kulkeudu rakennusvaiheesta peräisin olevia epäpuhtauksia. Lisäksi rakennusmateriaalit on jaoteltu päästöluokituksilla M1, M2 ja M3. Rakennusmateriaalien päästöluokituksen perusteella on mahdollista päätellä rakennusmateriaaleista huoneilmaan vapautuvien kemikaalien määrä. (Sisäilmastoluokitus 2008.)

## **3 RAKENNUSTEN ENERGIATEHOKAS SUUNNITTELU**

### **3.1 Euroopan unionin vaatimukset**

Euroopan unionin alueella rakennukset kuluttavat 40 % kokonaisenergiankulutuksesta. Rakennuskanta tulee laajenemaan ja ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi energiankulutusta on vähennettävä ja uusiutuvien energialähteiden käyttöä lisättävä. Näiden toimenpiteiden edistämiseksi Euroopan parlamentti ja neuvosto on asettanut 19. toukokuuta 2010 direktiivin 2010/31/EU rakennusten energiatehokkuudesta. (Euroopan unionin virallinen lehti 2010.)

Asetetulla direktiivillä Euroopan unioni noudattaa Yhdistyneiden kansakuntien puitesopimukseen (UNFCCC) liitettyä Kioton pöytäkirjaa ja sitoumustaan säilyttää maailmanlaajuinen lämpötilan nousu alle 2 °C:ssa sekä sitoumustaan kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi 20 prosentilla vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä ja 30 prosentilla, jos saadaan aikaan kansainvälinen sopimus. Lisäksi Euroopan unionin tavoitteena on lisätä uusiutuvan energian osuutta siten, että vuonna 2020 uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian osuus on 20 prosenttia. (Euroopan unionin virallinen lehti 2010.)

Rakennusten energiatehokkuuden parantamiseksi luotavissa lisätoimenpiteissä on otettava huomioon paikalliset ilmasto-olosuhteet ja sisäilmasto-olosuhteet sekä kustannustehokkuus. Kuitenkaan nämä toimenpiteet eivät saa vaikuttaa rakennuksia koskeviin vaatimuksiin, kuten turvallisuuteen, suunniteltuun käyttötarkoitukseen tai rakennukseen pääsyyn. (Euroopan unionin virallinen lehti 2010.)

Rakennusten ja rakennusosien energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset kukin jäsenvaltio vahvistaa erikseen, kuitenkin yhdenmukaisesti, silloin kun se on aiheellista ja mahdollista. Vaatimuksissa tulee pyrkiä kustannusoptimaaliseen tasapainoon tarvittavien investointien ja rakennuksen investoitujen toimenpiteiden aikaansaamien säästettyjen energiakustannusten välillä. Asetettuja vähimmäisvaatimuksia tulee tarkistaa säännöllisesti tekniikan kehityksen perusteella. (Euroopan unionin virallinen lehti 2010.)

Energiatehokkuuslaskennassa on käytettävä menetelmiä, jotka ottavat huomioon lämpöominaisuuksien lisäksi lämmitys- ja ilmastointijärjestelmät, uusiutuvien energialähteiden käytön, passiiviset lämmitys- ja jäähdytysvaihtoehdot, sisäilmaston laadun, varjostukset ja riittävän luonnonvalon ja rakennuksen suunnittelun. Energiatehokkuuden laskentamenetelmien tulee perustua rakennuksen vuotuisen energiatehokkuuden laskentaan. (Euroopan unionin virallinen lehti 2010.)

Rakennusten jäähdytystarve on ollut voimakkaassa kasvussa Euroopan maissa. Tämä aiheuttaa sähkön huippukuormitukseen liittyviä ongelmia, mikä rasittaa energiata-  
setta ja aiheuttaa sähköenergian kustannuksien nousua. Rakennusten lämpökäyttätymisen ja yllämmön hallitsemiseksi on luotava strategia. Yllämpöä hallitsevia keinoja kuten passiivista auringonsuojausta, rakennusten termisiä ominaisuuksia ja passiivisia viilennystekniikoita on painotettava ja kehitettävä edelleen. Pääpaino asetetaan ratkaisuille, joilla voidaan parantaa sisäilmasto-olosuhteita ja rakennuksia ympäröivää mikroilmastoa. (Euroopan unionin virallinen lehti 2010.)

## 3.2 Suomen rakentamismääräykset

Suomessa rakennusten rakentamista ja energiatehokkuutta ohjataan Ympäristöministeriön luomilla rakentamismääräyskokoelmilla, joilla pyritään saavuttamaan Euroopan unionin asettama tavoitela rakennuksien energiakulutukselle vuoteen 2020 mennessä. Suomen ympäristöministeriön määräykset koskevat vain uudisrakentamista. Suomen rakentamismääräykset uudistuvat ja keskeisenä uudistuksena on siirtyminen kokonaisenergiatarkasteluun, jota käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.2.2. (Ympäristöministeriö 2011c.)

Rakentamismääräysten uudistuksilla Suomen rakennuskantaa ohjataan energian säästöön ja päästöjen vähentämiseen. Määräysten muutos tarkoittaa keskimäärin 20 % parannusta energiatehokkuuteen verrattuna vuonna 2010 voimaan tulleisiin määräyksiin. Määräysten mukainen energiatehokas rakentaminen lisää rakennusvaiheen investointeja, mutta hillitsee asumiskustannusten nousua energian hinnan noustessa. (Ympäristöministeriö 2011c.)

### 3.2.1 Yleiset vaatimukset

Suomen rakentamismääräyskokoelmat asettavat rakennuksille minimivaatimukset, jotka niiden on täytettävä. Rakentamismääräykset koskevat uusia rakennuksia, joissa käytetään lämmitystä ja mahdollisesti myös jäähdytystä hyvän sisäilmaston luomiseksi. Määräysten mukainen rakennus on suunniteltava ja rakennettava kokonaisuutena siten, että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto kaikissa tavanomaisissa sääoloissa. Kunkin suunnittelualan vastaava henkilö huolehtii osaltaan siitä, että suunnitelmat vastaavat asetettuja tavoitteita. Pääsuunnittelija vastaa siitä, että suunnitelmien muodostama kokonaisuus on rakentamismääräysten mukainen. (Ympäristöministeriö 2011a.)

Suomessa rakennuksien lämpöhäviöille asetettujen vaatimuksien täytyminen osoitetaan tasauslaskennalla. Tasauslaskelmassa rakennuksen määräysten mukaisuus varmistetaan vertaamalla rakennuksen ominaisuuksia rakentamismääräyskokoelman asettamiin vertailuarvoihin. Tasauslaskelma ottaa huomioon rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon lämpöhäviöt. Rakennuksen lämpöhäviöille asetetut vaatimukset täytetään, kun tasauslaskelmalla osoitetaan, että rakennuksen eri osien yhteenlaskettu lämpöhäviö on enintään vertailuarvoilla lasketun lämpöhäviön suuruinen. Taulukoissa 3.1 ja 3.2 on

esitetty rakennuksille asetettujen eri ominaisuuksien vertailuarvoja sekä suurimmat sallitut arvot. (Ympäristöministeriö 2010.)

**Taulukko 3.1.** Asuinrakennuksen rakennusosien lämmönläpäisykertoimien vertailu- ja enimmäisarvot rakentamismääräyskokoelman D3 mukaan (Ympäristöministeriö 2011b).

Rakenneosia	Vertailuarvo	Enimmäisarvo
Seinä	0,17 W/m <sup>2</sup> K	0,60 W/m <sup>2</sup> K
Yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09 W/m <sup>2</sup> K	0,60 W/m <sup>2</sup> K
Ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,17 W/m <sup>2</sup> K	0,60 W/m <sup>2</sup> K
Maanvastainen rakennusosa	0,16 W/m <sup>2</sup> K	0,60 W/m <sup>2</sup> K
Ikkuna, kattoikkuna, ovi, kattovalokupu, savunpoisto- ja uloskäyntiluukku	1,0 W/m <sup>2</sup> K	1,8 W/m <sup>2</sup> K
Ulko-ovet	1,0 W/m <sup>2</sup> K	-

Rakennuksen eri ominaisuuksien arvot saavat ylittää taulukoissa 3.1. ja 3.2. esitetyt vertailuarvot, muttei enimmäisarvoa siten, että rakennuksen yhteenlasketut lämpöhäviöt ovat määräysten mukaiset. Lämpöhäviöiden jousto ohjaa kokonaisvaltaisempaan suunnitteluun, jolla aikaansaadaan kustannuksiltaan energiatehokas rakennus. (Ympäristöministeriö 2010.)

**Taulukko 3.2.** Rakennusten eri ominaisuuksien vertailu- ja enimmäisarvoja rakentamismääräyskokoelman D3 mukaan (Ympäristöministeriö 2011b).

Ominaisuus		Vertailuarvo	Enimmäisarvo
Ilmanvuotoluku	$q_{50}$	2 (m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> ))	4 (m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> ))
Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	$\eta_{LTO}$	45 %	-
Ilmanvaihdon ominaissähkötehokkuus		-	2 kW/m <sup>3</sup> /s
Rakennuksen yhteenlasketun ikkunapinta-alan suhde julkisivunpinta-alasta <sup>A</sup>	$A_{ikkuna}/A_{julkisivu}$	15 %	50 %

(A) kokonaan tai osittain maanpäällisten kerroksien seinäalat

### 3.2.2 Kokonaisenergiatarkastelu

Heinäkuun 1. päivänä 2012 voimaan tulleet rakentamismääräykset ja tiukentuneet energiatehokkuuden vaatimukset ovat johtaneet rakennuksen kokonaisenergian tarkasteluun E-luvun avulla. Kokonaisenergiankulutus E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus lämmitettyä nettoalaa kohden rakennustyypin standardikäytöllä laskettuna. E-luku saadaan ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulojen summana. Energiamuotojen kertoimia käytetään ainoastaan ostoenergianlaskennassa ja kaikki uusiutuva omavaraisenergia lasketaan ostoenergiaa vähentäväksi energiaksi. Uusiutuvaksi omavaraisenergiaksi lasketaan paikallisista uusiutuvista energialähteistä tuotettua energiaa kuten tuulienergia, aurinkopaneelien ja

-keräimien tuottama energia sekä lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia. Taulukossa 3.3 on esitetty E-luvun laskennassa käytettävien eri energiamuotojen kertoimet. (Ympäristöministeriö 2011b.)

**Taulukko 3.3.** E-lukulaskennan ostoenergian energiamuotojen kertoimet (Ympäristöministeriö 2011b).

Energiamuoto	Kerroin
Sähkö	1,7
Kaukolämpö	0,7
Kaukojäähdytys	0,4
Fossiiliset polttoaineet	1,0
Rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5

Energiamuodon kerroin ottaa huomioon rakennuksen energiankulutuksen vaikutuksen luonnonvaroihin rakennuksen koko elinkaaren aikana. Kertoimet ohjaavat uusiutuvien energialähteiden käytöllä kohti energiatehokasta rakentamista ja kestäväää luonnonvarojen käyttöä. (Kalliomäki 2011.) Kaavassa (3.1) on esitetty E-luvun laskentakaava, jossa muuttuja  $f$  on energiamuodon kerroin,  $Q$  on käytetyn energian määrä,  $W$  käytetyn sähkönenergian määrä ja  $A_{\text{netto}}$  on rakennuksen nettopinta-ala. Taulukossa 3.4 esitetään uudisrakennuksen E-luvun enimmäisarvot.

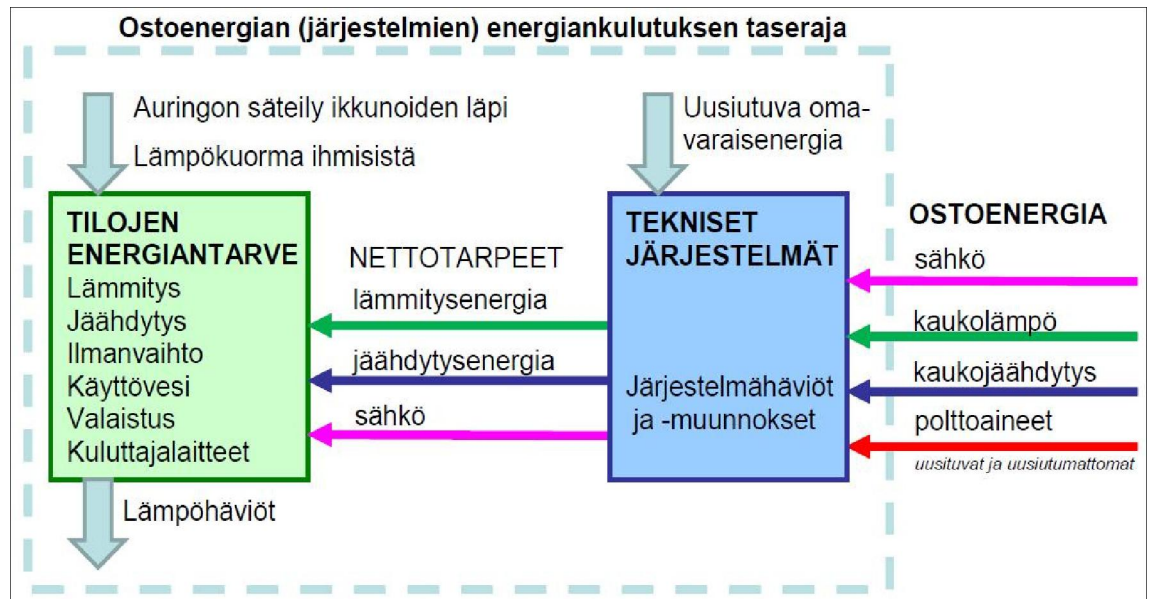
$$E = (f_{\text{kaukolämpö}} Q_{\text{netto,kaukolämpö}} + f_{\text{kaukojäähdytys}} Q_{\text{netto,kaukojäähdytys}} + \sum f_{\text{polttoaine}} Q_{\text{polttoaine}} + f_{\text{sähkö}} W_{\text{netto,verkkosähkö}}) / A_{\text{netto}} \quad (3.1)$$

**Taulukko 3.4.** Uudisrakennuksen E-luvun enimmäisarvot (Ympäristöministeriö 2011b).

Luokka	Lämmitetty nettoala	E-luku, kWh/m <sup>2</sup> ,a
Pientalo	< 120 m <sup>2</sup>	204
	120 m <sup>2</sup> ≤ A <sub>netto</sub> ≤ 150 m <sup>2</sup>	372 - 1,4 · A <sub>netto</sub>
	150 m <sup>2</sup> ≤ A <sub>netto</sub> ≤ 600 m <sup>2</sup>	173 - 0,07 · A <sub>netto</sub>
	> 600 m <sup>2</sup>	130
Rivi- ja ketjutalo	-	150
Asuinkerrostalo	-	130

Taulukossa 3.4 annetut E-luvut ovat enimmäisarvoja, joita rakennus ei saa ylittää. Rakennus voidaan jakaa eri käyttötarkoituseroissa eri osiin, eri osien on täytettävä niille asetettujen käyttötarkoituseroissa määräykset. Alle 10 % suuruinen tila lämmitetystä nettoalasta voidaan laskea muihin aloihin kuuluvana. Kuvassa 3.1. esitetään kokonaisenergiälaskennan eri osatekijät sekä taseraja, jossa ostoenergia sisältää sähköenergian, kaukolämmön ja -jäähdytyksen sekä uusiutuvat ja uusiutumattomat polttoaineet. (Ympäristöministeriö 2011b.)





**Kuva 3.1.** Ostoenergiankulutuksen taseraja (Ympäristöministeriö 2011b).

Rakennuksen ostoenergiankulutus koostuu lämmitys-, jäähdytys-, ilmanvaihtojärjestelmien sekä apulaitteiden, kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutuksesta. Energiankulutukset eritellään energiamuodoittain ja siitä vähennetään uusiutuvan omavaraisenergian osuus. (Ympäristöministeriö 2011b.)

Rakennuksessa käytettävä jäähdytysenergia, on se energiamäärä, jota rakennukseen on tuotava lämmitykseen hyödyntämättömän lämpöenergian poistamiseksi. Näin mahdollistetaan määräystenmukainen sisälämpötila. Mikäli rakennus varustetaan jäähdytysjärjestelmällä määräystenmukaisten sisälämpötilojen luomiseksi, lasketaan jäähdytysenergiankulutus jäähdytysenergian tarpeen sekä jäähdytysjärjestelmän hyötysuhteen avulla. Rakennukseen tuotu jäähdytysenergia lisää ostoenergian tarvetta riippuen valitusta jäähdytysratkaisusta, joko lisääntyvänä kaukojäähdytyksen tarpeena tai jäähdytysjärjestelmän kylmäkertoimen perusteella määritettynä sähkönkulutuksena. Lisääntynyt ostoenergian tarve kasvattaa kaavan (3.1) mukaisesti laskettua rakennuksen E-lukua. (Ympäristöministeriö 2007.)

### 3.3 Talotekniset suunnittelukriteerit

#### 3.3.1 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä

Rakennusmääräyskokoelman D2 mukaan oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan suunnitteluarvona käytetään lämmityskaudella 21 °C ja kesäkauden suunnitteluarvona 23 °C. Rakentamismääräykset sallivat lämmityskaudella  $\pm 1$  asteen poikkeaman oleskeluvyöhykkeen lämpötilassa huoneen keskeltä 1,1 m:n korkeudelta mitattuna. Taulukossa 3.5 on esitetty lämmityskauden huonelämpötilan suunnittelun ohjearvot tiloille, joiden suunnitteluarvo poikkeaa yllämainitusta. (Ympäristöministeriö 2011a.)

**Taulukko 3.5.** Lämmityskauden huonelämpötilan ohjearvot (Ympäristöministeriö 2011a).

Tila	Huonelämpötila, °C
Porrashuone, hissikuilu	17
Kylpyhuone, pesuhuone	22
Kuivaushuone	24

Rakennuksen lämmitysjärjestelmän mitoitus tehdään rakennuspaikan maantieteellisen sijainnin perusteella. Suomi on jaettu neljään säävyöhykkeeseen, joille on erikseen määritetty mitoitusulkolämpötilat. Säävyöhykeperusteiset lämmitystehon mitoitusulkolämpötilojen arvot on esitetty taulukossa 3.6. (Ympäristöministeriö 2011b.)

**Taulukko 3.6.** Mitoittavat ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä (Ympäristöministeriö 2011b).

Säävyöhyke	Mitoittava ulkolämpötila, °C
I Ahvenanmaa, Itä-Uusimaa, Satakunta, Uusimaa, Varsinais-Suomi	-26
II Etelä-Karjala, Etelä-Pohjanmaa, Etelä-Savo, Kanta-Häme, Keski-Pohjanmaa, Kymenlaakso, Pirkanmaa, Pohjanmaa, Päijät-Häme	-29
III Kainuu, Keski-Suomi, Pohjois-Karjala, Pohjois-Pohjanmaa, Pohjois-Savo	-32
IV Lappi	-38

Vuorokauden ulkoilman lämpötilan viiden tunnin keskiarvon ollessa korkeampi kuin 20 °C voivat huonelämpötilan arvot ylittää tämän arvon korkeintaan 5 °C. Lämpöolojen suunnittelun kesäkauden mitoittavina säätietoina voidaan käyttää Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 liitteen 2 testivuotta tai kesäkauden mitoittavana ulkoilman lämpötilana 25 °C ja ulkoilman entalpiana Lapin läänissä 50 kJ/kg ja muualla Suomessa 55 kJ/kg. Lisäksi Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 mukaan tilojen haitallisen lämpenemisen estämiseksi kesäajan huonelämpötila ei saa ylittää taulukon 3.7 mukaisia jäähdytysrajan arvoja enempää kuin 150 astetuntia 1. kesäkuuta ja 31. elokuuta välisenä aikana. (Ympäristöministeriö 2011a; Ympäristöministeriö 2011b.)

**Taulukko 3.7.** Huonelämpötilan asetusarvot (Ympäristöministeriö 2011b).

Luokka	Lämmitysraja	Jäähdytysraja
Pientalo	21	27
Rivi- ja ketjutalo	21	27
Asuinkerrostalo	21	27

Kesäajan huonelämpötilojen laskenta tehdään asuinkerrostaloille rakentamismääräyskokoelman D3 liitteen 2 ensimmäisen säävyöhykkeen säätiedoilla, rakennukselle

suunnitelluilla ilmamäärillä sekä taulukon 3.8 mukaisilla sisäisillä lämpökuormilla laskettuna. Henkilöiden lämpökuormien laskennassa voidaan käyttää henkilö pohjaista mitoitusta  $W/m^2$  tai vaihtoehtoisesti henkilötiheyteen perustuvaa mitoitusta, joiden arvot on esitetty taulukossa 3.8. Pien-, rivi- ja ketjutaloille kesäajan huonelämpötila laskentaa ei tarvitse tehdä. (Ympäristöministeriö 2011b.)

**Taulukko 3.8.** Rakennusten standardikäyttöä vastaavat sisäiset lämpökuormat lämmitettyä nettoalaa kohti (Ympäristöministeriö 2011b).

Luokka	Kellon-aika	Käyttö-aika	Käyttö-aste	Valaistus	Kulut-taja-laitteet	Ihmiset	Henkilö-tiheys
			-	$W/m^2$	$W/m^2$	$W/m^2$	$h\ddot{o}/m^2$
Pientalo	00:00-24:00	100 %	0,6	8 <sup>A</sup>	3	2	1/43
Rivi- ja ketjutalo	00:00-24:00	100 %	0,6	8 <sup>A</sup>	3	2	1/43
Asuinkerrostalo	00:00-24:00	100 %	0,6	11 <sup>A</sup>	4	3	1/28

(A) Ohjearvo ellei tarkempaa arvoa ole käytettävissä, valaistuksen käyttöaste on 0,1

Kesäajan huonelämpötilan määräystenmukaisuus on osoitettava tilatyypeittäin. Kesäajan huonelämpötilan lämpötilalaskennat tehdään tiloille, joihin kohdistuu eniten lämpökuormia. Näitä ovat esimerkiksi pienet asunnot, etelä- tai länsijulkisivujen tilat, kokoonsa verraten suurilla ikkunapinnoilla varustetut tilat tai tilat, joissa on suuret sisäiset kuormat. Tilojen ylälämpenemisen estämiseksi käytetään ensisijaisesti ilmanvaihdon tehostusta sekä rakenteellisia ja muita passiivisia keinoja. (Ympäristöministeriö 2011b.)

### 3.3.2 Ilmanvaihto

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan terveellisen, turvallisen ja viihtyisän sisäilmaston luomiseksi ulkoilmavirran tulee olla vähintään  $0,35 (dm^3/s)/m^2$ . Tämä vastaa ilmanvaihtokerrointa 0,5 1/h tilassa, jonka vapaa korkeus on 2,5 m. Rakennuksen ilmavirtoja on voitava ohjata ilman laadun ja kuormituksen mukaan käyttötilannetta vastaavasti. Asuinrakennuksissa ilmanvaihdon ohjaus suunnitellaan ja toteutetaan niin, että tehostettu ilmavirta on vähintään 30 % suurempi kuin käyttöajan ilmavirta. Ilmanvaihdon tehostus toteutetaan yleensä vähintään käyttämällä liesikuvun tehostetua ilmavirtaa taulukon 3.9 ohjearvon mukaisesti. Lisäksi taulukossa 3.9 on esitetty asuinrakennuksen muiden tilojen ilmanvaihdon mitoituksen ohjearvoja. (Ympäristöministeriö 2011a.)

**Taulukko 3.9.** Asuinrakennuksen ilmavirtojen ja ilman liikkeen ohjearvoja (Ympäristöministeriö 2011a).

Tila	Ulkoilmavirta		Poistoilmavirta	Ilman nopeus
	(dm <sup>3</sup> /s)/hlö	(dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	dm <sup>3</sup> /s	m/s
Asuinhuoneet	6	0,5		0,2
Keittiö			8 <sup>B</sup>	0,2
-käyttöajan tehostus			25	
Vaatehuone		A	3	0,2
Varasto		A	3	0,2
Kylpyhuone		A	10 <sup>C</sup>	0,2
-käyttöajan tehostus			15	0,2
WC		A	7 <sup>C</sup>	
-käyttöajan tehostus			10	
Kodinhuoltohuone		A	8	0,3
-käyttöajan tehostus			15	0,3
Sauna		2 <sup>D</sup>	2/m <sup>2</sup> <sup>D</sup>	

(A) ulkoilmavirta korvataan yleensä siirtoilmavirralla

(B) ohjearvo, kun ilmavirran tehostusta voidaan ohjata, muussa tapauksessa 20 dm<sup>3</sup>/s

(C) ohjearvo, kun ilmavirran tehostusta voidaan ohjata, muussa tapauksessa käyttöajan tehostuksen mukainen

(D) Kuitenkin vähintään 6 dm<sup>3</sup>/s. Saunan ilmavirtaa ei oteta huomioon asunnon ilmanvaihtokertoimen laskennassa, jos saunan tulo- ja poistoilmamäärät ovat yhtä suuret

Keskitetyn ilmanvaihdon rakennuksissa, joissa ilmanvaihto on asuntokohtaisesti ohjattavissa, voidaan ilmanvaihtojärjestelmä suunnitella siten, että ilmavirtoja voidaan ohjata myös taulukon 3.9 ohjearvoja pienemmiksi. Ilmanvaihtoa voidaan pienentää enintään 60 % käyttöajan ilmavirrasta, kun asuinrakennuksessa ei oleskella tai ilmanvaihdolle ei ole tarvetta esimerkiksi kosteuden hallitsemiseksi. Siirtoilmailmana voidaan käyttää vain ilmanpuhtaudeltaan samanarvoisten tai puhtaampien tilojen ilmaa, kun siirtoilma ei sisällä haitallisia määriä epäpuhtauksia. Taulukossa 3.10 on esitetty asuinrakennuksen yhteistilojen ilmanvaihdon suunnittelun ohjearvot. (Ympäristöministeriö 2011a.)

**Taulukko 3.10.** Asuinrakennuksen yhteistilojen ilmapvirtojen ja ilman liikkeen ohjearvoja (Ympäristöministeriö 2011a).

Tila	Ulkoilmavirta (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	Poistoilmavirta (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	ilman nopeus m/s
Porrashuone	0,5 1/h	0,5 1/h	
Varastot	0,35	0,35	
Kylmäkellari	0,2	0,2	
Pukuhuone	2	2	0,2
Pesuhuone	3	3	0,2
Saunan löylyhuone	2	2	
Talopesula	1	1	
Kuivaushuone	2 <sup>A</sup>	2 <sup>A</sup>	
Askarteluhuone	1 <sup>B</sup>	1 <sup>B</sup>	0,2
Kerho huone	1 <sup>B</sup>	1 <sup>B</sup>	0,2

(A) Voidaan mitoittaa pienemmäksi, kun käytetään ilmankuivainta

(B) Edellyttää tuuletusmahdollisuutta; muuten 1,5 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup>

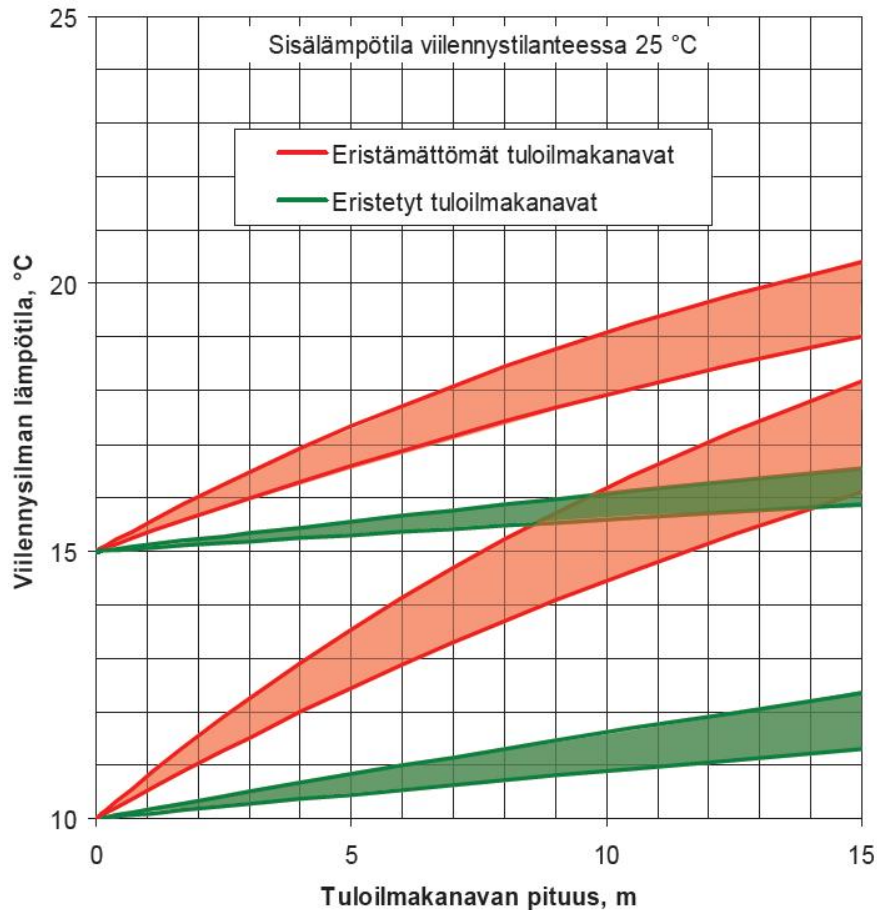
Taulukoiden 3.9 ja 3.10 mukaisten ohjearvojen perusteella mitoitetaan rakennusten ilmapvirrat siten, että ulkoilmavirta on ohjearvon mukainen ja huoneiston ilmanvaihtokerroin vähintään 0,5 1/h. Ilmanvaihdon mitoitusperusteena käytetään ensisijaisesti henkilöperusteista mitoitusta. Jos henkilöperusteiselle mitoitukselle ei ole riittävästi perusteita, käytetään pinta-alaan perustuvaa mitoitusta. Jos ilmanvaihto on ohjattavissa laitekohtaisesti, voidaan ilmanvaihdon tehostuksen aikainen ilman liikenoisuuden ohjearvo ylittää 0,1 m/s. (Ympäristöministeriö 2011a.)

Pienten asuntojen poistoilmavirrat voidaan mitoittaa ohjearvoja pienemmiksi silloin, kun huoneiston käyttöajan ilmanvaihtokerroin on enintään 0,7 1/h ja poistoilmavirtoja voidaan ohjata tila- tai asuntokohtaisesti. Jos poistoilmavirtojen ohjaus on mahdollinen vain rakennuskohtaisesti, voidaan pienten asuntojen poistoilmavirrat mitoittaa ohjearvoja pienemmiksi, kun huoneistojen ilmanvaihtokerroin on vähintään 1,0 1/h. Suurten asuinrakennusten poistoilmavirrat voidaan mitoittaa ohjearvoja suuremmiksi, jotta ulkoilmavirrat ovat ohjearvojen mukaiset ja huoneistojen ilmanvaihtokertoimet vähintään 0,5 1/h. (Ympäristöministeriö 2011a.)

Hyvin suunniteltu ilmanvaihto tulisi olla 4-portainen, jolloin ilmamäärät voidaan tarpeen mukaan asettaa poissaolo, kesä- ja talvitilanne ja tehostus tasoille. Ilmanvaihdon säädettävyys mahdollistaa hyvän sisäilmaston laadun mahdollisimman energiatehokkaasti. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2009.)

Ilmanvaihtokanavien asennus ja eristys on toteutettava siten, että ilmanvaihtokanavista tulee mahdollisimman lyhyet ja lämpöhäviöt minimoituvat. Ilmanvaihtokanavien lämpöhäviöt aiheuttavat ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenoton hyötysuhteen heikkenemistä sekä ylimääräistä lämmitys- ja jäähdytystarvetta. Tuloilmakanavien hyvä lämmöneristys vaikuttaa tuloilman mukana siirtyvään viilennystehoon, jolloin tuloilma

siirtyä hallitusti huoneisiin, eikä lämpene merkittävästi. Eristämättömässä tuloilmakanavassa huonetilaan siirtyvä viilennysteho voi heikentyä jopa 40 %, riippuen tuloilman lämpötilasta ja huonelämpötilasta. Kuvassa 3.2 esitetään tuloilmakanavan lämmöneristyksen ja pituuden vaikutus tuloilman lämpenemiseen tuloilman lämpötiloilla 10 ja 15 astetta. (Saari & Laine 2009.)



**Kuva 3.2.** Tuloilmakanavan lämmöneristyksen ja pituuden vaikutus ilmanvaihtokoneelta lähtevän tuloilman lämpenemiseen kanavassa tuloilman lämpötiloilla 10 °C ja 15 °C (Saari & Laine 2009).

Kuvassa 3.2 tarkastellun tuloilmakanavan eristeen lämmönjohtavuus on 0,04 W/mK ja käytetyt eristepaksuudet ovat vihreän alueen yläreunassa 19 mm ja alareunassa 50 mm. Kuvassa 3.2 esitetty tuloilman lämpeneminen on tarkasteltu tehostetuilla ilmamäärillä. (Saari & Laine 2009.)

## 3.4 Suunnittelijoiden välinen yhteistyö rakennushakkeessa

### 3.4.1 Hankesuunnittelu

Hankesuunnitteluvaiheessa suunnittelijoiden ja tilaajan tärkein tehtävä on asettaa yhteiset tavoitteet, joissa sovitaan, minkälainen ja minkä kokoinen rakennus rakennetaan.

Onnistunut ja kaikkia osapuolia tyydyttävä lopputulos edellyttää kokonaisvaltaista energiatehokkuus- ja laatuajattelua, johon kaikkien osapuolten tulee sitoutua. Eri osapuolten tehtävät ja vastuut sekä yleiset toimintatavat tulee selvästi määrittellä. Hyvä rakennuksen laatu syntyy laadukkaalla suunnittelu ja toteutusprosessilla, jossa on käytössä riittävät resurssit henkilöstön, osaamisen ja rahoituksen osalta. (Rakennustietosäätiö 2004; Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2009.)

Rakennushankkeen lopputuloksen laadusta vastaa lain ja määräysten mukaan rakennushankkeeseen ryhtyvä eli rakennuttaja. Rakennuttajan tulee luoda puitteet hyvälle lopputulokselle varaamalla riittävästi resursseja suunnitteluun ja toteutukseen sekä ohjaamalla hanketta oikeaan suuntaan. Rakennuttaja, pääsuunnittelija ja muut suunnittelu- alat yhdessä luovat tiiviissä yhteistyössä energiatehokkaan kokonaisuuden. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2009.)

Rakennushankkeen pääsuunnittelijan tulee huolehtia rakennushankkeen suunnitelmien riittävästä laadusta ja laajuudesta siten, että suunnitelmilla pystytään osoittamaan rakentamiselle asetettujen vaatimuksien täyttyminen. Lisäksi pääsuunnittelijan tulee huolehtia eri suunnittelualojen riittävästä yhteistyöstä ja varmistaa, että kaikilla hankkeen suunnittelijoilla on tieto siitä, mikä on heidän vastualueensa. (Ympäristöministeriö 2002.)

Suunnitteluryhmä koostuu arkkitehteistä sekä rakenne-, LVI-, sähkö- ja muista erikoissuunnittelijoista. Energiatehokkaan rakentamisen toteuttamiseksi arkkitehdin tulee suunnittelutyössään ottaa huomioon rakennuksen sijainti, kokonaisuus ja muunneltavuus, tilasuunnittelu, julkisivuratkaisut sekä passiiviset energiansäästöratkaisut. Rakennus suunnittelija tukee arkkitehtiä kokonaisuuden rakenneteknisten ratkaisujen määrittelyssä ja varmistaa rakennesuunnitelmillaan rakennuksen staattisesti, rakennusfysikaalisesti ja energiatehokkaasti oikein toimivat rakenteet. LVI-suunnittelija varmistaa taloteknisten järjestelmien energiatehokkailla ratkaisuilla tavoitteiden mukaisen sisäilman ja energiatehokkuuden. Sähkösuunnittelija tuottaa omalta osaltaan energiatehokkaat ratkaisut. Muut erikoissuunnittelijat osallistuvat ja tukevat toimintaa hankekohtaisesti erikseen sovituilla tavoilla. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2009.)

### **3.4.2 Luonnossuunnittelu**

Luonnossuunnitteluvaiheessa alustavien suunnitelmien eri ratkaisuvaihtoehtoja vertailemalla valitaan tavoitteiden mukainen energiatehokas ja elinkaarikustannuksiltaan optimaalinen ratkaisu. Hanke ja luonnosvaiheiden suunnitteluratkaisut voivat edetä iteratiivisesti rakennushankkeen alkuvaiheessa ja lopulliset valinnat tehdään yhdessä suunnitteluryhmän, rakennuttajan ja tilaajan toimesta. Eri suunnittelu- alat selvittävät tavoitteiden mukaisten ratkaisujen kustannukset, jotta hankkeen kokonaiskustannuksiin osataan varautua mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. (Rakennustietosäätiö 2004; Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2009.)

Rakennussuunnittelun ratkaisuilla voidaan vaikuttaa rakennuksien tuleviin sisäilmasto-olosuhteisiin. Hyvillä auringonsuojaratkaisuilla vähennetään ulkoisia lämpökuormia ja ne luovat edellytykset kesäaikaisten lämpötilojen hallinnalle. Huonetiloihin

valitaan helposti avattavat isokokoiset tuuletusikkunat, jotta kesäaikana on mahdollista toteuttaa rakennuksen asuintiloihin jatkuva läpivirtaus lämpötilojen hallitsemiseksi. (Rakennustietosäätiö 2004.)

Rakennesuunnittelun alustavat rakennusfysikaaliset tarkastelut tehdään ja rakennustontin sijainti tarkistetaan. Keskeisten rakenneratkaisujen, kuten alapohjan, yläpohjan, julkisivujen, vesikaton ja perustuksien tarkoituksenmukaisuus tarkistetaan ja esitetään mahdolliset vaihtoehtoiset ratkaisut. (Rakennustietosäätiö 2004.)

Talotekninen suunnittelu arvioi rakennuspaikan ulkoilman laadun ja siitä mahdollisesti aiheutuvia raitisilman puhdistuksen tarpeen. Huonelämpötilojen hallinta huomioidaan ja tähän liittyen tarkennetaan ikkunakoot, lasituksen tekniset ominaisuudet, mahdollisen aurinkosuojauksen toteutustapa ja LVI-tekniikan periaateratkaisut. Lisäksi talotekninen suunnittelu tekee alustavat lämpötilasimuloinnit alustavien ratkaisujen mukaisilla hyväksytyillä reunaehdoilla. (Rakennustietosäätiö 2004.)

### **3.4.3 Toteutussuunnittelu**

Toteutussuunnitteluvaiheessa tarkennetaan luonnossuunnitteluvaiheen tekniset ja toiminnalliset järjestelmät ja laaditaan lopulliset arkkitehti-, rakenne- ja talotekniikkasuunnitelmat sekä luodaan rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeen runko. Suunnittelijoiden tulee varmistaa, että tavoitteiden mukainen energiatehokas rakennus ominisarvoineen saavutetaan. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2009.)

Valitut sisäilmastotavoitteet tarkastetaan ja rakennuksen tilojen ja rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen suunnittelu tarkastetaan. Tarpeen mukaan toteutussuunnitteluvaiheen aikana voidaan muuttaa tavoitteita. Toteutussuunnitteluvaiheen jälkeiset tehdyt muutostyöt ovat usein suuritöisiä ja kustannuksiltaan suuria, koska rakennustyöt ovat jo alkaneet. (Rakennustietosäätiö 2004.)

Taloteknisen suunnittelun tavoitearvoilla varmistetaan, että suunnitelluilla ratkaisuilla lämpöolot ovat viihtyisät. Asuinhuoneissa ei esiinny kesällä liian suuria lämpötiloja, eikä talvella liian alhaisia lämpötiloja ja vetoa. Ihmisten yksilölliset erot ja tottumukset otetaan huomioon varustamalla asuinrakennuksen huoneet lämpötilan säätömahdollisuudella ja avattavilla ikkunoilla. Lämpöolojen kohotessa määräysten ja ohjeiden mukaisesti suuriksi, varustetaan huoneistot jäähdytyslaitteistoilla lämpöolojen hallitsemiseksi. Jäähdytysjärjestelmien suunnittelussa on huomioitava jäähdytinlaitteiden aiheuttamat ilmanvirtaukset lämpöviihtyvyyden varmistamiseksi. (Rakennustietosäätiö 2004.)

### **3.4.4 Rakentamisvaihe**

Rakentamisvaiheessa eri suunnittelualojen suunnitelmat toteutetaan ja työn laatu varmistetaan rakennuttajan, rakennusurakoitsijoiden ja tuotetoimittajien laadunvarmistusmenettelyä noudattaen. Vaihtoehtoisia ratkaisuja voidaan käyttää, kun varmistetaan, että energiatehokkuustavoitteet ja elinkaaren laatuavoitteet eivät huonone. Tilan käyttäjälle



luotava käyttö- ja huolto-ohje viimeistellään tarvittavilla toteutustiedoilla. (Rakennustietosäätiö 2004.)

Energiatehokkaan rakennuksen rakentamisvaiheessa tulee kiinnittää erityistä huomiota teknisiin laatutekijöihin, joita hallitaan laadunvarmistustoimenpiteillä. Erityistä huomiota tulee kiinnittää lämmöneristykseen, rakennusvaipan tiiviyyteen ja rakennusvaipan lämmöneristyksen ulkopuoliseen tuuletukseen ja kosteudenhallintaan suunnittelu- ja toteutusratkaisussa. Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän toimivuus tulee tarkistaa lämpötilan säädön, ilmamäärien ja tasapainotuksen sekä lämmöntalteenoton toimivuuden osalta. Kesäajan sisälämpötiloihin tulee kiinnittää huomiota tarkistamalla ulkoisten lämpökuormien passiiviset hallintakeinot. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2009.)

### **3.4.5 Käyttö ja ylläpito**

Rakennuksen käyttöönottovaiheessa varmennetaan tavoitteiden saavuttaminen tarkistamalla rakennuksen laitteiston ja tekniikan toimivuus suunnitellulla tavalla. Asumisen tavoitteet määritellään kohteen ominaispiirteet huomioon ottaen ja käyttäjälle laaditaan hyvän asumistavan mukaiset ohjeistukset. Tavoitteiden toteutuminen päästään todentamaan vasta rakennuksen käyttövaiheessa ja tällöinkin rakennuksen eri taloteknisten ratkaisujen ja käyttäjän toimenpiteiden virittäytyminen vastaamaan rakennuksen todellista käyttöä vie pitkän ajan. Rakennuksen eri toimintojen asettuminen vastaamaan todellista käyttöä saavutetaan usein vasta 1-2 vuoden päästä rakennuksen käyttöönotosta. (Pietiläinen et al. 2007; Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2009.)

Energiatehokkuuden jatkuva tarkkailu kuuluu osaksi rakennuksen käyttö- ja ylläpitotoimintoja. Energiatehokkuuden mittareita tulee tarkastella vähintään kuukausittain. Sisäilmaston tavoitearvojen varmistamiseksi tulee lämpötiloja, vetoa ja ilmankosteuspi-toisuutta tarkkailla suorittamalla todentamismittauksia. (Pietiläinen et al. 2007.)

Hyvät puitteet rakennuksen käytölle ja ylläpidolle on luotu jo suunnitteluvaiheessa käyttämällä asukastarpeet ja alhaiset energiatasot huomioon ottavia suunnitteluratkaisuja. Rakennusteknisten ratkaisujen pääpaino on niiden helppokäyttöisyydessä ja taloteknisten ratkaisujen pääpaino keskittyy kokonaisuuden hallintaan. Hyvän rakennustavan suunnittelulla ja rakentamisella aikaansaadaan kosteusteknisesti turvallisesti toimivat rakenteet ja hyvä terveellinen sisäilmasto. (Rakennustietosäätiö 2004; Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2009.)

## 4 ASUINRAKENNUKSEN LÄMPÖOLOIT JA NIIDEN HALLINTA

### 4.1 Lämpöviihtyvyys

Lämpöviihtyvyys ilmaisee käyttäjän tyytyväisyyttä sisäilmasto-olosuhteisiin. Lämpöviihtyvyyteen vaikuttavat käyttäjän aktiivisuus, vaatetuksen määrä, sisäilman lämpötila, ympäröivien pintojen lämpötila, ilman nopeus sekä sisäilman kosteuspitoisuus. Rakennuksen hyvää lämpöviihtyvyyttä on vaikea määrittää ihmisten erilaisten fyysisten ja psyykkisten ominaisuuksien vuoksi, sillä käyttäjät kokevat hyvän sisäilmaston erilaisiksi. (ASHRAE 2004.)

Rakennusten taloteknisten järjestelmien tavoitteena on tuottaa terveellinen ja viihtyisä sisäilmasto, joka lisää käyttäjien tehokkuutta ja lämpöviihtyvyyttä mahdollisimman pienellä energiankäytöllä. Rakennusten suunnittelun lähtökohtana pidetään usein mahdollisuutta ohjata rakennuksen sisäilmaolosuhteisiin vaikuttavia tekijöitä asetettujen määräyksien ja ohjeiden mukaan. Käyttäjän mahdollisuus vaikuttaa itse omiin lämpöolosuhteisiinsa on lämpöviihtyvyyden kannalta erittäin tärkeää. Lisäksi ikkunoiden lämmöneristyskyvyllä ja suuntauksella sekä sisäisten kuormien hallinnalla on keskeinen rooli lämpöviihtyvyyden edistämässä. (Babiak et al. 2009; Rakennustietosäätiö 2010.)

Käyttäjien kokemaa lämpöviihtyvyyttä kuvataan termeillä PMV (Predicted mean vote) ja PPD (Predicted percentage dissatisfied). PMV ilmaisee suuren joukon aistiman termisen viihtyvyyden keskiarvoa 7-portaisessa asteikossa. Ihmisen kokeman hyvän lämpöviihtyvyyden arvo 0 neutraali saavutetaan, kun ihmiskehon lämmöntuotanto on yhtä suuri kuin ihmisen ympäristöön luovuttaman lämmön määrä. Taulukossa 4.1 on esitetty lämpöviihtyvyyden PMV- asteikko. (SFS-EN-ISO 7730, 2005.)

**Taulukko 4.1.** Termisen viihtyvyyden asteikko (SFS-EN-ISO 7730, 2005).

PMV- asteikko	
+3	Kuuma
+2	Lämmin
+1	Hieman lämmin
0	Neutraali
-1	Hieman viileä
-2	Viileä
-3	Kylmä

PMV-arvoa käytetään asuinrakennusten eri tilojen lämpöviihtyvyyden arviointiin. PMV-arvo ilmaisee, miten hyvä termien ympäristö asuinrakennuksessa on ihmisten tuntemaan mukavuuden perusteella. PMV-arvon laskentamenetelmä on esitetty kaavassa (4.1), jossa otetaan huomioon ihmisen aktiivisuustaso  $M$ , ihmisen mekaaninen teho  $W$ , vaatetuksen lämmöneristävyys  $I_{cl}$ , pinta-alakerroin  $f_{cl}$  ja lämpötila  $t_{cl}$ , ilman lämpötila  $t_a$ , keskimääräinen pintojen säteilylämpötila  $\bar{t}_r$ , ilman nopeus  $v_a$ , vesihöyryn osapaine  $p_a$  ja konvektiivinen lämmönsiirtokerroin  $h_c$ . (SFS-EN-ISO 7730, 2005.)

$$PMV = [0,303 \times \exp(-0,036 \times M) + 0,028] \times \{(M - W) - 3,05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6,99 \times (M - W) - p_a] - 0,42 \times [(M - W) - 58,15] - 1,7 \times 10^{-5} \times M \times (5867 - p_a) - 0,0014 \times M \times (34 - t_a) - 3,96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a)\} \quad (4.1)$$

Kaavaan (4.1) tarvittavat termit kuten vaatetuksen lämpötila, vaatetuksen konvektiivinen lämmönsiirtokerroin ja vaatetuksen pinta-ala kerroin saadaan kaavojen (4.2), (4.3) ja (4.4) perusteella.

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \times (M - W) - I_{cl} \times \{3,96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a)\} \quad (4.2)$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 \times |t_{cl} - t_a|^{0,25}, & 2,38 \times |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \times \sqrt{v_a} \\ 12,1 \times \sqrt{v_a}, & 2,38 \times |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \times \sqrt{v_a} \end{cases} \quad (4.3)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 \times I_{cl}, & I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2\text{K}/\text{W} \\ 1,05 + 0,645 \times I_{cl}, & I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2\text{K}/\text{W} \end{cases} \quad (4.4)$$

PMV-arvon määrittämiseen voidaan käyttää edellä esitettyä kaavaa tai vaihtoehtoisesti PMV-arvo voidaan arvioida SFS-EN-ISO 7730 standardin liitteistä, joissa on esitetty eri yhdistelmien PMV-arvoja riippuen aktiivisuudesta, vaatetuksesta, operatiivisesta lämpötilasta ja ilman virtausnopeudesta. Lisäksi asuinrakennuksen PMV-arvo voidaan määrittää suoraan mittaamalla käyttäen integroivaa sensoria, jolloin sensorin ja ympäristön lämpötila, ilman nopeus sekä suhteellinen kosteus mitataan ja muut arvot arvioidaan. (Delta OHM 2009; SFS-EN-ISO 7730, 2005.)

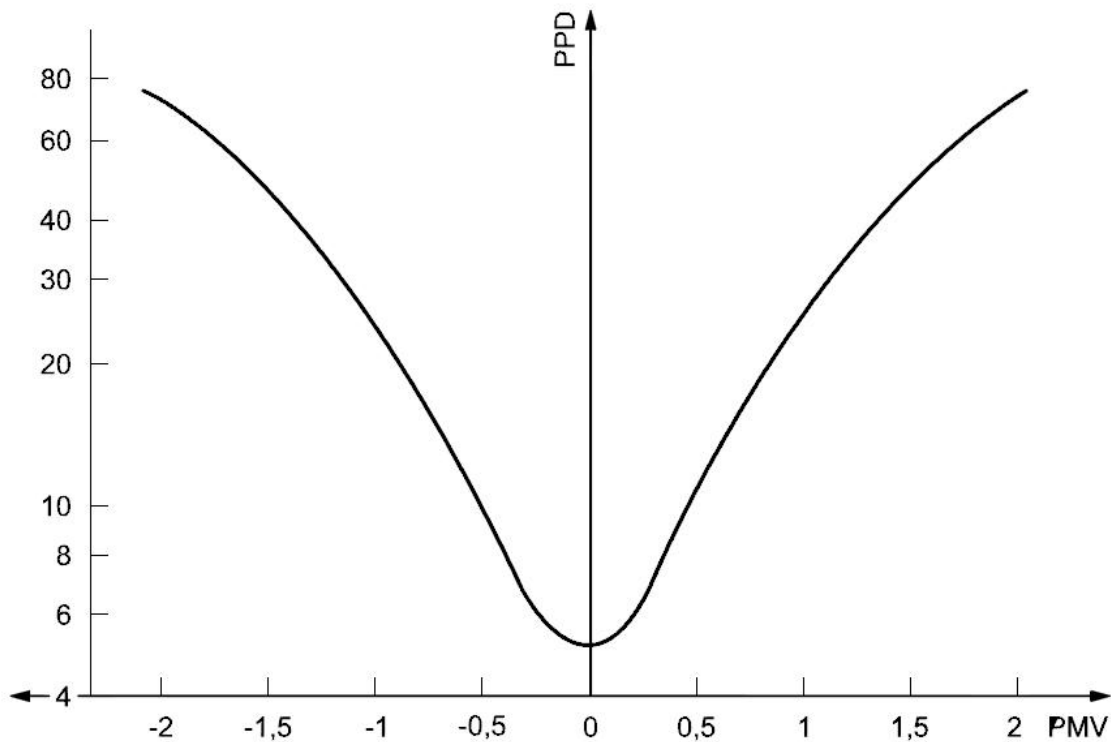
Laskettuun PMV-arvoon tulee suhtautua varauksella, sillä se ei aina ole tarkka. Tutkimukset osoittavat, että eroa esiintyy mitattujen ja laskettujen PMV-arvojen välillä. Erityisen vaikeaa on arvioida käyttäjän vaatetuksen eristävyyttä ja aktiivisuustasoa. Väärin arvioidut alkuarvot johtavat tilanteeseen, jossa PMV-arvon tarkkuus heikkenee. PMV-arvot vastaavat paremmin todellisuutta ilmastoiduissa kohteissa, koska silloin ulkoilman lämpötilan vaikutus on pienempi. (Charles 2003.)

PMV-arvon lisäksi lämpöviihtyvyyden arvioimiseen käytetään PPD-arvoa, joka ilmaisee suuren joukon prosentuaalista tyytymättömyyden aistimusta termisen ympäris-

tön liialliseen lämpöön tai kylmyyteen. Asuinrakennuksen tilan saavuttaessa PMV-arvon perusteella hyvän lämpöviihtyvyyden, aistii 5 % käyttäjistä epäviihtyvyyden tunnetta. Lämpöviihtyvyyteen tyytymättömien osuus voidaan laskea PMV-arvon perusteella kaavalla (4.5). (SFS-EN-ISO 7730, 2005.)

$$PPD = 100 - 95 \times \exp(-0,03353 \times PMV^4 - 0,2179 \times PMV^2) \quad (4.5)$$

Kaavan (4.5) perusteella laskettu lämpöviihtyvyyteen tyytymättömien osuus esitetään kuvassa 4.1 PMV-arvon funktiona. Kuvasta nähdään, että lämpöoloihin tyytymättömien osuus on 5 % hyväksi määritetyn termisen viihtyvyyden tiloissa. Lämpöolojen muuttuessa optimaalisten lämpöolojen tilasta kylmemmäksi tai lämpimämmäksi kasvaa lämpöviihtyvyyteen tyytymättömien osuus merkittävästi.



**Kuva 4.1.** PPD arvot PMV- arvojen funktiona. (SFS-EN-ISO 7730, 2005).

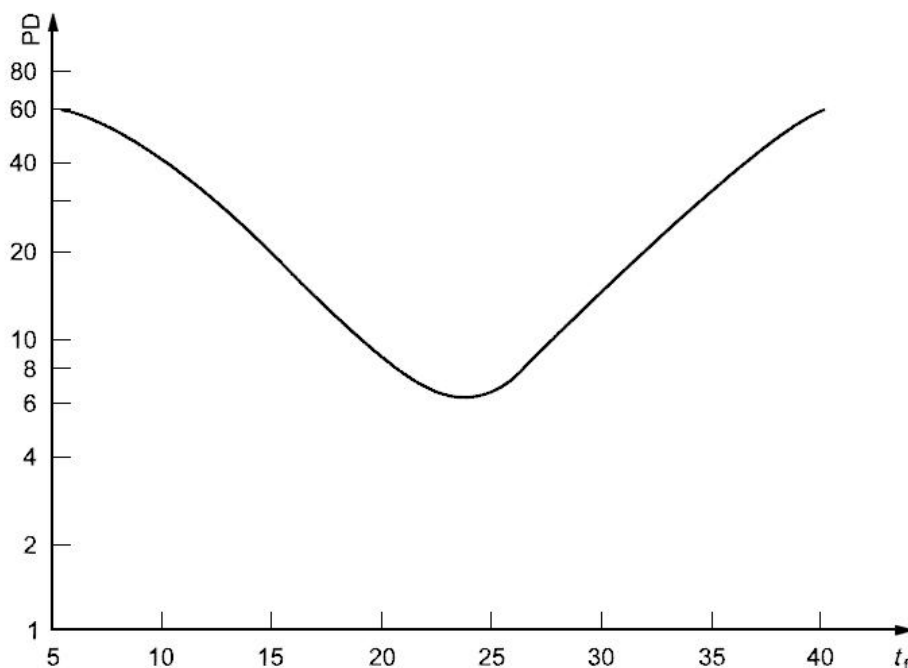
Asuinrakennuksen taloteknisten järjestelmien suunnittelussa voidaan mitoituskriteerinä käyttää lämpötilan sijasta PMV-PPD indeksejä, jolloin lämpötilan lisäksi otetaan huomioon ilman virtausnopeuden vaikutus. Suositellut taloteknisen suunnittelun lämpöviihtyvyyden huomioivat kriteerit koneellisesti lämmitettyjen ja jäähdytettyjen rakennusten osalta esitetään taulukossa 4.2.

**Taulukko 4.2.** Termisen viihtyvyyden asteikko (SFS-EN 15251, 2007).

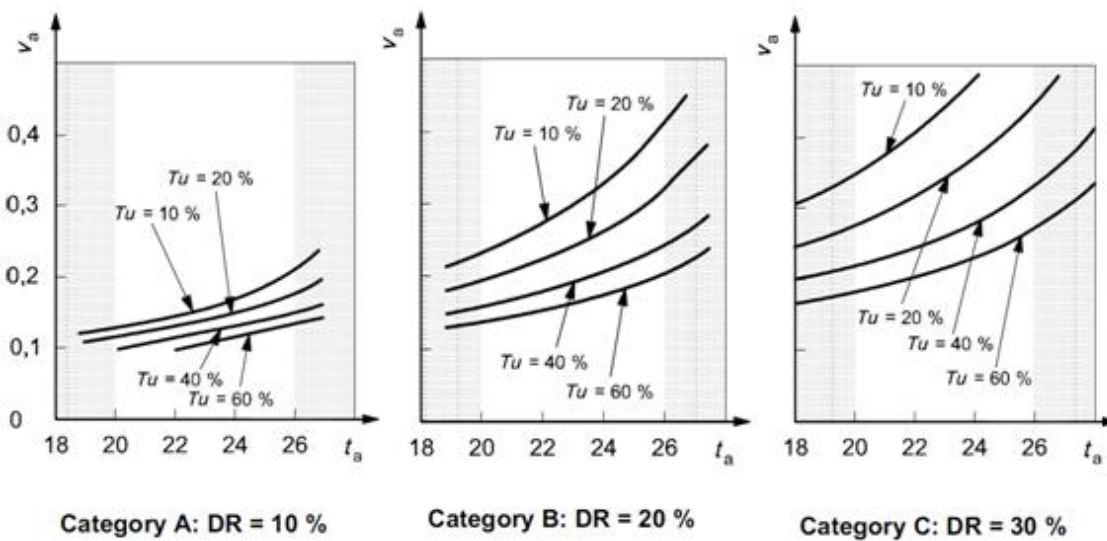
Luokka	PPD %	PMV-alue
I	< 6	-0,2 < PMV < 0,2
II	< 10	-0,5 < PMV < 0,5
III	< 15	-0,7 < PMV < 0,7
IV	> 15	PMV < -0,7 tai 0,7 < PMV

Taulukon 4.2 luokat I-IV kuvaavat sisäympäristön olosuhteiden vaatimuksia, joita käytetään rakennuksien suunnittelun tavoitetasoina. Luokka I on korkea vaatimustaso, jota käytetään tiloissa, joita käyttävillä henkilöillä on erityistarpeita. Luokka II on normaali vaatimustaso, joka on yleisesti käytetty uudis- ja korjausrakentamisessa. Luokka III on vielä hyväksyttävä tulos, jota voidaan soveltaa olemassa olevien rakennuksien kohdalla. Luokka IV on hyväksyttävissä vain rajoitetusti. (SFS-EN 15251, 2007.)

Asuinrakennuksen termisen viihtyvyyden PMV- ja PPD -arvot ilmaisevat tyytymättömyyttä lämpöoloihin ihmisen koko kehon osalta. Terminen tyytymättömyys lämpöoloihin voidaan ilmaista myös tietyissä kehon osissa, jota kutsutaan paikalliseksi termiseksi epäviihtyisyydeksi. Tyypillisesti tällöin on kyseessä vedon tunne, mutta kyseessä voi olla myös suuri vertikaalinen lämpötilan vaihtelu, jonka aiheuttaa poikkeuksellisen lämmin tai kylmä lattia tai suuri poikkeavuus eri pintojen säteilylämpötiloissa. Kuvassa 4.2 esitetään lämpöviihtyvyyteen tyytymättömien osuus suhteessa lattian pintalämpötiloihin. Kuvassa 4.2 PD ilmaisee tyytymättömien prosentuaalisen osuuden ja  $t_f$  kuvaa lattian pintalämpötilan celsius-asteina. (SFS-EN-ISO 7730, 2005.)

**Kuva 4.2.** Lattian pintalämpötilan suhde paikalliseen epäviihtyvyyteen (SFS-EN-ISO 7730, 2005).

Ilman suuri liikenopeus aiheuttaa epäviihtyvyyttä, jota kutsutaan vedon tunteeksi. Veto tunnetaan epämiellyttävänä paikallisena viileytenä eri kehon osissa. Vedon tunteeseen vaikuttavat ilman nopeus, lämpötila ja ilman liikkeen turbulenttisuus sekä käyttäjän aktiivisuuden ja vaatetuksen taso. Suurimmat ilman liikenopeuden arvot eri lämpötiloilla ja turbulenttisuuden asteilla on esitetty kuvassa 4.3, jossa  $v_a$  kuvaa ilman liikenopeutta,  $t_a$  ilman lämpötilaa ja  $T_u$  ilman liikkeen turbulenttisuusasteen. Kuvassa 4.3 on esitetty 3 eri vaihtoehtoa vedon vaikutuksesta lämpöviihtyvyyteen tyytymättömien suhteen: luokat A, B ja C. Luokka A on hyvän lämpöviihtyvyyden taso, jossa sallitaan korkeintaan 10 % paikallisiin lämpöoloihin tyytymättömien osuus ja PMV-arvot  $\pm 0,2$ . B-luokassa sallitaan 20 % osuus ja PMV  $\pm 0,5$  ja luokassa C enintään 30 % tyytymättömien osuus ja PMV  $\pm 0,7$ . (ASHRAE 2004; SFS-EN-ISO 7730, 2005.)



**Kuva 4.3.** Sallitut keskimääräiset ilman liikenopeudet lämpötilan ja turbulenttisuuden funktiona. DR on paikallisiin lämpöoloihin tyytymättömien osuus (SFS-EN-ISO 7730, 2005).

Kuvasta 4.3 havaitaan, että lämpötilan kasvaessa sallitaan suuremmat ilman liikenopeudet lämpöoloihin tyytymättömien osuuden pysyessä vakiona. Ilman turbulenttisuuden lisääntyessä tuloilma sekoittuu paremmin huoneilmaan. Jos käyttäjän kokema termien viihtyvyys on neutraali tai viileä, huononee lämpöviihtyvyys ilman liikenopeuden kasvaessa. Lämpimissä tiloissa ilmanliikkeen luoma vedon tunne parantaa lämpöviihtyvyyttä. (SFS-EN-ISO 7730, 2005.)

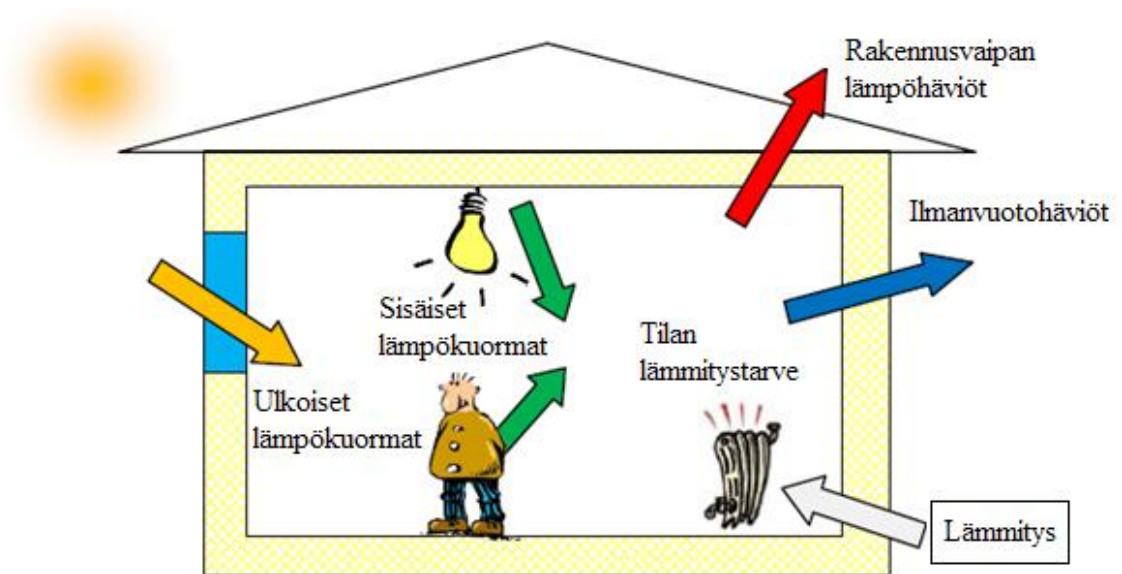
## 4.2 Asuinrakennuksen lämpökuormat

### 4.2.1 Lämpötase

Asuinrakennuksen lämpötaseella tarkoitetaan rakennukseen sisään tulevien, rakennuksessa syntyvien ja rakennuksesta poistuvien lämpövirtojen suhdetta. Lämpötase perustuu termodynamiikan ensimmäiseen pääsääntöön, jonka mukaan energia on häviämä-

töntä ja kaikki lämpöenergia, joka kohdistuu rakennukseen, joko lämmittää rakennusta tai poistuu sieltä. Energiavirtojen ja lämpöenergian varastoitumisen summa eli tase on nolla. (Seppänen et al. 2004.)

Rakennuksen lämmityksen tarve voidaan määrittää laskemalla rakenteiden läpi johdettavat lämpö- ja ilmanvuotohäviöt ja tästä vähentämällä sisäisten ja ulkoisten lämpökuormien energiat. Kuvassa 4.4 on esitetty rakennuksen lämpötasetta selventävä malli. (NorthPass 2010.)



**Kuva 4.4.** Lämpökuormien vaikutus asuinrakennuksen lämpötaseessa (NorthPass 2010).

Rakennuksen lämmitystarpeen määrittämisessä rakennus on stationääritilassa, jolloin ulkolämpötilan arvo on vakio. Jäähdytystarpeen mitoitus on oleellisesti hankalampaa, koska stationääritilannetta ei saavuteta. Jäähdytystarpeen laskennan ongelmakohtia ovat lämmön varastoituminen rakenteisiin, lämmön epästationääri johtuminen rakenteissa, ulkoisten lämpökuormien arviointi ja pintojen välinen säteilylämmönsiirto. (Seppänen et al. 2004.)

Rakennuksen jäähdytystarve määräytyy asetetusta huoneilman tavoitelämpötilasta, jolloin tarvittava jäähdytysteho on se teho, jolla asetettu tavoite pystytään toteuttamaan. Mitä korkeammaksi rakennuksen lämpötilan sallitaan nousevan, sitä pienempi on rakennuksessa tarvittava jäähdytysteho. Rakennuksen lämpökapasiteetti tasaa lämpötilan vaihteluja, ja mitä suurempi lämpökapasiteetti on, sitä pienempi jäähdytyskuorman huippu on. Rakennuksen jäähdytystarpeeseen vaikuttavat erityisesti ikkunoiden koko, suuntaus, ominaisuudet sekä rakennuksen suuntaus ja passiivinen auringonsuojaus. (Seppänen et al. 2004.)

#### 4.2.2 Sisäiset lämpökuormat

Rakennuksen sisäisiä lämpökuormia ovat ihmisistä, valaistuksesta ja laitteista tilaan muodostuva lämpö. Ihmisten lämmönluovutus riippuu henkilön koosta ja toiminta-asteesta. Valaistuksen luovuttaman lämmön määrään vaikuttavat asetetut valaistustavoitteet, valaistava tila ja valaisinmallit. Sähkölaitteiden luovuttama lämpö riippuu sähkölaitteiston määrästä, sillä kaikki sähkölaitteisiin tuotu sähköteho muuttuu lämmöksi. Sisäisiä lämpökuormia voidaan pienentää käyttämällä energiatehokkaampia valaisimia ja laitteita sekä varustamalla suuria lämpökuormia aiheuttavat laitteet kohdepoistolla. (Rakennustietosäätiö 1992; Rakennustietosäätiö 1995.)

E-luvun laskennassa käytetään asuinrakennuksen valaistuksen, laitteiden ja henkilöiden sisäisinä lämpökuormina Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 standardikäyttöä vastaavia arvoja. Asuinrakennuksen standardikäyttö ja sitä vastaavat sisäiset lämpökuormat on esitetty kappaleen 3.3.1 taulukossa 3.8. (Ympäristöministeriö 2011b.)

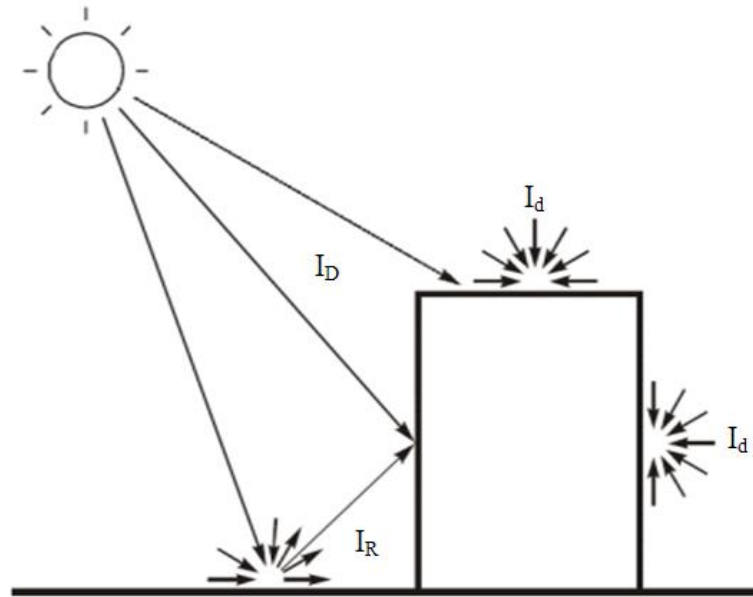
#### 4.2.3 Ulkoiset lämpökuormat

Asuinrakennusten ulkoisista lämpökuormista auringon luovuttaman lämpöenergian osuus on merkittävä. Keskimäärin maapallolla auringon luovuttama lämpöenergia maanpinnalla mitattuna on luokkaa  $1000 \text{ W/m}^2$ . Suurista auringon lämpökuormista huolimatta asuinrakennusten tulee säilyttää asetettujen määräyksien ja ohjeiden mukaiset sisäilmasto-olosuhteet. (Beck et al. 2010.)

Ulkoiset lämpökuormat vaihtelevat asuinrakennuksen sijainnin sekä vuodenajan, vuorokaudenajan ja pilvisyyden mukaan. Ulkoisten lämpökuormien tunteminen on tärkeää, jotta rakennuksien lämmitys- ja jäähdytystarpeet voidaan mitoittaa. Auringon säteily jakautuu eri aallonpituuksiin siten, että auringon säteilyn spektrinen intensiteetti vastaa sellaisen mustan kappaleen säteilyä, jonka lämpötila on  $6035 \text{ °C}$ . (Seppänen & Seppänen 1997.)

Ilmakehän vaikutuksen vuoksi maanpinnalle tuleva säteily voidaan jakaa kolmeen ryhmään. Suora auringonsäteily tarkoittaa suoraan ilmakehän läpi tullutta auringonsäteilyä. Hajasäteily on ilmakehän molekyylien ja pilvien heijastamaa säteilyä ja maan pinnasta heijastunutta hajasäteilyä. Ilmakehän vastasäteily aiheutuu ilmakehän vesihöyryn, hiilidioksidin ja otsonin lämpösäteilystä takaisin maanpinnalle. Suoran auringonsäteilyn  $I_D$ , hajasäteilyn  $I_d$  ja ilmakehän vastasäteilyn ja heijastuneen säteilyn  $I_R$  summa on pinnalle tuleva kokonaissäteilyenergia, joiden määritys on rakennukseen kohdistuvan ulkoisen lämpökuorman kannalta oleellista. Säteilyn luokat ja pinnan asema on esitetty kuvassa 4.5. (Erat et al. 2008.)





**Kuva 4.5.** Auringon säteilyn muodostuminen asuinrakennuksen pintaan (Seppänen & Seppänen 1997).

Auringon lyhytaaltoisesta kokonaissäteilystä 33 % heijastuu ilmakehästä takaisin avaruuteen, 15 % absorboituu ilmakehään ja 9 % siroaa eri suuntiin ilmakehässä olevista partikkeleista ja molekyyleistä. Suoran ja heijastuneen säteilyn osuudeksi tulee 43 %. (Seppänen & Seppänen 1997.)

Auringon säteilytehon tiheys maanpinnalla  $I_D$  eli lämpöteho auringon suoraa säteilyä kohtisuoraa pintaa vasten voidaan laskea seuraavalla kaavalla (4.6), jossa  $I_0$  on aurinkovakio  $1353 \text{ W/m}^2$ , joka tarkoittaa ilmakehän ulkopuolisen säteilytehon tiheyttä,  $k$  on ilmakehän kirkkaudesta riippuva termi (pilvinen 0,62 – 0,74 kirkas) ja termi  $h$  on auringon korkeuskulma, joka on auringon ja vaakatason välinen kulma. (Seppänen & Seppänen 1997.)

$$I_D = I_0 \times k^{\frac{1}{\sin h}} \quad (4.6)$$

Auringon korkeuskulma vaihtelee vuodenaikojen mukaan maapallon akselin ja kiertotason kulmasta johtuen. Pienimmät ja suurimmat korkeuskulmat saavutetaan talvi- ja kesäpäivän seisauksien aikana, jolloin aurinko on pohjoisella pallonpuoliskolla matalimmillaan talviaikaan ja korkeimmillaan kesäaikaan. Auringon korkeuskulma  $h$  voidaan määrittää kaavalla (4.7), jossa  $L$  on kohteen leveyspiiri,  $\delta$  on deklinaatiokulman arvo ja  $\tau$  merkitsee tuntikulman arvoa  $15^\circ/\text{h}$  laskettuna etelästä. Deklinaatiokulma ilmaisee auringon korkeuskulman päiväntasaajaan nähden. Tuntikulma kuvaa auringonliikettä. (Seppänen et al. 2004.)

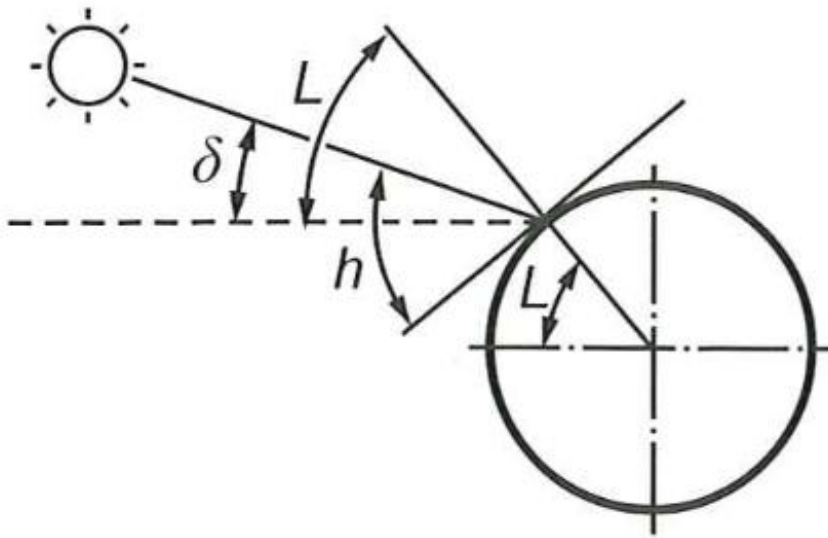
$$\sin h = \sin L \sin \delta + \tau \cos L \cos \delta \quad (4.7)$$

Deklinaatiokulma vaihtelee vuodenajan mukaan ja se voidaan laskea kaavalla (4.8), jossa  $n$  on laskentapäivän järjestysnumero vuoden alusta laskettuna. Deklinaatiokulman

maksimiarvo on Helsingissä 60 leveyspiirillä  $53,5^\circ$  ja minimiarvo  $6,5^\circ$  kesä ja talvi vuodenaikojen mukaan.

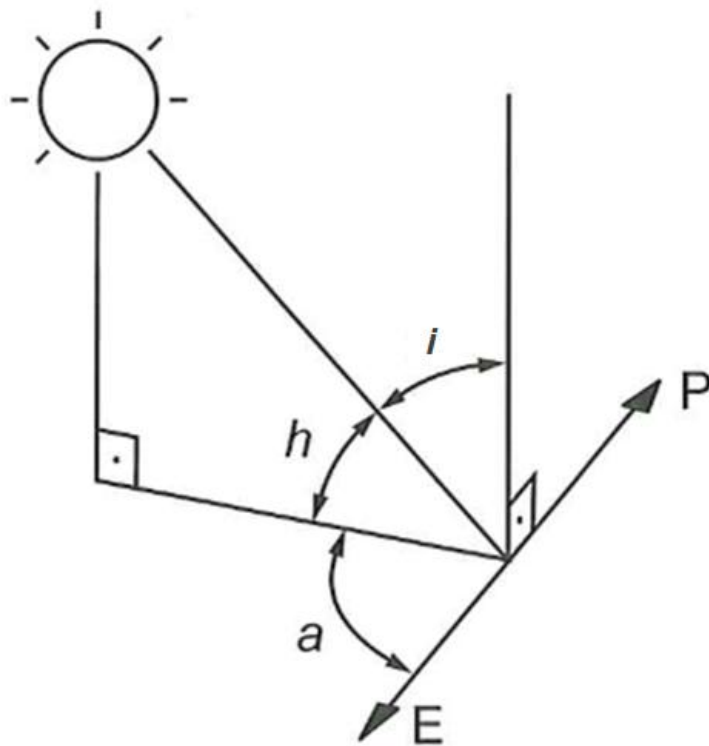
$$\delta = 23^\circ 27' \times \sin\left(360 \times \frac{284+n}{365}\right) \quad (4.8)$$

Kuvassa 4.6 on esitetty korkeuskulmaa, leveyspiiriä ja deklinaatiokulmaa havainnollistava kuva, josta nähdään leveyspiirin vaikutus auringon korkeuskulmaan. Suomen sijainnista johtuen auringon asema on matalalla verrattuna Etelä-Eurooppaan, mikä merkitsee suurien ulkoisten lämpökuormien muodostumista pystypinnoille. (Seppänen et al. 2004.)



**Kuva 4.6.** Leveyspiirin vaikutus auringon korkeus- ja deklinaatiokulmaan (Seppänen et al. 2004).

Auringon aseman määrittämiseen tarvitaan korkeuskulman lisäksi atsimuutti  $a$ , joka ilmaisee etelän ja auringonsäteilyn vaakatason projektion välisen kulman etelästä myöt päivään laskettuna. Kuvassa 4.7 on esitetty selkeyttävä kaavio auringon aseman määrittämiseen tarvittavista kulmista. (Seppänen et al. 2004.)



**Kuva 4.7.** Auringon aseman määrävät kulmat (Seppänen & Seppänen 1997).

Rakennuksen pintaan osuvan lämpösäteilyn intensiteetin määrittämiseen tarvitaan osakulma  $i$ , joka on auringon säteilyn ja pystysuoran pinnan välinen kulma. Pystysuoran pinnan säteilyn laskentamenetelmä on esitetty kaavassa (4.9). (Seppänen et al. 2004.)

$$I_{DP} = I_D \times \cos i \quad (4.9)$$

Kalteviin kattopintoihin tai muihin kalteviin rakennusosiin kohdistuva auringon säteilevä lämpöenergia voidaan laskea, kun selvitetään kaltevan pinnan ja auringonsäteilyn  $I_D$  välinen osakulma. Kaltevan pinnan osakulma  $i$  lasketaan kaavalla (4.10), jossa kulma  $\gamma$  on pinnan kaltevuuskulma, kulma  $\alpha$  on pinnan suuntakulma ja kulma  $\varphi$  on aamupäivällä atsimuutti ( $a + \alpha$ ) ja iltapäivällä ( $a - \alpha$ ). Kun kaltevan pinnan osakulma on määritetty, voidaan kaltevalle pinnalle kohdistuva auringon säteilyteho laskea kaavan (4.9) mukaisesti. (Seppänen et al. 2004.)

$$\cos i = \cos h \cos \varphi \sin \gamma + \sin h \cos \gamma \quad (4.10)$$

Rakennuksen rakennusosiin kohdistuvaa säteilyenergiaa määritettäessä tulee suoran säteilyn lisäksi ottaa huomioon hajasäteily  $I_d$ , jota säteilee joka suunnasta. Yleensä hajasäteily mitataan vaakapinnoille, koska vaakapinta havaitsee koko taivaan. Hajasäteily on suurempi vaaka- kuin pystypinnoille ja yleensä hajasäteily mitataan vaakapinnoille. Usein hajasäteily ajatellaan kohdistuvan koko taivaalle ja tällöin säteilyn suuruus saadaan laskettua kaavalla (4.11), jossa  $I_d$  on hajasäteilyn voimakkuus vaakapinnalle ja  $F_{pt}$

taivaan näkyvyyskerroin pinnasta horisonttiin. (Seppänen et al. 2004.)

$$I_{ap} = I_d \times F_{pt} \quad (4.11)$$

Taivaan näkyvyyskerroin saadaan kaavasta  $F_{pt} = \frac{1}{2}(1 + \cos \gamma)$ , jossa  $\gamma$  on pinnan kallistuskulma. Pystypinnoille kohdistuva hajasäteily on puolet vaakapintaan kohdistuvasta energiasta, sillä  $\cos 90^\circ = 0$ . Näkyvyyskerroin vaikuttaa oleellisesti hajasäteilyn suuruuteen, lisäksi kaikki pinnan ja taivaan väliset varjostukset pienentävät hajasäteilyä. (Seppänen et al. 2004.)

Suoran säteilyn ja hajasäteilyn lisäksi rakennuksien pintaan kohdistuu ympäröivistä pinnoista heijastunutta säteilyä  $I_R$ , joka tulee ottaa huomioon kokonaissäteilytehoa laskettaessa. Rakennuksen pinnalle heijastuvaa säteilyä voidaan arvioida vaakapinnan kokonaissäteilyn avulla. Kaavassa (4.12)  $I_{TH}$  on kokonaissäteily vaakapinnalle,  $\rho$  on heijastavan pinnan heijastussuhde ja  $F_{pm}$  on tarkasteltavan ja heijastavan pinnan välinen näkyvyyskerroin  $F_{pm} = \frac{1}{2}(1 - \cos \gamma)$ .

$$I_R = I_{TH} \times \rho \times F_{pm} \quad (4.12)$$

Rakennuksen pintaan kohdistuvan kokonaissäteilyn laskenta koostuu suorasta säteilystä, hajasäteilystä ja heijastuneesta säteilystä. Suoran säteilyn osuus kokonaissäteilystä on merkittävä noin 70 %, hajasäteilyn osuus on yleensä selvästi suoraa säteilyä pienempi noin 30 %. Pilvisyyden lisääntyessä hajasäteilyn osuus kokonaissäteilystä kasvaa ja täysin pilvisellä säällä hajasäteilyn osuus on 100 %. Heijastuneen säteilyn osuus hajasäteilyyn verrattuna on vähäinen ja siihen vaikuttavat ympäristö ja tarkasteltava kohde. Kokonaissäteilyn laskenta tehdään kaavan (4.13) mukaisesti, jolloin pitää ottaa huomioon pinnan suuntaukset eri säteilylajeja laskettaessa edellä mainittujen kaavojen mukaisesti. (Seppänen & Seppänen 1997; Suntekno 2010.)

$$I_{kok} = I_D + I_d + I_R \quad (4.13)$$

### 4.3 Yleisimmät ongelmat

Asuinrakennusten suunnittelun pääpaino on pitkään keskittynyt talvitilanteeseen, jonka avulla määritetään taloteknisen suunnittelun periaatteet. Myös kesäajan olosuhteet on otettava huomioon rakennusta suunniteltaessa, jotta on mahdollista vaikuttaa rakennuksen tulevaan jäähdytystarpeeseen. Oikealla ikkunan ja julkisivun suhteella, ulkoisella auringon suojauksella, oikealla rakenteiden lämpökapasiteetilla ja käyttämällä yöilman viileyttä jäähdytykseen voidaan saavuttaa rakennus, jossa ei esiinny jäähdytystarvetta. (NorthPass 2010.)

Kesäajan olosuhteiden laiminlyöminen tai puutteellinen suunnittelu rakennuksen ominaisuuksia määriteltäessä johtaa tilanteeseen, jolloin lämpöolot saattavat ylittää sal-

litut enimmäisarvot. Jos esimerkiksi auringonsuojaratkaisut ovat puutteelliset, nousevat rakennuksien lämpöolot liian lämpimiksi ja epäviihtyisiksi. (NorthPass 2010.)

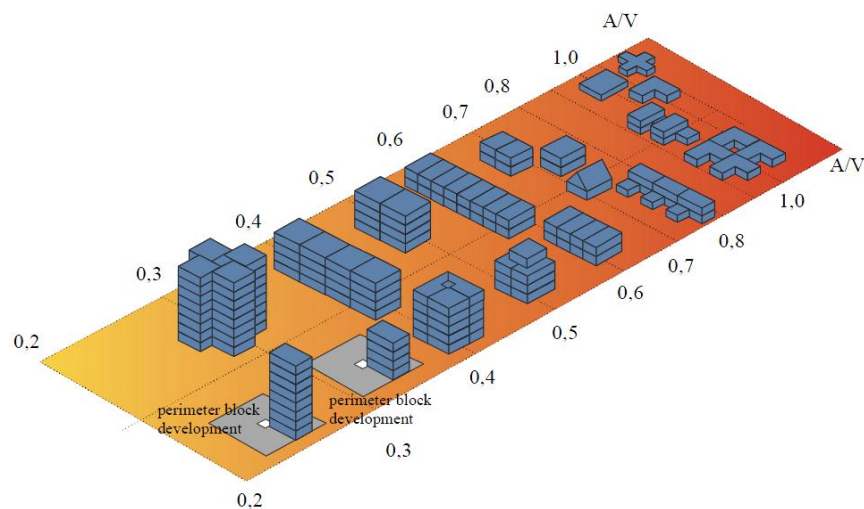
Parantuneet ikkunoiden U-arvot ovat mahdollistaneet suurempien ikkunapinta-alojen käytön suhteessa julkisivuunaan kuin ennen. U-arvojen parantuessa ei suurten ikkunoiden vuoksi esiinny vetoa eikä suuria lämpöhäviöitä, mutta suuret ikkunat tarvitsevat auringonsuojausta kesäaikaan, jotta yllämpöongelmilta vältytään. Ottamalla huomioon suunnitteluvaiheessa mahdolliset kesäaikaiset yllämpöongelmat ikkunoiden ja toimivien passiivisten auringonsuojaratkaisujen mitoituksessa, vältytään suurilta investoinneilta tilan jäädytystarpeen pienentyessä. Asuinrakennusten ulkopuolisia auringonsuojaratkaisuja mietitään rakennusta suunniteltaessa, mutta usein ratkaisut toteutetaan vasta, kun asuinrakennuksen yllämpöongelmia on havaittu. (Wall & Bülow-Hübe 2001.)

Asuinrakennusten sähkönkulutus on ollut viimeisten vuosien aikana pienoisessa nousussa, tästä johtuen asuinrakennusten sisäiset kuormat kasvavat ja aiheuttavat lisää lämpökuormitusta asuinrakennuksiin. Kylmälaitteiden kulutus on energiatehokkuuden myötä pienentynyt, mutta lisääntyvä kodin elektroniikka ja valaistus aiheuttavat sisäisten kuormien kasvua. (Adato 2008.)

## 4.4 Yllämpötilojen hallinta passiivisilla keinoilla

### 4.4.1 Asuinrakennuksen muoto

Rakennuksen muoto ja muodon kompaktisuus vaikuttavat oleellisesti rakennuksen energiankulutukseen. Mitä enemmän rakennuksessa on ulkoisia pintoja suhteessa tilavuuteen, sitä enemmän siihen kohdistuu lämpöhäviöitä ja ulkoisien lämpökuormien vaikutuksia. Rakennuksen kompaktisuuden määrittämiseen käytetään joko rakennuksen vaipan alan suhdetta rakennuksen tilavuuteen  $A_{\text{vaippa}} / V_{\text{rakennus}}$  tai rakennuksen vaipan alan suhdetta rakennuksen yhteenlaskettuun kerrosalaan  $A_{\text{vaippa}} / A_{\text{kerrosala}}$ . Mitä pienempi tämä suhde on, sitä kompaktimpi rakennus on. Kuvan 4.8 perusteella voidaan arvioida eri rakennustyyppien kompaktisuutta. (NorthPass 2010.)



**Kuva 4.8.** Eri rakennusmuotojen vaikutus  $A_{\text{vaippa}}/V_{\text{rakennus}}$  suhteeseen (NorthPass 2010).

Kuvasta 4.8 havaitaan, että rakennuksen muotojen monipuolistuessa rakennuksen  $A_{\text{vaiippa}} / V_{\text{rakennus}}$  suhde kasvaa, joka on lämpöhäviöiden ja ulkoisten lämpökuormien kannalta epäsuotuisaa. Kompakti rakennus on muodoltaan kuutio, joka mahdollistaa pienimmät mahdolliset lämpöhäviöt vaipan yli sekä pienemmän ulkoisen lämpökuorman kohdistumisen rakennukseen. Rakennus, jossa päivänvalon määrä on maksimoitu vastaa muodoltaan suurta  $A_{\text{vaiippa}} / V_{\text{rakennus}}$  suhdetta, jossa rakennuksen kerrospinta-ala on lähellä rakennuksen ympärysmittaa. Rakennuksen lämpöhäviöt, ulkoiset lämpökuormat, sisäiset kuormat, valaistusolosuhteet ja jäähdytystarpeet huomioon ottaen kompromissiratkaisu on oikein suunnattu ja muodoltaan kapea ja pitkä rakennus. (EERE 2002.)

#### 4.4.2 Sijainti ja suuntaus

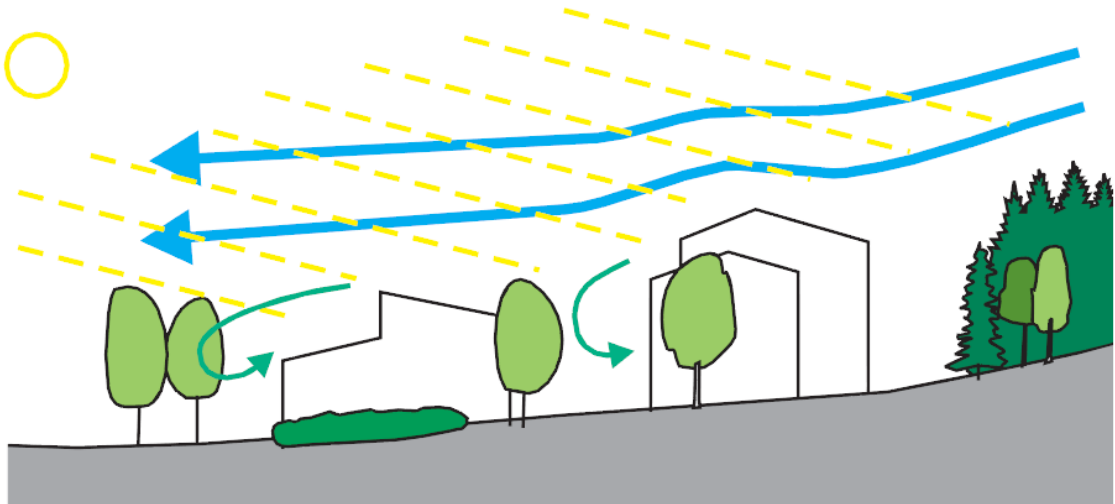
Asuinrakennuksen suuntauksella on huomattava merkitys rakennukseen kohdistuviin ulkoisiin lämpökuormiin. Rakennuksen sijoittamisessa tulee ottaa huomioon maaston muodot, muiden rakennuksien sijoittelu ja muodot sekä muun ympäristön käyttö tuulen suojana. Rakennuksen lämmitystarpeen minimoimiseksi järkevä suuntaus on etelää kohti. Asumisviihtyvyyden parantamiseksi rakennuksen suuntauksen lisäksi rakennus varustetaan suurella ikkunapinta-alalla, mikä johtaa rakennuksen tavallista suurempaan lämpenemiseen ja kasvavaan jäähdytystarpeeseen jo aikaisin keväällä. (Paroc 2012.)

Asuinrakennuksen rakennuspaikan sijainnista riippuen ovat rakennuspaikkakunnan viranomaiset asettaneet ohjeistuksia ja määräyksiä kaavasuunnittelua ohjaaviksi toimenpiteiksi. Asuinalueen tiiveys, yhdyskuntarakenne, rakennuksien suuntaus ja sijainti ovat kaavasuunnittelun keinoja ohjata rakennusten energiatehokasta rakentamista. (Nieminen et al. 2011.)

Rakennuksen kesäajan sisäilman lämpötilan hallitsemiseksi rakennuksen suuntauksella on suuri merkitys, mutta asumisviihtyvyyden vuoksi rakennukset suunnataan kohti etelää, jolloin luonnonvalon saanti on suurimmillaan. Kesäajan sisälämpötilojen kannalta eteläsuuntainen suuntaus on epäsuotuisa ja tällöin rakennukseen on suunniteltava riittävät auringonsuojaratkaisut. Auringon aiheuttaman ulkoisen lämpökuorman suuruus on etelän ja lännen suuntaiselle julkisivulle suurempi kuin pohjoisen ja idän suuntaiselle julkisivulle. (Erat et al. 2008.)

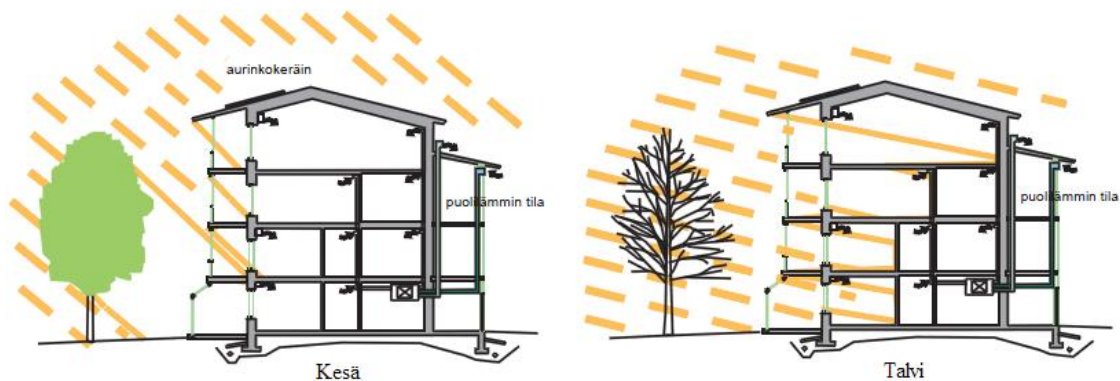
Tuulen jäähdyttävää vaikutusta ei pidä unohtaa rakennuksen sijaintia valittaessa. Tuulen nopeus kasvattaa rakennuksen ulkovaipan konvektiivista lämmönsiirtoa, mikä johtaa lämpöhäviöiden kasvuun. Lisäksi tuulisuus kiihdyttää rakennuksen ilmanvuotoa, joka lisää lämmitystarvetta talvella viileän ilman tunkeutuessa sisätiloihin. Huomioimalla kasvillisuuden ja maaston muodot rakennuksen sijoitusta mietittäessä, voidaan rakennukseen kohdistuviin tuuliolosuhteisiin vaikuttaa. (Erat et al. 2008; NorthPass 2010.)

Kuvassa 4.9 on esitetty rakennuksen sijoitteluun vaikuttavat tekijät. Rakennus on suojattu kylmiltä tuulilta käyttäen hyväksi maaston muotoja sekä kasvillisuutta. Lisäksi voidaan käyttää tuulensuoja-aitoja. (Rakennustietosäätiö 2010.)



**Kuva 4.9.** Rakennuksen sijoitteluun vaikuttavat tekijät (Rakennustietosäätiö 2010).

Kuvan 4.9 mukainen sijoittelu ja rakennuksen muotoilu käyttää hyväkseen auringonlämpöenergiaa lämmitystehon minimoimiseksi ja päivänvalon lisäämiseksi. Tarpeellisilla auringonsuojaratkaisuilla kesäaikaiset liialliset lämpökuormat voidaan hallita ikkunoiden varjostuksilla kasvillisuuden ja rakenteen avulla sekä käyttämällä ikkunasyvennyksiä, säleitä, markiiseja ja auringonsuojalaseja. Varjostuksella voidaan kesäaikana pienentää rakennukseen kohdistuvaa auringonsäteilyn lämpöenergiaa noin 60 %. Kuvassa 4.10 on esitetty kesä- ja talvitilanteiden vaikutus rakennukseen kohdistuviin ulkoisiin kuormiin. (Rakennustietosäätiö 2010.)



**Kuva 4.10.** Ulkoisten kuormien kohdistuminen asuinrakennukseen kesä- ja talvitilanteissa (Rakennustietosäätiö 2010).

Kuvasta 4.10 huomataan auringon kulman sekä kasvillisuuden vaikutus asuinrakennukseen kohdistuvaan auringon lämpökuormaan. Kesäaikana auringon paistaessa korkeammasta kulmasta kasvillisuus ja lipparakenteet varjostavat auringonsäteilyä, joka mahdollistaa viihtyisien asumisolojen muodostumisen. Talvella kasvillisuus varjostaa vähemmän ja lipparakenteiden vaikutus on pienempi, mikä mahdollistaa tehokkaamman auringonsäteilyenergian käytön. (Rakennustietosäätiö 2010.)

### 4.4.3 Ikkunat

Ikkunat ovat lämmöneristyksen ja ulkoisten lämpökuormien kannalta rakennusvaipan heikoin kohta. Suuret ikkunat suunnattuna etelään hyödyntävät aurinkoenergiaa tehokkaasti kylminä vuodenaikoina, joka pienentää rakennuksen lämmitystarvetta, mutta lämpiminä vuodenaikoina rakennukseen kohdistuva aurinkoenergia voi lisätä jäähdytystarvetta. Pohjoiseen suunnatut ikkunat ovat jäähdytyskuorman kannalta edullisimmat. Jäähdytys- ja lämmitystarve eivät ole ikkunoiden ainoa tarkastelun aihe, sillä oikein suunniteltu ja toteutettu ikkuna edistää luonnonvalon käyttöä pienentäen valaistussähkön kulutusta. (Seppänen & Seppänen 1997.)

Ikkunoiden ominaisuuksia tarkasteltaessa ja valittaessa rakennuskohteeseen, tulee huomioida valittavan ikkunan lämmönläpäisykerroin, näkyvän valon läpäisykerroin, ikkunan auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin, g-arvo, sekä ikkunoiden ilmatiiviys. Ikkunan lämmönläpäisykerroin, U-arvo, ilmaisee, miten hyvin lämpö siirtyy lasin läpi ulko- ja sisäilman välillä. Lämmönläpäisykerroin ilmoitetaan lämpövirtana ikkuna-alaa kohden  $W/m^2K$ . Ikkunarakenteen lämmönläpäisevyyteen vaikuttavat ikkunan pinnoitteet, lasien lukumäärä, lasien väliset täytekaasut, karmien tiiviys ja lämmönläpäisevyys sekä lämmöneristävät lämpökatkot. Näkyvän valon läpäisykerroin  $T_v$  ilmoittaa näkyvän valon läpäisyn prosenttiosuuden ikkunapinnan läpi. Ikkunan g-arvo ilmoittaa auringon kokonaissäteilyn prosenttiosuuden, joka siirtyy ikkunan läpi tilaan lämpönä ja säteilynä. Ikkunan g-arvo koostuu suorasta auringonläpäisystä, lasiin absorboituneen lämmön säteilystä tilaan sekä konvektiivisesta lämmönsiirrosta lasista huonetilaan. Mitä suurempi on lasiin kohdistuvan aurinkoenergian suoran läpäisyn osuus, sitä enemmän auringon kokonaislämpöenergiasta kohdistuu huonetilaan lämpökuormana. (Beck et al. 2010; Rakennustietosäätiö 2010.)

Yleisimmät käytössä olevat ikkunatyypit ovat kaksi- ja kolmilasinen, matalaemissiviteettilasi, lämpöä absorboiva lasi ja auringonsuojalasi. Tavallinen kaksilasinen ikkuna koostuu kahdesta ikkunapinnasta, joiden välissä on 6–16 mm ilmarako. Lasin lämmönläpäisykerroin on puolet yksinkertaiseen lasiin verrattuna. Eristävyyden parantuminen perustuu ohuen ilman rajakerroksen lämmöneristävyyteen lasien välissä sekä ilman pieneen lämmönjohtavuuteen. Tavallisen lasituksen lämmöneristävyyttä voidaan parantaa 0,2–0,3  $W/m^2K$  korvaamalla ikkunoiden välinen ilma argonilla tai kryptonilla. (Beck et al. 2010.)

Matalaemissiviteettilasi perustuu pieneen emissivitetin arvoon, joka luodaan ohuella pinnoitteella metallioksidia, useimmiten tinalla tai hopealla. Lasin matalaemissiviteetipinnoitus vaikuttaa lasin termisiin ja optisiin ominaisuuksiin. Matalaemissiviteetipinnoite vähentää säteilylämmönsiirtoa sisä- ja ulkopuolisen lasin välillä jopa 20 % tavalliseen lasiin verrattuna. Näkyvän valon läpäisyyn matalaemissiviteetipinnoitteella ei ole suurta vaikutusta, mutta pitkäaaltoista lämpösäteilyä pinnoite vähentää, mikä johtaa lasin pienempään lämmönläpäisykertoimeen. Toisaalta tällöin asuinrakennuksen jäähdytystehontarve kasvaa. (Beck et al. 2010; Seppänen & Seppänen 1997.)



Lämpöä absorboivaan lasiin on sekoitettu metallioksideja, jotka absorboivat suuren osan infrapunasäteilyä. Absorptiolasi voi saavuttaa erittäin korkean lämpötilan, mikä johtaa huoneen eri pintojen säteilylämpötilojen suuriin eroavaisuuksiin ja paikalliseen tyytymättömyyteen lämpöoloissa. (Beck et al. 2010.)

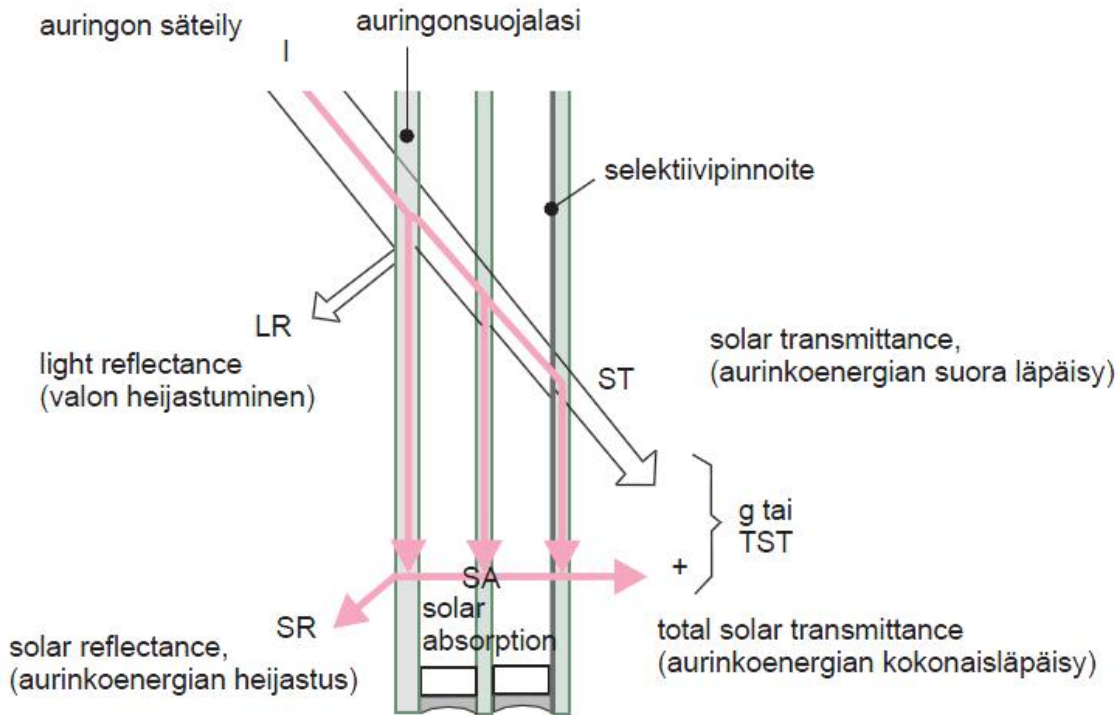
Kesälämpötilojen hallinnan kannalta tehokkain ikkuna on auringonsuojalasein varustettu ikkuna. Auringonsuojalasi perustuu pieneen g-arvoon. Lasin pieni g-arvo voidaan saavuttaa useilla eri tavoilla. Ikkunan g-arvoa voidaan pienentää käyttämällä lämpöä absorboivaa pintalasia, spektristä selektiivi- tai matalaemissiviteettipinnoitetta tai käyttämällä ulkoilmanvastaisena lasina infrapunasäteilyä heijastavaa lasia. (Beck et al. 2010.)

Taulukossa 4.3 on esitetty tavallisimpien ikkunatyyppeiden arvoja. Taulukossa U on lasin kokonaislämmönläpäisykerroin, g auringonsäteilyn kokonaisosuus ikkunapinnan läpi ja  $T_v$  on näkyvän valon läpäisykerroin.

**Taulukko 4.3.** Yleisesti käytettyjen lasien ominaisuudet (Beck et al. 2010).

Ikkunatyyppi	U W/m <sup>2</sup> K	g <sub>lasi</sub> -	T <sub>v</sub> -
Yksinkertainen kirkas 6mm	5,7	0,86	0,89
Kaksinkertainen kirkas 4-12-4	2,8	0,76	0,81
Kaksinkertainen kirkas matalaemissiivi 4-12-4 Ilma	1,5	0,66	0,77
Kaksinkertainen kirkas matalaemissiivi 4-12-4 Argon	0,13	0,66	0,77
Auringonsuojalasi 6-16-6 Argon	1,1	0,34	0,59
Kolminkertainen kirkas 4-6-4-6-4 Argon	1,9	0,67	0,73
Kolminkertainen kirkas matalaemissiivi 4-12-4-12-4 Argon	0,6	0,60	0,74

Kuvassa 4.11 esitetään aurinkoenergian kokonaisläpäisykertoimen muodostuminen auringonsuojalasissa. Ikkunan kokonaisläpäisykertoimeen vaikuttavat ikkunan eri ominaisuudet, joiden mukaan määräytyvät valon ja aurinkoenergian heijastuminen sekä auringonsäteilyn absorboituminen lasiin. Tarkempi g-arvon ja näkyvän valon läpäisevyyden laskenta on esitetty standardissa EN-410, jossa laskenta perustuu spektriin dataan. (Beck et al. 2010.)



**Kuva 4.11.** Auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroimen muodostuminen (Rakennustietosäätiö 2010).

Auringon lämpösäteilyä ikkunan kautta sisälle tuleva lämpövirta muodostuu ikkunan läpäisevästä säteilystä ja absorboituneen säteilyn lämmittämästä ikkunapinnasta, josta lämpöä siirtyy huoneeseen säteilynä ja konvektiona. Sisälle rakennukseen siirtyvä auringon lämpökuorma voidaan laskea kaavan (4.14) mukaisesti, jossa  $a$  on suoran säteilyn osakulman vaikutus,  $g$  on auringon säteilyn kokonaisläpäisykerroin,  $f$  on ikkunan suojauskerroin,  $A$  on ikkunan auringonpaisteelle altistuva osa ja  $I$  on auringon säteilyn kokonaisteho ikkunaan. (Seppänen & Seppänen 1997.)

$$\Phi = a \times g \times f \times A \times I_{\text{kok}} \quad (4.14)$$

Taulukossa 4.4 esitetään yleisimmin käytettyjen ikkunansuojaustapojen vaikutuskerroimet sekä suoran säteilyn vaikutuksen huomioon ottaminen kertoimina ikkunan läpi siirtyvään lämpötehoon.

**Taulukko 4.4.** Tavallisimmat suojauskertoimet  $f$  sekä suoran säteilyn kulman vaikutuksen kertoimet  $a$  (Seppänen & Seppänen 1997; Ympäristöministeriö 2007).

Suojaustapa	Kerroin $f$				
Ei verhoa	1				
Läpikuultavat tekstiiliverhot sisäpuolella	0,8				
Tummat tekstiiliverhot sisäpuolella	0,75				
Värikkäät tekstiiliverhot sisäpuolella	0,7				
Vaaleat tiiviit tekstiiliverhot sisäpuolella	0,5				
Valkoiset sälekaihtimet lasien välissä	0,3				
Valkoiset sälekaihtimet sisäpuolella	0,6				
Ikkunaluukut (säleikkö) ulkopuolella	0,3				
Suoran säteilyn osakulma ja kerroin $a$					
30 °	45 °	60 °	75 °	90 °	Diffuusi säteily
0,97	0,95	0,82	0,52	0	0,6

#### 4.4.4 Terminen massa

Rakennuksien termistä massaa voidaan käyttää hyväksi asuinrakennusten lämmitystä ja jäähdystystä suunniteltaessa. Terminen massa määritellään rakennuksen massana, jolla on kyky sitoa lämpöenergiaa. Terminen massa sitoo itseensä lämpöä ja siten vaimentaa rakennuksen sisälämpötilan vaihtelua ulkoisten ja sisäisten lämpökuormien muuttuessa. (Van der Aa et al. 2011.)

Terminen massa jaetaan kahteen osa-alueeseen: ulkoihin ja sisäisiin termisiin massoihin. Ulkoiset termiset massat kuten seinät ja kattorakenteet altistuvat suoraan ulkoilman lämpötilan vaihteluille. Sisäiset termiset massat, kuten huonekalut, välipohjat ja väliseinät, vaikuttavat sisäilman lämpötilaan. (Van der Aa et al. 2011.)

Rakennuksien lämpöhäviöitä tarkasteltaessa termisen massan ominaisuudet tulee ottaa huomioon. Kesäkaudella terminen massa sitoo sisäisten lämpökuormien energiaa ja hidastaa siten ulkoisten lämpökuormien siirtymistä sisätiloihin. Toisaalta termisen massan varaama yllämpö voi lisätä rakennuksen jäähdystarvetta, mutta varaamalla termiseen massaan yöilman viileyttä vähennetään päivän jäähdystarvetta. (Van der Aa et al. 2011.)

Rakennukset voidaan jakaa kahteen eri osaan riippuen niiden termisen massan ominaisuuksista. Kevyet rakenteet reagoivat nopeasti ympäristön muutoksiin, kuten aurinгон säteilyyn ja lämpötilaan. Raskaita rakennusmassoja, kuten tiili, luonnonkivet, kivet ja betoni, käytetään usein lämpöä varaavina materiaaleina niiden hyvien termisten ominaisuuksien vuoksi. (Van der Aa et al. 2011.)

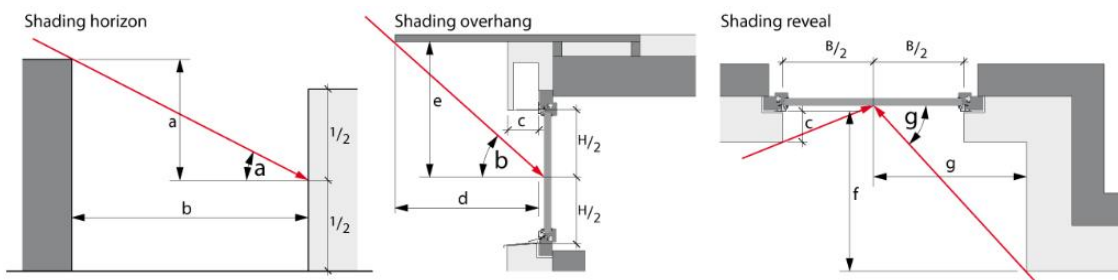
Termisen massan käyttö rakennusten passiiviseen jäähdystykseen soveltuu hyvin kesäisin ulkoilman lämpötilan ollessa alhainen. Tällöin ilmanvaihdon avulla termiseen massaan voidaan varata yöilman viileyttä. Termisen massan käyttö jäähdystykseen vaatii käyttäjältään paljon, on käytettävä sälekaihtimia ja jäähdystyksen tehostamiseksi on avat-

tava tuuletusikkunoita sekä avattava väliovia, jotta lämpö jakaantuisi tasaisesti koko rakennukseen. (Seville 2012.)

Värien valinta vaikuttaa rakenteiden termisiin ominaisuuksiin. Tummat värit absorboivat enemmän lämpöä kuin vaaleammat värit. Vaaleiden pintojen lämpötila pysyy tummia pintoja viileämpänä, näin ollen vaaleita pintoja tulee käyttää kun termistä massaa käytetään jäähdytystarkoitukseen. Lisäksi vaaleat pinnat heijastavat hyvin auringon valoa ja keinovaloa. (Victoria 2012.)

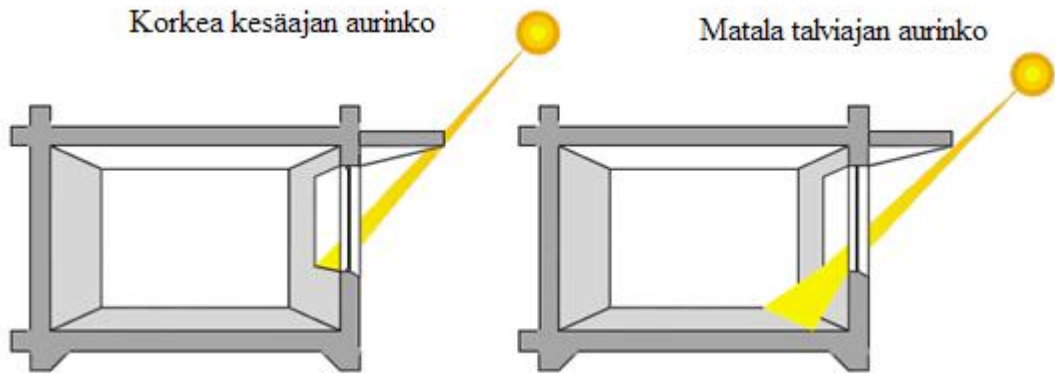
#### 4.4.5 Varjostukset

Kappaleessa 4.4.2 esitettiin, miten rakennuksen varjostukseen voidaan käyttää hyväksi ympäristön puustoa ja maan monimuotoisuutta. Rakennuksen varjostuksen keskeisenä osana kuuluu ottaa huomioon myös asuinrakennuksen kiinteät arkkitehtuurisesti toteutettavat varjostukset. Kuvassa 4.12 on esitetty rakennuksen rakenteellisen varjostuksen pääkeinot, joita ovat horisontaalinen varjostus, ikkunan yläpuolinen lippa tai ikkunan varjostus rakenteellisesti tai syvennyksellä. Kiinteät varjostukset toimivat hyvin auringon suoraa säteilyä vastaan, mutta heijastuneen säteilyn muodostamaa lämpökuormaa ne estävät huonosti. (NorthPass 2010.)



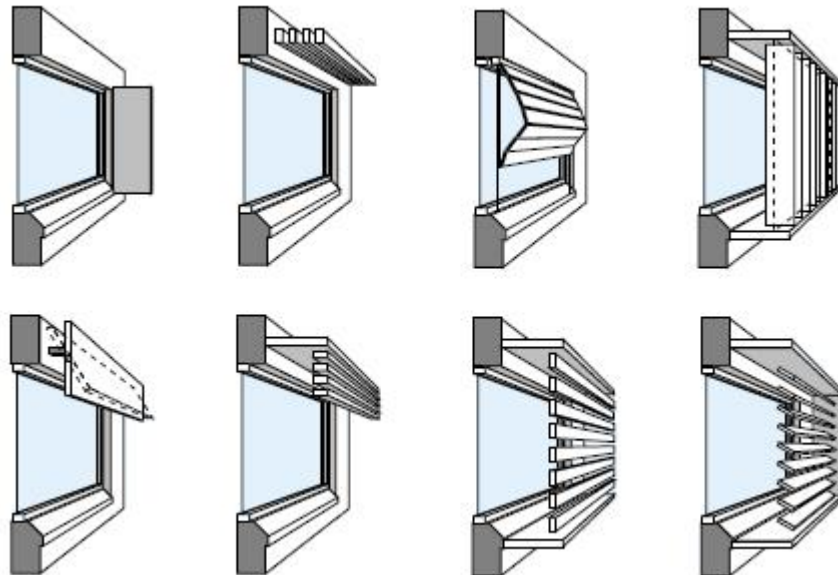
**Kuva 4.12.** Horisontaalisen-, yläpuolisen lipan- ja ikkunan näkyvyysvarjostuksen periaatteet (NorthPass 2010).

Vaakasuora varjostus on yleisimmin käytetty rakenteellinen varjostuskeino. Pohjoisella pallonpuoliskolla vaakasuoraa varjostusta käytetään erityisesti eteläisellä julkisivulla ja sen toteutus onnistuu helposti yläpuolisen parvekkeen tai rakenteen aiheuttaman lipan avulla, kuten kuvassa 4.13 on esitetty. Yläpuolinen vaakavarjostus voi kesäaikaan oikein suunnatussa asuinrakennuksessa varjostaa koko ikkunapintaa, jolloin liialliselta lämpökuormalta vältytään. Talviaikaan yläpuolinen varjostus ei vaikuta pohjoisella pallonpuoliskolla auringonlämpökuormaa pienentävästi, vaan auringon tuottama lämpö voidaan hyödyntää rakennuksen lämmityksessä, koska auringonsäteilyn korkeuskulma on pienempi kuin kesällä. Yläpuolisen lipan mitoitus määritetään rakennuksen sijainnin, ikkunan korkeuden sekä lipan ja ikkunan etäisyyden perusteella. Kuvassa 4.13 on esitetty yläpuolisen lipan toimivuus kesä ja talviaikana. (Stack et al. 2002.)



**Kuva 4.13.** Yläpuolisen lipan varjostavuus kesä- ja talvitilanteessa (Stack et al. 2002).

Yksi ikkunoiden passiivinen auringonsuojaustapa on varjostus muutoin kuin rakenteellisin keinoin. Ulkopuolisiin varjostuksiin kuuluu myös jälkiasennettavat varjostimet, jotka estävät auringon suoran säteilyn kohdistumista ikkunapintaan ja keräävät auringon tuottaman lämpöenergian. Jälkiasennettavat varjostukset ovat kalliimpia asentaa ja ylläpitää kuin rakenteelliset varjostukset. Jälkiasennettavat varjostukset on valittava huolella, sillä niillä on suuri vaikutus julkisivun estetiikalle. Kuvassa 4.14 on esitetty tyypillisimmät käytetyt jälkiasennettavat varjostuskeinot, kuten ylä- ja sivulipat, yläpuoliset säleät, säleät sekä niiden yhdistelmät. (Stack et al. 2002.)



**Kuva 4.14.** Yleisimmin käytetyt ikkunan varjostuskeinot (Stack et al. 2002).

Jälkiasennettavat varjostuskeinot soveltuvat hyvin pohjoisen ilmastoon, sillä ne voidaan tarpeen mukaan suunnata paremmin auringonsäteilyä varjostaviksi tai poistaa kokonaan. Niiden tulee olla tukevia ja kestävä pohjoisen kovat sääolosuhteet. Huollettavuuden ja siirrettävyyden mahdollistaminen voi kohteesta riippuen olla vaarallista, kallista ja vaikeaa. Jälkiasennettavien aurinkosuojien tehokas suojaus auringon suoraa-

haja- ja heijastunutta säteilyä vastaan tekee niistä erittäin hyvän vaihtoehdon eri varjostuskeinoja valittaessa. (Stack et al. 2002.)

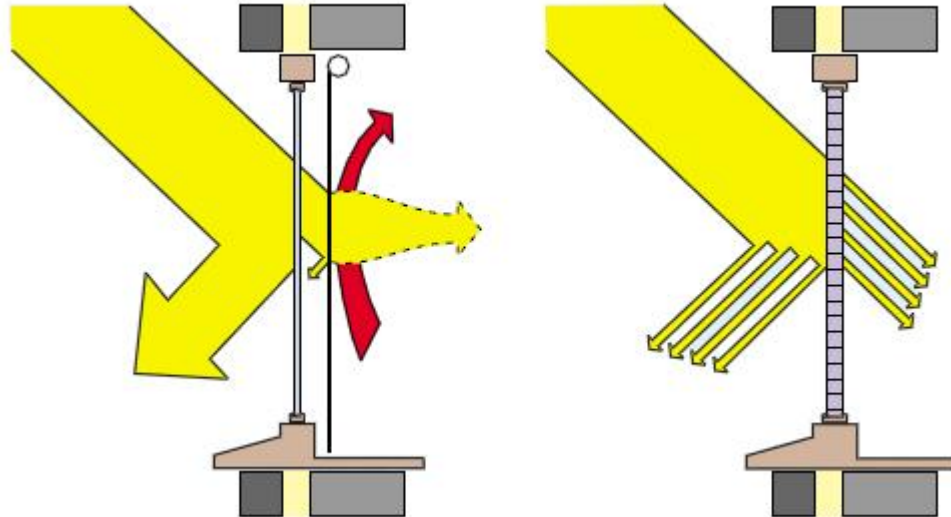
#### **4.4.6 Säleet ja sisäpuoliset screenit**

Ikkunan sisäpuolisia auringonsuojakeinoja ovat sälekaihtimet, screenit ja verhot. Sisäpuoliset varjostuskeinot ovat helposti ohjattavissa ja huollettavissa. Sisäpuoliset auringonsuojat ovat hyviä estämään heijastunutta ja hajasäteilevää valoa, jotka ovat pääsytitä käyttäjän kokemaan häikäisyyn. Sälekaihtimien avulla voidaan ohjata valon kirkkautta ja valonläpäisyä, mutta auringon säteilyn aiheuttamaa lämpösäteilyä ne eivät estä yhtä tehokkaasti kuin ulkoiset auringonsuojaratkaisut. (Stack et al. 2002.)

Sisäpuoliset sälekaihtimet estävät suoran auringonsäteilyn rakennukseen, mutta ikkunan pintaan absorboitunut lämpö kulkeutuu lasin läpi tilaan lämmittäväksi lämpökuormaksi. Rakennukseen tulevan ylitämmön estämisessä sisäisten aurinkosuojien vaikutus on pieni, mutta päivänvalon ja häikäisyn suojauksessa ne toimivat erinomaisesti. Sisäpuoliset auringonsuojat toimivat sitä paremmin mitä lähemmäs uloimpaa ikkunapintaa ne on asennettu, uloimmassa ikkunavälissä oleva sälekaihdin toimii hyvin auringon lämpösäteilyn estäjänä, kun taas sisäpuolella oleva ei. Sälekaihtimia on saatavilla myös auringon lämpösäteilyä heijastavalla pinnoitteella, jolloin ylimääräinen lämpösäteily heijastuu takaisin ulkoilmaan, tällöinkin lämpösäteily voi heijastua edelleen ikkunapinnasta takaisin rakennukseen. (Stack et al. 2002.)

Sisäpuoliset auringonsuojat ovat usein käyttäjien ohjaamia, joten niiden toimivuuden varmistaminen jää käyttäjän vastuulle. Ne voidaan varustaa ohjauksella, mutta usein asuinrakennuskäytössä näin ei tehdä kustannustehokkuussyistä. Väärin käytetyt sisäiset auringonsuojat eivät hyödytä rakennuksen ylitämpötilojen hallinnassa, vaan rakennuksen lämmönhallinta tulee hoitaa eri keinoin. (Stack et al. 2002.)

Tehokkaimpien sisäpuolisten screenien avulla saavutetaan tehokas aurinkoenergian torjunta niin, ettei näkyvyys ulos tai sisään tuleva luonnonvalo heikkene liiaksi. Ikkunarakenteen uloimpaan ikkunaväliin asennettava screen heijastaa auringonlämpösäteilyn takaisin uloimpaan ikkunapintaan, jolloin luonnollinen ulkoilmavirta jäähdyttää lasia. Kuvassa 4.15 on esitetty sisäpuolisen screenin ja sälekaihtimen vaikutus aurinkoenergian suuntautumiseen. (Sunsystems 2012c.)



**Kuva 4.15.** Sisäpuolisen screenin ja sälekaihtimen vaikutus auringonsäteilyyn (Stack et al. 2002).

Sälekaihtimien säleiden kulmalla sekä leveydellä on suuri vaikutus sälekaihtimien toimivuuteen. Leventämällä yksittäisen säleen syvyyttä 50 millimetristä 80 millimetriin voidaan auringon lämpösäteilyn määrää pienentää yli 15 %, kun säleet ovat vaakasuorassa. Säleen leveyden lisäämisellä ei ole niin suurta vaikutusta, kun sälekaihtimia käytetään kulmassa. Esimerkiksi kääntämällä säleet 45 asteen kulmaan, on leveämpi säle vain 12 prosenttia tehokkaampi auringon lämpösäteilyn suojauksessa kuin lyhyempi säle. (Beck et al. 2010.)

#### 4.4.7 Markiisit ja ulkopuoliset screenit

Markiisi on hyvä ikkunapintojen auringon- ja sateensuoja. Markiiseja löytyy eri tyyppisiä ja malleja käyttötarkoituksesta riippuen. Markiisi estää auringon liiallisen lämpösäteilyn pääsyn ikkunasta sisälle, mikä mahdollistaa viileämmän sisälämpötilan. Markiiseja on saatavilla moottoroituna, mikä helpottaa markiisien käyttöä. Lisäksi markiisit on mahdollista täysin automatisoida, jolloin niitä voidaan ohjata auringon lämpösäteilyn ja tuuliolosuhteiden perusteella. (Sunsystems 2012a.)

Ulkopuoliset screenit soveltuvat hyvin rakennuksien auringonsuojaratkaisuksi niiden hyvien auringonsuojaominaisuuksien vuoksi sekä muita auringonsuojaratkaisuja yksinkertaisemman jälkiasennusmahdollisuuden vuoksi. Ulkopuoliset screenit estävät tehokkaasti liiallisen auringon lämpösäteilyn tunkeutumisen asuntoihin. Auringon lämpösäteilystä suuri osa voidaan pysäyttää rakennuksen ulkopuolelle, jolloin asumisviihtyvyys lisääntyy ja rakennuksen jäähdytystarve pienenee. Käyttämällä screen-kankaita voidaan keinovalon määrää vähentää verrattuna markiiseihin, sillä osa näkyvästä valosta läpäisee screenin ja valaisee tilaa. (Sunsystems 2012b.)

Markiiseja ja screenejä on saatavilla useita erilaisia käyttötarkoituksesta riippuen, kuten tavallinen, liukuva, taittuva itseään kannattava ja tilan peittävä markiisi sekä eri variaatioita screeneistä, kuten laskostettu ja rullautuva malli. Tavallisia markiiseja käy-

tetään yleisesti pienissä ikkunoissa. Liukuva markiisi on markiisin ja screenin yhdistelmä, joka on mahdollista laskea haluttuun korkeuteen kokonaan ikkunan peittävänä ja ikkunana alaosa varjostavana. Liukuvan markiisin alaosa varjostaa kuten markiisi, se soveltuu erinomaisesti korkeille ikkunapinnoille. Itseään kannattava markiisi vaatii paremman ja tukevamman seinäkiinnityksen. Itseään kannattava markiisi soveltuu paremmin leveisiin ikkunoihin, sen asennuksessa on kuitenkin huomioitava muita markiiseja suurempi tuuliherkkyys. Yleisesti käytetyt screen- ja markiisityypit on esitetty kuvassa 4.16. (Hall 2008.)



**Kuva 4.16.** Erilaisia markiisi- ja screen vaihtoehtoja (Beck et al. 2010).

Markiisissa käytetyllä kankaalla on suuri merkitys markiisin toimivuuden kannalta. Lundin yliopistossa tehdyssä tutkimuksessa on vertailtu tavallisen markiisin energiateknisiä ominaisuuksia vaalealla sekä tummalla kankaalla. Wallin ja Bülow-Hüben (2001) tutkimus osoittaa, että markiisi suojaa tehokkaimmin keskipäivällä auringon paisteen ollessa suurimmillaan. Markiisin kankaan vaikutus on suuri, sillä auringon lämpöenergiasta 12 % läpäisi tummalla kangasmateriaalilla varustetun markiisin ja vastaava arvo vaalealla kankaalla on 26 %. (Wall & Bülow-Hübe 2001.)

## 4.5 Yliämpötilojen hallinta aktiivisilla jäähdytysmenetelmillä

### 4.5.1 Tuloilman jäähdytys

Suomen olosuhteissa hellejakson pituus on keskimäärin noin 15 päivää. Tänä aikana rakennusten sisäilman lämpötiloja voidaan hallita ilmanvaihdon tehostuksella. Ilmanvaihdon tehostuksella rakennuksen termiseen massaan voidaan varata yöilman viileyttä. Päiväaikaan rakenteet lämpenevät hitaasti miellyttävälle tavoitealueelle. Termiseen massaan varaaminen yöaikaisen tuloilman viileyden avulla edellyttää lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän säädettävyyttä tarpeen mukaisesti. Asuinrakennusten tuloilma kannattaa ottaa pohjoiselta julkisivulta matalamman päivälämpötilan vuoksi. (Rakennustietosäätiö 2010; Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2009.)



Ilmavirtaa voidaan jäähdyttää myös aktiivisesti jäähdytyspattereilla. Tällöin ilmavirta kohtaa kylmän pinnan, jonka lämpötila on alle kastepisteen, jolloin vesihöyry tiivistyy jäähdytyspatterin pinnalle. Kylläinen kylmä ilma sekä pintaa koskematon tuloilma sekoittuvat jäähdytyspatterin jälkeen, jolloin saadaan kylläisen ilman ja ohitse menneen ilman sekoitus. Sekoittunut ilmavirta on alkuperäistä ilmavirtaa viileämpää ja kosteampaa. (Seppänen & Seppänen 1997.)

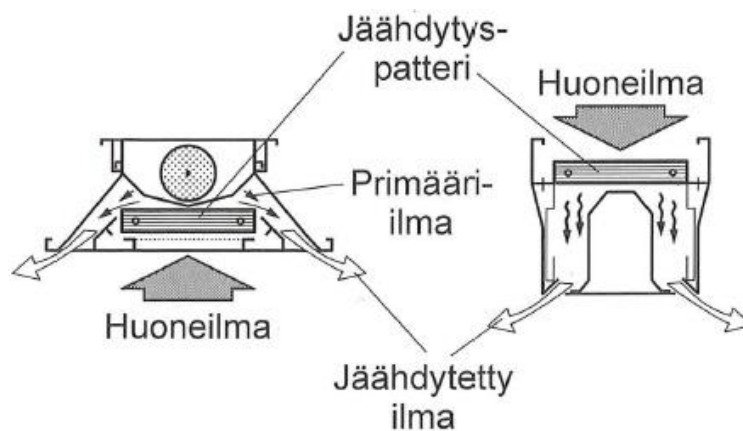
Rakennuksen jäähdytysteho paranee, jos tuloilman lämpötila lasketaan mahdollisimman alas. Tuloilman lämpötilaa ei voida kuitenkaan laskea kovin kylmäksi, koska käyttäjät kokevat herkästi vedon tunnetta tuloilman laskiessa alle 16 asteen. Jos rakennus varustetaan tuloilman viilennyksellä, on ilmanvaihtokanavat eristettävä, jotta niiden ulkopintaan ei tiivisty kosteutta tai tuloilma lämpene haitallisesti ilmanvaihtokanavissa. (Motiva 2012; Saari & Laine 2009.)

Tuloilman viilennyksen avulla on kesäaikaan mahdollista saavuttaa 2–3 asteen lämpötilan lasku asuinrakennuksessa, joka on varustettu ympärivuorokautisella ilmanvaihdolla ja normaaleilla ilmavirroilla. Huonelämpötilan laskiessa myös ilmankosteus pienenee ja käyttäjä kokee sisäilman miellyttävämmäksi. (Motiva 2012.)

#### 4.5.2 Jäähdytyspalkit

Rakennuksen jäähdytys voidaan toteuttaa jäähdytyspalkeilla, joissa lämmönsiirto tapahtuu konvektion ja säteilyn avulla. Kiertävä vesi jäähdyttää jäähdytyspalkin lämmönsiirripinnat, jotka absorboivat huoneen yllämmön. Laitteen läpi kiertävä ilmavirta vaihtelee tilaan asetetun jäähdytystarpeen mukaan. Jäähdytystehoa on mahdollista säätää huonetermostaattilla sekä vesivirtaa säätävällä säätöventtiilillä. (Halton Oy 2012.)

Jäähdytyspalkit jaetaan toimintaperiaatteen perusteella aktiivi- tai passiivipalkkeihin. Passiivipalkki kierrättää huoneilmaa ja lämpö siirtyy säteilynä sekä luonnollisena konvektiona. Aktiivipalkkeihin on lisäksi lisätty tuloilma, joka mahdollistaa tehokamman lämmönsiirron pakotetun konvektion ansiosta. Kuvassa 4.17 on esitetty aktiivi- ja passiivipalkin toimintaperiaate. (Seppänen 2004.)



**Kuva 4.17.** Jäähdytyspalkin toimintaperiaate. Vasemmalla aktiivipalkki ja oikealla passiivipalkki. (Seppänen et al. 2004.)

Lämmin huoneilma siirtyy ylhäältä alaspäin lämmönsiirrinpinnan läpi, jolloin se jäähtyy. Lämmönsiirrosta noin 80 % tapahtuu konvektiona ja noin 20 % säteilynä. Lämpö siirtyy putkessa virtaavaan jäähdytysveteen, josta se voidaan siirtää edelleen käyttöön. Jäähdytyspalkeiksi voidaan laskea myös erilaiset säle- ja tasokattoelementit. Niiden jäähdytysteho on jopa 25 % heikompi kuin normaalilla palkilla, sillä ne on sijoitettu alakattoon, jolloin säteilyn osuus on suurempi. (Seppänen et al. 2004.)

Jäähdytystarpeen määrittämisen jälkeen on valittava jäähdytyspalkki ja sille optimaaliset veden mitoituslämpötilat ja kytkentätapa, jotta asetettuihin jäähdytystavoitteisiin päästään. Veden mitoituslämpötila on usein 8–12 astetta huonelämpötilaa alhaisempi siten, ettei menoveden lämpötila ole huoneilman kastepistettä alhaisempi. Normaalisti menoveden lämpötila on 14–15 °C ja paluuvesi on 3 °C korkeampi. Suuren jäähdytystarpeen rakennuksissa jäähdytyspalkkien menoveden lämpötilaksi voidaan asettaa 7 °C ja paluueden lämpötilaksi 12 °C. Tällöin menoveden lämpötila on alle huoneilman kastepisteen, jolloin päätelaite on varustettava kondenssiveden poistolla. (Chiller 2012; Seppänen et al. 2004.)

Putkistot mitoitetaan siten, että veden virtaus on turbulენტista paremman lämmönsiirron varmistamiseksi. Jäähdytyspalkkeja voidaan käyttää myös rakennuksen lämmitykseen, mutta tällöin ongelmaksi voi muodostua tuloilman kertyminen huonetilan yläosaan. (Seppänen et al. 2004.)

### 4.5.3 Puhallinkonvektorit

Puhallinkonvektorit mahdollistavat jäähdytyspalkkeja korkeatasoisemman ilmaston, sillä puhallinkonvektorit voidaan varustetaa ilman suodatuksella sekä lämmitys ja jäähdytystoiminnoilla. Puhallinkonvektorilla on mahdollista toteuttaa huoneen lämmitys-, jäähdytys- ja ilmanvaihtotoiminnot. Puhallinkonvektorin jäähdytysperiaate on sama kuin aktiivijäähdytyspalkissa. Puhallinkonvektori on mahdollista asentaa ulkoseinälle tai kattoon ja se soveltuu jäähdytyspalkkeja paremmin tiloihin, joissa on suuret lämpökuormat. Puhallinkonvektorin lämmönsiirtoa on tehostettu puhaltimella, joka kierrättää huoneilmaa tehokkaammin. Puhallin mahdollistaa ilmavirran säädön ja näin ollen nopeat lämpötilan muutokset on mahdollista toteuttaa. (Seppänen et al. 2004.)

Suomessa yleisimmät käytössä olevat puhallinkonvektorit on toteutettu kondensoimattomina, keskitettyyn ilmanvaihtoon sekä lämmitys- ja jäähdytyspiiriin liitettäviksi. Pienen jäähdytystehon puhallinkonvektoreita ei varusteta kondenssiveden viemäröinnillä, jos menoveden lämpötila on huoneen kastepistettä korkeampi. Suuren jäähdytystehon laitteet varustetaan kondenssiveden poistolla. Puhallinkonvektorin tehonsäätö on toteutettu kuten jäähdytyspalkeissa eli vesivirtaa säätämällä sekä lisäksi puhaltimen pyörimisnopeuden säädöllä. (Seppänen et al. 2004.)

### 4.5.4 Pintajäähdytys

Asuinrakennusten jäähdytysjärjestelmänä pintajäähdytystä käytetään yleisesti uusissa rakennuksissa Keski- ja Pohjois-Euroopassa. Pintajäähdytys perustuu termisen massan

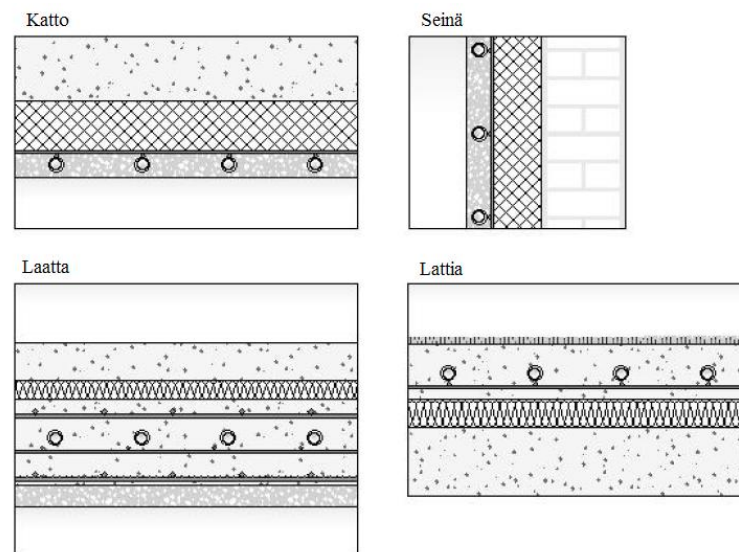
käyttöön, jolloin lattia-, katto- tai seinärakenteet varustetaan putkistoilla, joissa kiertää jäädyttävä neste. Jäädytysputkistojen, joiden halkaisija on 10–25 mm, asennetaan rakenteisiin 50–100 mm jaolla 25–40 mm syvyyteen. Tämä mahdollistaa rakenteiden riittävän tasaisen pintalämpötilan. Taulukossa 4.5 esitetään pintajäähdytykselle asetetut raja-arvot, joilla mahdollistetaan hyvä lämpöviihtyvyys. (Babiak et al. 2009.)

**Taulukko 4.5.** Pintajäähdytyksen kokonaislämmönsiirtokerroimet, sallitut lämpötilat ja jäähdytystehot rakennuksen eri pinnoille huonelämpötilassa 26 °C (Olesen 2000).

Rakenne	Kokonaislämmönsiirtokerroin W/m <sup>2</sup> K	Sallittu pintalämpötila °C	Maksimi- jäähdytysteho W/m <sup>2</sup>
Lattia	7	20	42
Seinä	8	17	72
Katto	11	17	99

Taulukosta 4.5 havaitaan, että lattiapinnalle asetettu jäähdytysteho tulee olla seinä- ja kattorakenteisiin sallittua jäähdytystehoa pienempi, sillä käyttäjän kokema lämpöviihtyvyys heikkenee oleellisesti pinta-lämpötilan laskiessa, kuten kuvasta 4.2 havaittiin. Lattian pintalämpötilan laskiessa alle 20 asteen, lämpöviihtyvyyteen tyytymättömien osuus kasvaa.

Jäädytysputkistoissa kiertävän jäädyttävän nesteen minimilämpötilana on usein käytetty 15 astetta riippuen eri rakenteiden ominaisuuksista, jotta jäähdytysteho pysyy sallituissa rajoissa. Jos rakennuksen ilmanvaihto on varustettu ilman kosteuspitoisuuden mittauksella, voidaan tilaa jäädyttää taulukon 4.5 mukaisella maksimijäähdytysteholla, muuten jäähdytystehoa on vähennettävä pintaan kondensoituvan kosteuden välttämiseksi. Kuvassa 4.18 on esitetty pintajäähdytyksen mahdollistavan putkiston asennustavat. (Rakennustietosäätiö 2008.)



**Kuva 4.18.** Pintajäähdytysputkiston asennusvaihtoehtoja (Olesen 2000).

Kuvassa 4.18 on esitetty pintajähdytysputkiston asennusvaihtoehdot rakennuksien katto-, seinä-, laatta- ja lattiarakenteisiin. Pintajähdytystä suunniteltaessa tulee varmistaa, ettei lattian pintalämpötila laske alle sisäilmastoluokituksen mukaisia sallittuja pintalämpötilojen arvoja 17–19 °C. (Olesen 2000; Rakennustietosäätiö 2008.)

## 4.6 Valintakriteerit

Kuten edellä on esitetty, passiivisia auringonsuojaratkaisuja on monenlaisia. Auringon liialliselta säteilyltä voidaan suojautua sisäisillä tai ulkoisilla auringonsuojaratkaisuilla, sekä jälkiasennettavilla ratkaisuilla, jotka voidaan tarpeen mukaan poistaa. Lisäksi rakennus voidaan varustaa riittävällä aktiivisella jäähdytyksellä, joka mahdollistaa viihtyisät asumisolot. (Beck et al. 2008.)

Auringonsuojaratkaisua valittaessa tulee rakennuksen muoto, sijainti ja suuntaus, auringonsäteilyn osat sekä muut mahdolliset lämpökuormat ottaa huomioon. Ilmasto ja rakennuksen suuntaus vaikuttavat auringon lämpöenergian kohdistumisen voimakkuuteen sekä etelään suunnatun julkisivun suojauksen tarpeeseen. Rakennuksen ilmaston tuuliolosuhteet voivat olla liian voimakkaat, mikä voi johtaa auringonsuojaratkaisujen vaihtoehtojen karsimiseen. Rakennuksen korkeuden kasvaessa riittävän suureksi voidaan auringonsuojaratkaisuina käyttää vain sisäpuolisia ratkaisuja. Historiallisten ja suojeltujen asuinrakennusten kohdalla on mahdolliset auringonsuojaratkaisut mietittävä tapauskohtaisesti. Käyttäjän odotukset ja toiminta vaikuttavat valittaviin auringonsuojaratkaisuihin. (Beck et al. 2008.)

Asuinrakennuksen auringonsuojauksen valinnoissa on pohdittava auringonlämpösäteilyn ja päivänvalon suhdetta. Varjostavilla auringonsuojilla auringon lämpösäteilyn määrää voidaan tehokkaasti säädellä. Toisaalta varjostavat auringonsuojat vähentävät päivänvalon saantia ja lisäävät valaistustarvetta, mikä heikentää asumisviihtyvyyttä. Auringonsuojien valinnassa tulee ottaa huomioon käyttäjän tarpeet sekä riittävä päivänvalon saanti asumisviihtyvyyden parantamiseksi. Ulkopuolisella dynaamisesti ohjatulla auringonsuojauksella saavutetaan korkein sisäilmaston laatu päivänvalon kannalta tarkasteltuna pienimmällä sähkönkäytöllä. (Meek & Breshears 2010.)

## 5 LÄMPÖOLOT JA ENERGIASIMULOINTI

### 5.1 Tutkimuksen kuvaus

Tässä luvussa tarkastellaan case-kohteiden avulla eri ratkaisujen vaikutuksia asuinrakennusten kriittisten asuntojen kesäaikaisiin lämpöoloihin. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää keinot, joilla asuinrakennuksen ylälämpötilat voidaan hallita sekä miten rakennus täyttää Suomen rakentamismääräyskokoelman asettamat kesäajan lämpötilavaatimukset. Case-kohteina tutkimuksessa käytetään kahta eri asuinkerrostaloa Verrokkiasuinkerrostalo 1 ja Verrokkiasuinkerrostalo 2.

Asuinrakennusten ylälämpötilojen hallitsemiseksi ylälämpöongelmaan haetaan ratkaisuja IDA Indoor Climate and Energy 4 (IDA-ICE) 4.21 -simulointiohjelmistolla. IDA Indoor Climate and Energy -simulointiohjelmalla voidaan tutkia tarkasti rakennuksen eri vyöhykkeiden sekä koko rakennuksen sisäilmasto-olosuhteita ja energiankulutusta. IDA-ICE ohjelmistoa käytettäessä rakennuksen kriittisin asunto on jaettu huonetoittain simuloitaviin vyöhykkeisiin, mikä mahdollistaa tarkemman tarkastelun. (Equa AB & SIY Sisäilmatieto Oy 2002).

### 5.2 Case-kohteiden kuvaus

Tarkasteluun valittu asuinkerrostalokohde Verrokkiasuinkerrostalo 1 on 6-kerroksinen rakennus, jossa on yhteensä 31 asuntoa. Rakennuksen huoneistoala on  $1542,5 \text{ htm}^2$ , bruttopinta-ala  $2281,5 \text{ brm}^2$  ja rakennustilavuus  $6697 \text{ rak-m}^3$ . Kerroskorkeus on 3 m ja huonekorkeus 2,6 m. Rakennuksen ensimmäisessä kerroksessa on väestönsuoja, varastot, pesula, kuivaushuone, sauna, pesu- ja pukuhuone, wc sekä talotekniikkajärjestelmien tekniset tilat. Kerrokset 2–6 ovat identtiset ja niissä on 6 asuntoa parvekkeineen.

Kesäaikaisten lämpöolojen tarkastelun kohteeksi valittiin lisäksi arvokkaampaa kerrostaloa edustava kohde Verrokkiasuinkerrostalo 2, jossa on myös suurempia kahden kerroksen asuntoja suurilla ikkunapinnoilla. Rakennuksen huoneistomäärä on 29 ja pinta-ala  $1796,0 \text{ htm}^2$ , bruttopinta-ala  $2820 \text{ brm}^2$  ja rakennustilavuus  $8390 \text{ rak-m}^3$ . Kerroskorkeus on 3 m ja huonekorkeus 2,6 m. Kellarikerroksessa on autohalli. Ensimmäisessä kerroksessa on rakennuksen jätehuone, lämmin välivarasto, ulk välivarastot, kerhotila, wc, pesula ja kuivaushuone sekä 1 asunto. Kerroksissa 2–6 on tavanomaisia kerrostaloasuntoja. Kerroksessa 7 on rakennuksen saunatilat sekä 3 kahden kerroksen asuntoa katetuilla terasseilla ja parvekkeilla. Ylimmässä kerroksessa 8 on vielä lisäksi IV-konehuone. Valittuja Case-kohteita vastaavat asuinkerrostalot esitetään kuvassa 5.1.



**Kuva 5.1.** Verrokkiasuinkerrostalo 1 ja Verrokkiasuinkerrostalo 2 (NCC 2012a; NCC 2012b).

## 5.3 Simuloinnin lähtötiedot

### 5.3.1 Yleiset

Kesäajan yllämpötilojen tarkasteluun valittujen case-kohteiden rakennusteknisiksi ominaisuuksiksi valittiin käytettäväksi Suomen rakentamismääräyskokoelman 2012 osan D3 määrittämiä U-arvoja. Rakennuksien ilmanvuotoluvuksi tarkasteluissa asetettiin energiatehokkaan rakentamistavan mukaiset ilmanvuotoluvut, jotka on asetettu myös case-kohteiden rakentamistavoitteiksi. Rakennusten ominaisuuksia on esitetty taulukossa 5.1.

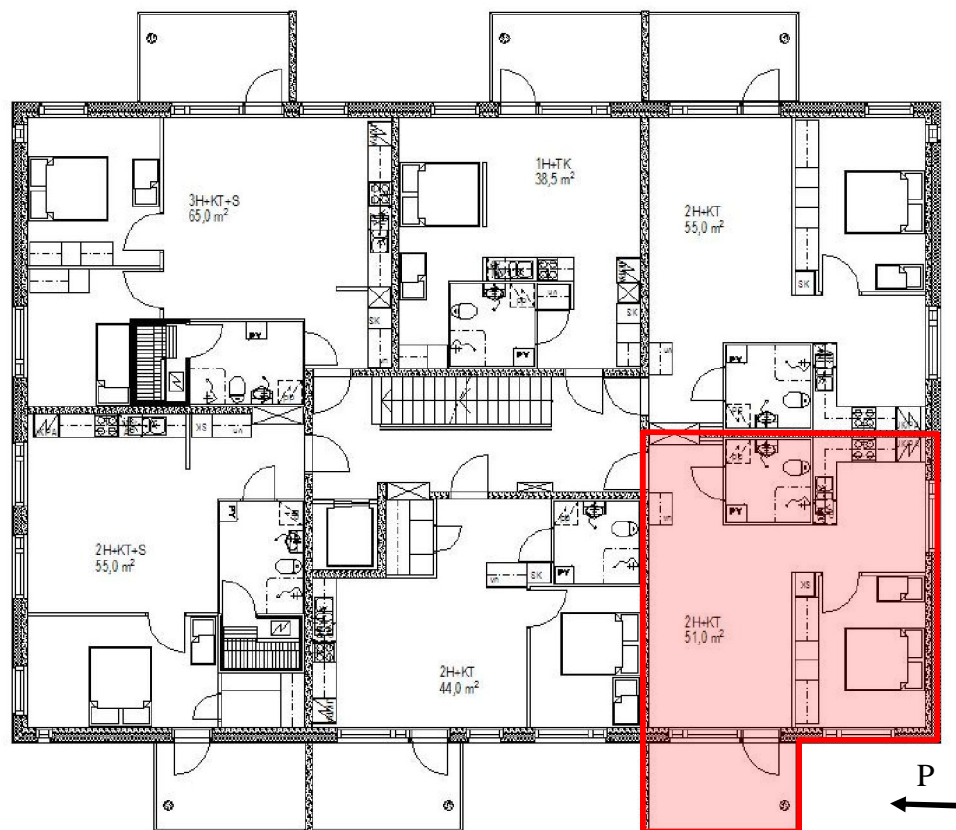
**Taulukko 5.1.** Case-kohteiden rakennustekniset ominaisuudet.

Ominaisuus	Yksikkö	Verrokkiasuinkerrostalo 1	Verrokkiasuinkerrostalo 2
U-arvot			
Ulkoseinä	W/m <sup>2</sup> K	0,17	0,17
Yläpohja	W/m <sup>2</sup> K	0,09	0,09
Alapohja	W/m <sup>2</sup> K	0,16	0,16
Ikkuna	W/m <sup>2</sup> K	1,0	1,0
Ovet	W/m <sup>2</sup> K	1,0	1,0
Ilmanvuotoluku			
n <sub>50</sub>	1/h	1,0	1,0
q <sub>50</sub>	m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> )	1,17	1,82
Kompaktisuus A <sub>vaippa</sub> /V <sub>rakennus</sub>	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0,28	0,34
g <sub>ikkuna</sub>	-	0,55	0,55

Taulukossa 5.1 on esitetty rakennusteknistien ominaisuuksien lisäksi case-kohteiden kompaktisuuden arvot. Vaipan alan suhteesta rakennuksen tilavuuteen ja kuvan 4.8 pe-

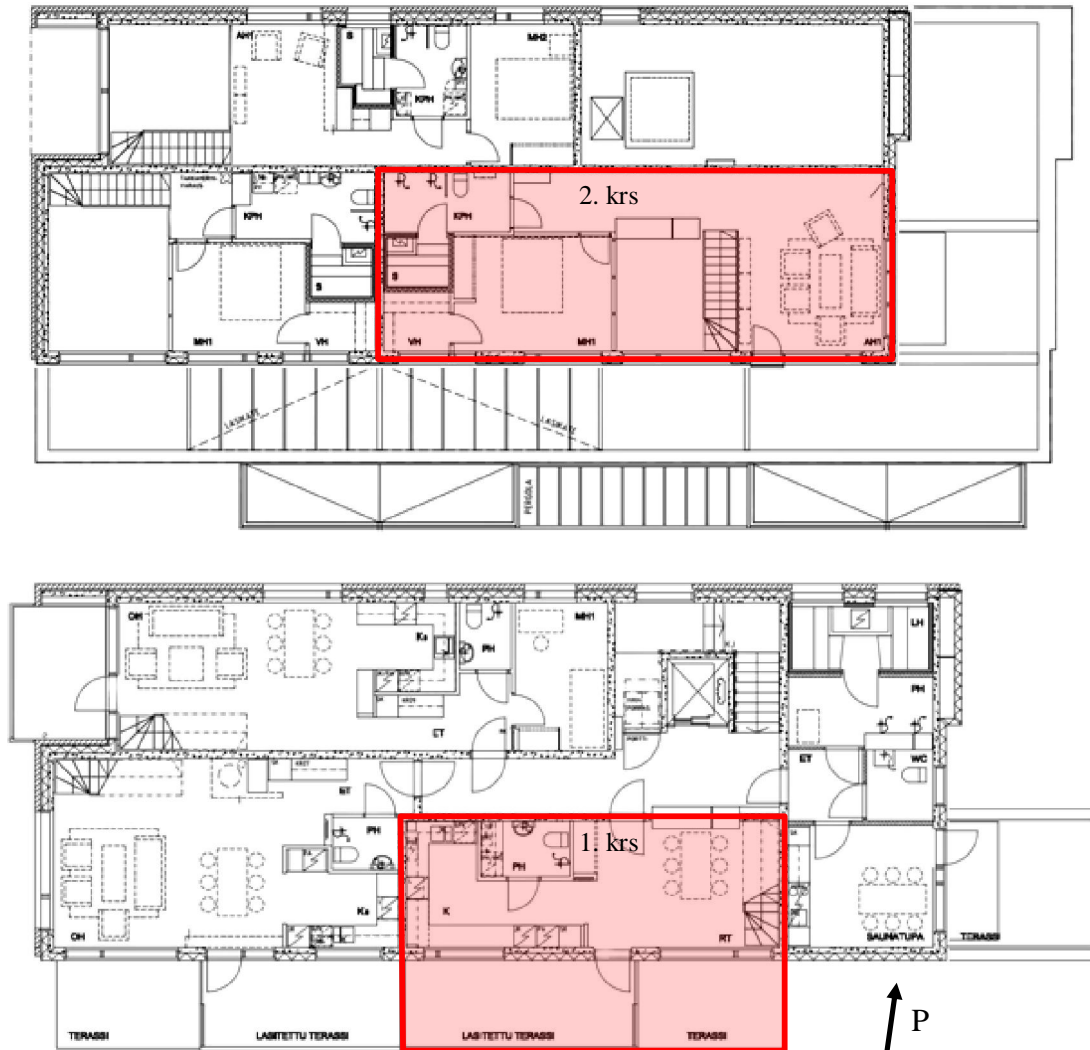
rusteella voidaan havaita, että case-kohteet edustavat tyypillisiä vuoden 2012 asuinkerrostaloja muodoltaan ja rakennusteknisiltä ominaisuuksiltaan, jolloin rakennuksen lämpöhäviöt vaipan yli sekä ulkoisten kuormien kohdistuminen asuinrakennukseen pintaan ovat tavanomaiset.

Verrokkiasuinkerrostalojen kesäajan lämpöolojen kriittisten asuntojen todentamiseksi tarkasteltiin kuvissa 5.2 ja 5.3 esitettyjä kerroksia. Verrokkiasuinkerrostalon 1 kuvassa 5.2 näkyvä kerros 5 mallinnettiin kokonaan ja tarkasteltiin ilmansuunnittain. Simulointien perusteella kriittisimmäksi asunnoksi valittiin asunto, johon kohdistui simulointien perusteella eniten lämpökuormia. Verrokkiasuinkerrostalon 2 kriittinen asunto valittiin asunnon koon, rakennusteknisten ominaisuuksien sekä asuntoon kohdistuvien lämpökuormien perusteella. Kuvissa 5.2 ja 5.3 on esitetty valitut kriittiset asunnot sekä ilmansuuntia kuvaava pohjoisnuoli. Kuvissa kriittiset asunnot on rajattu punaisilla alueilla.



**Kuva 5.2** Verrokkiasuinkerrostalo 1, kerros 5/6, kriittinen asunto (Optiplan Oy 2012).

Verrokkiasuinkerrostalon 1 kriittinen asunto on kaksio (2h+kt, 51 m<sup>2</sup>), joka edustaa kooltaan Verrokkiasuinkerrostalon 1 keskimääräistä asuntoa. Valitussa asunnossa ikkunoiden suuntaus on etelän ja lännen suuntaisilla julkisivuilla, lisäksi asunnon länteen suunnattu parveke on lasitettu.



**Kuva 5.3** Verrokkiasuinkerrostalo 2, kerrokset 7–8/8, kriittinen asunto (Arkkitehtitoimisto Helamaa ja Pulkkinen Oy 2010).

Verrokkiasuinkerrostalon 2 kriittinen asunto on iso kahden kerroksen kolmio ( $3h+k+s$ ,  $93 \text{ m}^2$ ), joka edustaa arvokkaamman luokan asuntoa. Asunto on varustettu normaalia asuinkerrostalohuoneistoa suuremmilla etelään suunnatuilla ikkunapinnoilla. Lisäksi asunnossa on suuri etelään suunnattu katettu terassi sekä parveke.

Taulukossa 5.2 esitetään verrokkiasuinkerrostalojen kriittisille asunnoille mitoitettut ilmavirrat, joita käytetään simulointien perusilmanvaihtona asunnoissa. Verrokkiasuinkerrostalon 1 ja Verrokkiasuinkerrostalon 2 kriittinen asunto on varustettu omalla ilmanvaihtokoneella. Ilmavirrat on mitoitettu näiden lähtötietojen perusteella ja Suomen rakentamismääräyskokoelman 2012 osan D2 mukaisesti.

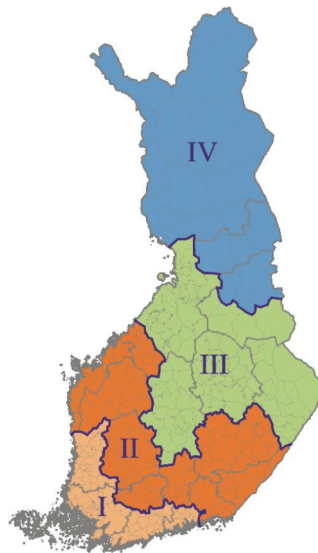


**Taulukko 5.2.** Case-kohteiden ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmamäärät.

Tila	Yksikkö	Verrokiasuinkerrostalo 1		Verrokiasuinkerrostalo 2	
		Tulo	Poisto	Tulo	Poisto
Makuuhuone	l/s	12		12	
Olohuone	l/s	9		14	
Ruokailutila	l/s			11	
Sauna	l/s			6	6
Kylpyhuone	l/s		15		15
Keittiö	l/s		8		8
Pesuhuone	l/s				15
Vaatehuone	l/s				3
<b>Yhteensä</b>	<b>l/s</b>	<b>21</b>	<b>23</b>	<b>43</b>	<b>47</b>
IV-kerroin	1/h		0,62		0,54
Tuloilma/poistoilma			0,91		0,91

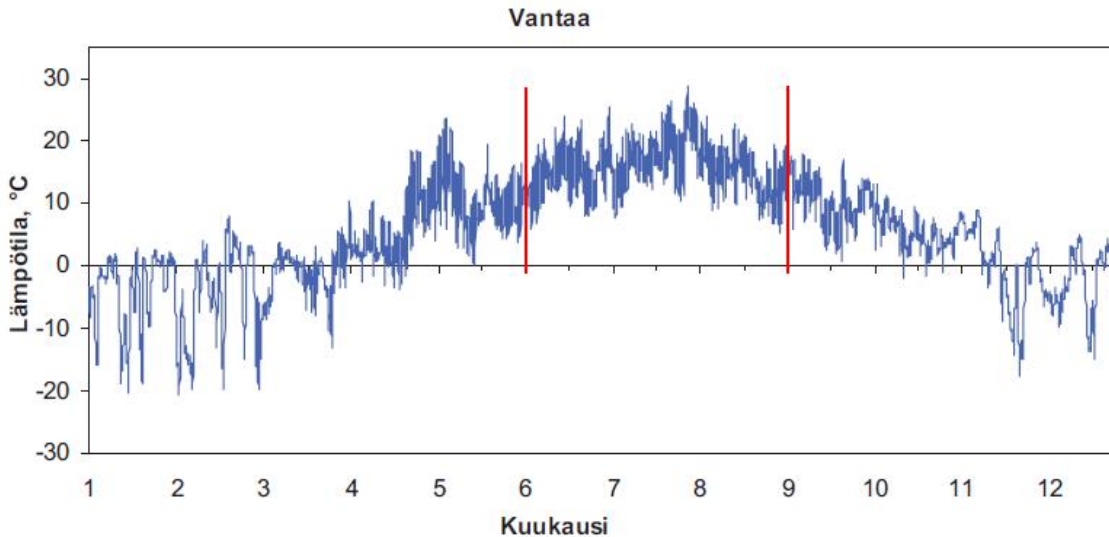
### 5.3.2 Laskennan säätiedot

Asuinrakennusten kesälämpötilan määräyksienmukaisuuden osoittavissa simuloinneissa käytetään säätietoina Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 mukaisesti testivuoden lämpötilavyöhykkeen I Helsinki-Vantaa 2012 sääolosuhteita TRY2012. TRY2012 tunnikohtaisten sääaineistojen aikasarjojen sääaineistot on jaettu alueittain lämpötilavyöhykkeisiin I–II (Vantaa), III (Jyväskylä) ja IV (Sodankylä), jotka esitetään kuvassa 5.4. (Jylhä et al. 2011.)

**Kuva 5.4.** Sääaineiston TRY2012 mukainen aluejako (Jylhä et al. 2011).

Sääaineisto TRY2012 sisältää aikasarjat lämpötilalle, suhteelliselle kosteudelle, tuulen suunnalle ja nopeudelle sekä auringon kokonaissäteilylle, hajasäteilylle ja auringon

sädettä vastaan kohtisuoran pinnan saamalle suoralle säteilylle. Laskennassa käytetyn I–II lämpötilavyöhykkeen aikasarjojen keskimääräiset arvot esitetään liitteessä 1. (Jylhä et al. 2011) Kuvassa 5.5 esitetään käytetyn säävyöhykkeen vuotuisen lämpötilan vaihtelu ja Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 määrittämä kesäaikaisen lämpötilasimuloinnin aikataulu 1.6.–31.8.

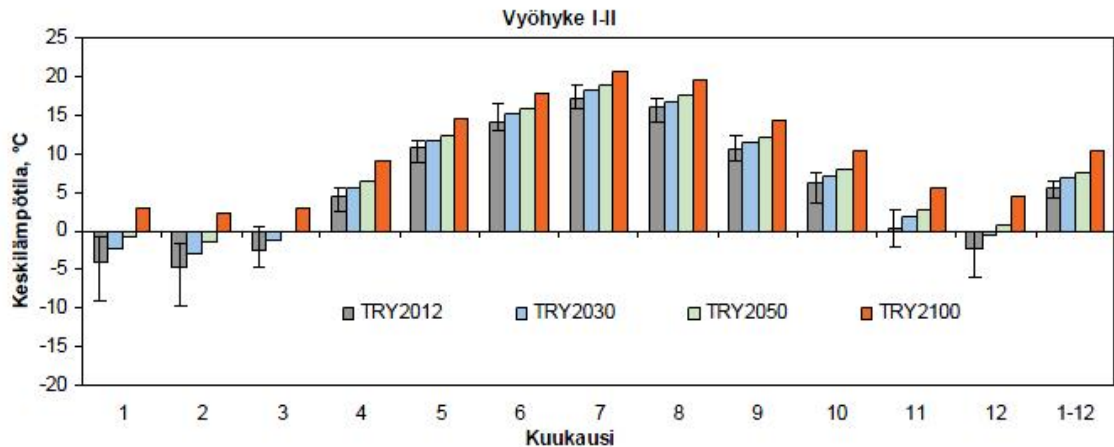


**Kuva 5.5.** Käytetyn lämpötilavyöhykkeen vuotuinen lämpötilan vaihtelu sekä kesäajan simuloinnin lämpötila-alue säävyöhykkeessä I–II (Jylhä et al. 2011; Ympäristöministeriö 2011b).

Vuoden 2012 testisää TRY2012 vastaa todellisemmin viime vuosien keskimääräistä säätä, jolloin se soveltuu paremmin rakennusten energialaskelmiin kuin vanha testivuosi 1979. Uuden testisään sääolot on luotu vastaamaan mahdollisimman hyvin vuosien 1980–2009 pitkäaikaisia keskiarvoja sekä ilmaston lämpenemistä vuoden 1979 jälkeen. Uusi testivuosi on noin 0,7–1,3 astetta lämpimämpi vuosi kuin vanha testisää. (Jylhä et al. 2011.)

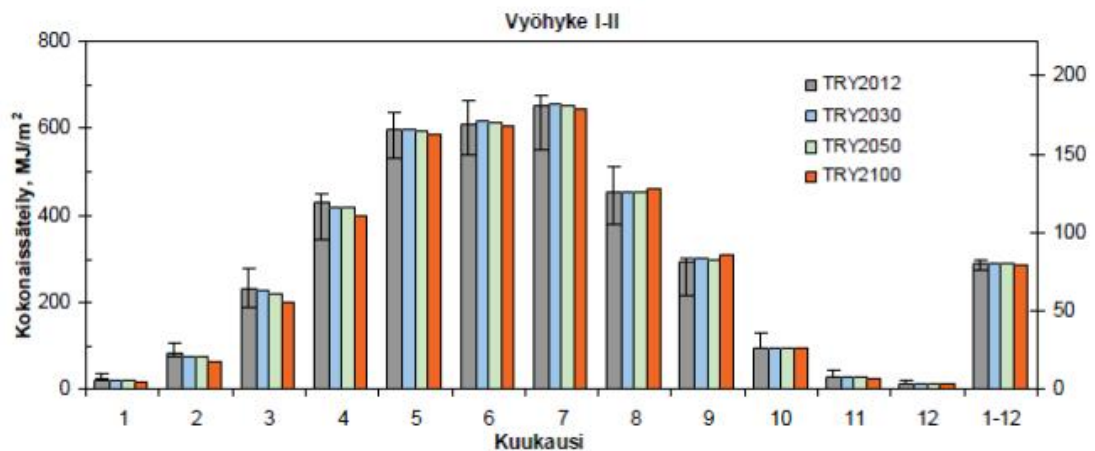
Vuoden 2012 testisään TRY2012 lisäksi käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 2012 kesäkauden mitoitussäätä, jota käsiteltiin kappaleessa 3.3.1. Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisesti käytetään mitoittavana ulkolämpötilana 25 °C ja ulkoilman entalpiana 55 kJ/kg (Ympäristöministeriö 2011a). Kesäkauden mitoitussään avulla tarkastellaan case-kohteiden lämpöoloja mitoituskäypäivän aikana.

Asuinrakennusten tulevaisuuden lämpöoloja ja ulkoisia lämpökuormia voidaan arvioida arvioiduilla tulevaisuutta mallintavilla säätiedoilla. Tulevaisuutta kuvaavat testivuodet 2030, 2050 ja 2100 on muodostettu nykyisen testivuoden TRY 2012 pohjalta. TRY2012 testisäätä on muokattu odotettavissa olevilla ilmastomuutoksilla Suomessa. Kuvassa 5.6 esitetään testisään 2012 sekä tulevaisuuden kuukausittaiset keskilämpötilat. (Jylhä et al. 2011.)



**Kuva 5.6.** Kuukauden keskilämpötilat Vantaalla (säävyöhykkeet I-II) uutena testivuotena TRY2012 sekä tulevaisuuden testivuodet 2030,2050 ja 2100 (Jylhä et al. 2011).

Kuvan 5.6 vuoden 2030 keskilämpötila kasvaa nykyiseen testisäähän verrattuna tavalla noin kaksi astetta ja kesällä vajaan asteen. Tulevaisuudessa suhteellisen kosteuden arvioidaan kasvavan. Auringonsäteilyenergian odotetaan pienenevän vähän vuoteen 2030 mennessä. Koko vuoden keskimääräisen auringon kokonaissäteilyn eroavaisuus nykypäivään ei ole yhtä suuri kuin arvioitu ilmaston lämpeneminen vuoteen 2100 mennessä. (Jylhä et al. 2011.) Kuvassa 5.7 esitetään arvioidut muutokset tulevaisuuden auringon kokonaissäteilyn määrään vaakatasolle.



**Kuva 5.7.** Kuukausittainen auringon kokonaissäteilyn määrä vaakatasolle Vantaalla (säävyöhykkeet I-II) uutena testivuotena TRY2012 sekä tulevaisuuden testivuodet 2030,2050 ja 2100 (Jylhä et al. 2011).

Edellä esitettyjen ilmastomuutoksen vaikutusten on laskettu vaikuttavan rakennusten lämmitystarpeen pienenemiseen vuoteen 2030 mennessä noin 10–13 prosenttia ja jäädytysenergian kasvuun 12–19 prosenttia. (Jylhä et al. 2011.)

### 5.3.3 Asuinrakennuksen lämpökuormat

Rakennuksen kesäajan yllämpötilojen tarkastelu tulee tehdä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaan standardikäytöllä. Standardikäyttö on ympäristöminis-

teriön määrittämä rakennuksen vakioitu käyttö, jota käsiteltiin kappaleessa 3.3. Standardikäyttö on määritetty yleisesti eri rakennustyypeille kuten pientaloille, rivi- ja ketjutaloille sekä asuinkerrostaloille. Työn tavoitteena yllämpötilojen hallintakeinojen selvittämisen lisäksi on tutkia rakennusten todellista käyttöä vastaavaa tilannetta. Simulointien ja eri lähteiden avulla on määritetty todellisen käytön arvot, joilla pyritään mallintamaan case-kohteita vastaavien kotitalouksien todellista käyttöä.

Eri case-kohteiden kriittisimmät asunnot mallinnettiin simulointiohjelmalla ja simulointien perusteella määritettiin valaistuksen käyttöaste. Valaistusvoimakkuuden minimiarvoksi huoneistossa asetettiin 300 lx, joka on standardin SFS-EN 12464-1 mukainen valaistuksen tavoitearvo (Rakennustietosäätiö 2008). Lisäksi valaistuksen käytölle asetettiin käyttöajat, jonka aikana käyttäjän oletetaan oleskelevan asunnossa. Näiden reunaehtojen perusteella valaistuksen käyttöajat määritettiin tarkastelemalla simuloitujen case-kohteiden valaistustasoja. Taulukossa 5.3 esitetään valittujen case-kohteiden valaistuksen käyttöajat ja tarve, joilla kesäajan yllämpötilojen tarkastelu tehdään.

**Taulukko 5.3.** Kohteiden valaistustarve sekä simuloinnissa käytettävät valaistuksen käyttöajat.

Ominaisuus	Yksikkö	Verrokiasuinkerrostalo	Verrokiasuinkerrostalo
		1	2
Käyttöajat			
Olohuone+Keittiö		6-8 & 18-23	6-8 & 18-23
Makuuhuone		6-8 & 22-23	6-8 & 22-23
Valaistuksen tarve			
koko vuosi <sup>A</sup>	h	1766	1953
Kesäaika <sup>A</sup>	h	267	356
Kesäajan käyttöaika-kerroin <sup>B</sup>	%	12,08	16,12

(A) Käyttöaika on keskimääräinen valaistuksen tarve huoneistossa

(B) Käyttöaika-kerroin on pinta-alalla painotettu huonetilojen valaistuksen tarve suhteessa kesäajan tunteihin (1.6.–31.8.).

Case-kohteiden sisäisten lämpökuormien todellisen käytön mallintamisen tulokset esitetään taulukossa 5.4. Sisäisten kuormien henkilötiheyden määrittämiseen on käytetty Tilastokeskuksen ilmoittamia tietoja asuntokannasta vuodelta 2010 sekä vuoden 2010 asuntokuntien henkilömääriä. Valaistuksen, kuluttajalaitteiden ja kylmäsäilytyksen sisäiset lämpökuormat on määritetty kotitalouksien sähkönkäytön 2006 mukaisesti. Molemmille case-kohteille esitetään erikseen tavallisen varustelun sekä korkeasti varustetun käytön mukaiset kuormat. Henkilötiheydet molemmissa kohteissa ovat samat asuntotyypistä johtuen.

Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen osalta kuormissa on havaittavissa eroavaisuuksia asuntojen koosta ja asukasmäärästä johtuen. Taulukossa 5.4 on esitetty pyykinpesun keskimääräinen energiankulutus, pesukertojen määrä viikossa ja pyykinpesun käyttöaika. Tuloksista havaitaan, että pyykinpesu ei ole päivittäistä. Pyykinpesun luovuttamaksi

lämpöenergianmääräksi oletetaan vain koneen mekaanisen sähköenergian osuus. Pesun aikainen lämmönsiirtymisen pesuvedestä huonetilaan oletetaan pieneksi. Kokonaislämmönluovutuksen määrän ajatellaan vastaavan mekaanisen sähköenergian osuutta noin 300 Wh/pesukerta, jonka on ajateltu sisältävän myös pesuvedestä huonetilaan siirtyvän lämpömäärän.

**Taulukko 5.4.** Case-kohteissa käytetyt tavallisen ja korkean varustelun sisäiset lämpökuormat (Adato 2008; Tilastokeskus 2011a; Tilastokeskus 2011b).

Sisäiset kuormat	Yksikkö	Verrokkiasuinkerrostalo 1	Verrokkiasuinkerrostalo 2	Käyttöaika
<b>Tavallinen varustelu</b>				
Valaistus	W	229	646	< 300 lx <sup>B</sup>
Kuluttajalaitteet:				
Ruuanlaitto	W	77	382	6-8 & 18-23
Viihde	W	195	247	18-23
Pyykinpesu	krt/vko	1 <sup>A</sup>	2 <sup>A</sup>	18-20
Kylmäsäilytys	W	51	51	0-24
Henkilötiheys	hlö/m <sup>2</sup>	0,025	0,025	18-08
<b>Korkea varustelu</b>				
Valaistus	W	318	671	< 300 lx <sup>B</sup>
Kuluttajalaitteet:				
Ruuanlaitto	W	89	442	6-8 & 18-23
Viihde	W	451	872	18-23
Pyykinpesu	krt/vko	2 <sup>A</sup>	6 <sup>A</sup>	18-20
Kylmäsäilytys	W	51	97	0-24
Henkilötiheys	hlö/m <sup>2</sup>	0,025	0,025	18-08

(A) Pyykinpesun energiankulutus keskimäärin on noin 1100 Wh/pesukerta.

(B) Valaistuksen käyttöajan tarkennus taulukossa 5.3.

Taulukon 5.4 Verrokkiasuinkerrostalon 1 osalta tavallisen ja korkean varustelun kuormitukset on määritetty Kotitalouksien sähkönkäyttö 2006 -oppaan pinta-alaltaan vastaavien esimerkkitalouksien mukaisesti. Verrokkiasuinkerrostalon 2 tavallisen varustelun sisäiset kuormat on määritetty esimerkkitalouksien sähkönkäytön perusteella, korkean varustelun kuormat on johdettu Verrokkiasuinkerrostalon 1 avulla, jolloin vuotuisen energiankäytön prosentuaalinen kasvu on ollut samansuuruinen kuin Verrokkiasuinkerrostalon 1 tavallisen ja korkean varustelun tapauksien välillä. Lisäksi Verrokkiasuinkerrostalon 2 kylmäsäilytykseen on lisätty erillinen pakastin.

Taulukoissa 5.3 ja 5.4 esitettyjen valaistuksen käyttöajan, laitteiden käyttöajan sekä kuormien perusteella todellisiksi määritettyjen korkean varustelun kuormien huomataan olevan Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 mukaisia sisäisiä kuormia keskimäärin suurempia. Asuinrakennuksien vakioitua käyttöä kuvaavat standardikuormat on esitetty kappaleen 3.3.1 taulukossa 3.8.

Valaistuksen käyttö neliötä kohti on Verrokkiasuinkerrostalon 1 kriittisessä asunnon tavallisen varustelun tapauksessa 51 prosenttia ja korkeasti varustetussa tapauksessa 32 prosenttia standardikuormia pienemmät. Verrokkiasuinkerrostalon 2 kriittisessä asunnossa vastaavat luvut ovat tavallisen varustelun tapauksessa prosentin suurempia ja korkeasti varustellussa tapauksessa 5,5 prosenttia suuremmat.

Verrokkiasuinkerrostalojen ruuanlaiton lämpökuormien määrittämisessä on ajateltu keittiön liesituulettimen sieppausasteen olevan ruuanvalmistuksen yhteydessä pieni. Lisäksi ruuanvalmistuksen lämpökuorman oletetaan varautuvan rakenteisiin. Tästä johtuen ruuanlaiton laitekuormat on otettu kriittisimmän tilanteen mukaisesti huomioon case-kohteiden tarkasteluissa taulukossa 5.4 esitettyjen kuormien mukaisesti.

Verrokkiasuinkerrostalon 1 tavallisen varustelun laitekuormat ovat standardikuormaan verrattuna 38 prosenttia pienemmät ja Verrokkiasuinkerrostalon 2 11,6 prosenttia pienemmät. Korkeasti varustelluissa tapauksissa laitekuormat ovat Verrokkiasuinkerrostalon 1 kriittisessä asunnossa 23,8 prosenttia ja Verrokkiasuinkerrostalon 2 kriittisessä asunnossa 77,5 prosenttia suuremmat kuin standardikäytön mukaiset laitekuormat.

Laitekuormat on todellisen käytön mallinnuksessa kohdistettu standardikuormia tarkemmin tiloittain eri käyttöajoilla, kuten taulukoissa 5.3 ja 5.4 on esitetty. Todelliset kuormat kohdistuvat todellisemmin asunnon eri tiloihin. Esimerkiksi suurin osa viihde-elektronikaan kuormasta on kohdistettu olohuoneisiin, vain Verrokkiasuinkerrostalon 2 korkeasti varustelun tapauksessa viihde-elektronikan lämpökuormat kohdistuvat myös makuuhuoneeseen.

Epätasaisesti jakaantuneet laitekuormat ja niiden käyttö alkuillasta, altistavat asuinrakennukset suuremmalle lämpökuorman huipputeholle päiväsaikaan kuin standardikuormat, mikä johtaa korkeampiin oleskeluhuoneiden lämpötiloihin. Henkilöistä vapautuvan lämpökuorman on ajateltu olevan yhtä suuri kuin standardikuormissakin. Henkilökuormat on kohdistettu standardikuormia todellisemmilla käyttöajoilla asuintiloihin.

Asuinrakennuksille määritetyistä todellisista laitekuormista havaitaan tavallisen laitekuorman olevan keskimäärin 17,6 prosenttia pienemmät kuin Suomen rakentamiskoelman osan D3 määrittämät standardikuormat. Korkeasti varustelluissa tapauksissa laitekuormat ovat 41,7 prosenttia standardikuormia suuremmat.

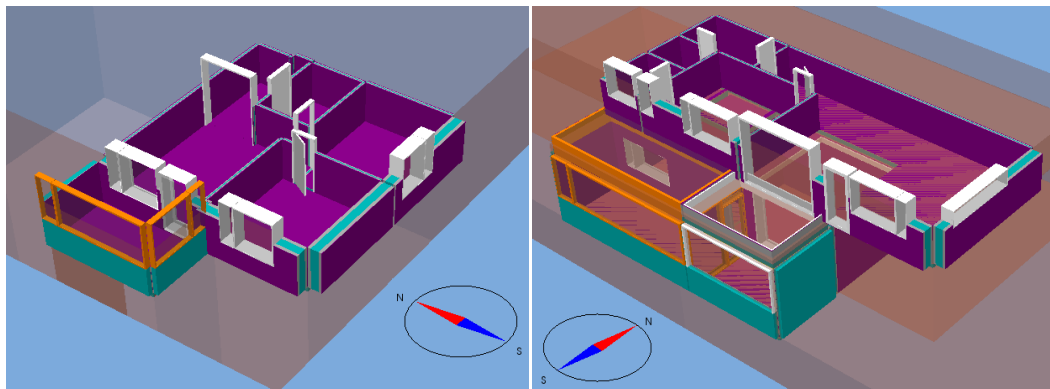
Sisäisten kuormien lisäksi asuinrakennukseen kohdistuu suuri ulkoinen lämpökuorma auringon säteilyenergiasta. Suurin ulkoisten kuormien kohdistumisen asuinrakennukseen tapahtuu ikkunoiden valoaukkojen läpi. Valittujen case-kohteiden kriittisten asuntojen ikkunoiden koot huonekohtaisesti esitetään taulukossa 5.5.

**Taulukko 5.5.** Kriittisten asuntojen ikkunoiden koot ja suhdevertailut.

	Pinta-ala	Leveys x Korkeus	$A_{\text{ikkuna}} / A_{\text{julkisivu}}$	$A_{\text{ikkuna}} / A_{\text{lattia}}$
<b>Verrokkiasuinkerrostalo 1</b>				
OH <sup>A</sup>	15,9 m <sup>2</sup>	1,82 x 1,52 m	0,42	0,31
MH	11,8 m <sup>2</sup>	1,82 x 1,52 m	0,13	0,23
K	11,4 m <sup>2</sup>	1,63 x 1,52 m	0,23	0,22
<b>Verrokkiasuinkerrostalo 2</b>				
OH <sup>A</sup>	43,7 m <sup>2</sup>	3,1 x 2,6; 2,2x1,3; 2,8 x 0,6 m	0,38	0,34
MH	18,2 m <sup>2</sup>	0,65 x 1,3 2,2 x 1,3 m	0,10	0,20
K	11,8 m <sup>2</sup>	2,2 x 1,13 m	0,07	0,21
RT <sup>A</sup>	16,7 m <sup>2</sup>	3,1 x 2,6 m	0,32	0,73

(A) Lisäksi 1 x 2,1 m lasitettu parvekeovi

Kriittisten asuntojen ja ikkunoiden pinta-alat sekä ikkunapinta-alojen suhteet julkisivuun sekä lattiapinta-alaan on esitetty taulukossa 5.5. Lisäksi kuvassa 5.8 esitetään Verrokkiasuinkerrostalojen 1 ja 2 kriittisiksi valitut asunnot suuntauksineen.



**Kuva 5.8.** Tarkasteluun valitut kriittiset asunnot, vasemmalla Verrokkiasuinkerrostalo 1 ja oikealla Verrokkiasuinkerrostalo 2.

### 5.3.4 Ylilämpötilojen hallintavaihtoehdot

Valittujen case-kohteiden avulla tarkastellaan suureita, jotka vaikuttavat asuinrakennusten lämpökäyttäytymiseen. Rakenteellisten tarkastelujen avulla tutkitaan rakennuksen rakennusteknisten ominaisuuksien vaikutuksia lämpöoloihin ja lämpöviihtyvyyteen. Ilmanvaihdollisissa tarkasteluissa tutkitaan miten ilmanvaihdon avulla voidaan vaikuttaa lämpöoloihin ja miten yöilman viileyttä on mahdollista käyttää viilennyskeinona. Auringonsuojaratkaisujen avulla tutkitaan miten auringon säteilyenergiaa on mahdollista vähentää. Tarkemmin rakenteelliset, ilmanvaihdolliset ja auringonsuojaratkaisut esitetään kappaleessa 6.

Rakenteellisten, ilmanvaihdollisten ja auringonsuojaratkaisujen jälkeen tarkastellaan eri ylilämpötilojen hallintamenetelmien toimivuutta yhdessä. Eri ratkaisuista luodaan

toteuttamiskelpoiset yhdistelmät, joilla pyritään hallitsemaan case-kohteiden kriittisten asuntojen yllämpötilaongelmat. Yhdistettyjen yllämpötilojen hallintaratkaisujen jälkeen tutkitaan case-kohteiden kriittisten asuntojen jäähdytystehontarvetta erilaisilla valituilla yhdistelmillä. Lopuksi tarkastellaan vielä miten asuinrakennusten lämpöolosuhteet tulevat muuttumaan tulevaisuudessa tekemällä simuloinnit tulevaisuuden testisääaineiston avulla.



## 6 SIMULOINTITULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

### 6.1 Rakenteelliset ratkaisut

Verrokkiasuinkerrostaloille tehtyjen rakenteellisten muutosten vaikutuksia ylälämpötilojen hallitsemiseksi vertaillaan perustapaukseen, joka edustaa asuinkerrostaloa ilman auringonsuojaratkaisuja. Muutosten vaikutuksia lämpöoloihin tarkastellaan case-kohteiden makuu- ja olohuoneen lämpöoloja vertailemalla. Case-kohteiden kriittiset asunnot simuloidaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaisella kesäpäivän mitoitussäällä sekä Helsinki-Vantaa testisään 2012 avulla kesäjakson 1.6.–31.8. välisenä aikana. Taulukossa 6.1 esitetään case-kohteille tehtyjen rakenteellisten ominaisuuksien muutokset, joiden vaikutuksia lämpöoloihin tarkastellaan.

*Taulukko 6.1. Case-kohteiden rakenteelliset tarkastelut.*

Rakenteelliset tarkastelut	Ominaisuudet
Simulointi:	
1. Normaali	Esitettyjen case-kohteiden mukainen
2. Ikkunat -10 %	Ikkunapinta-alaa pienennetty 10 %
3. Ikkunat -20 %	Ikkunapinta-alaa pienennetty 20 %
4. U-arvot, Passiivitalo	U-arvot (US/AP/YP = 0,1/0,1/0,07) W/m <sup>2</sup> K
5. Tiiveys, Passiivitalo	n <sub>50</sub> = 0,6 1/h
6. Termisen massan lisäys	Ulkoseinä + 50 mm betoni, väliseinät betonia
7. Auringonsuojalasit 1	g-arvo = 0,38
8. Auringonsuojalasit 2	g-arvo = 0,32
9. Auringonsuojalasit 3	g-arvo = 0,20

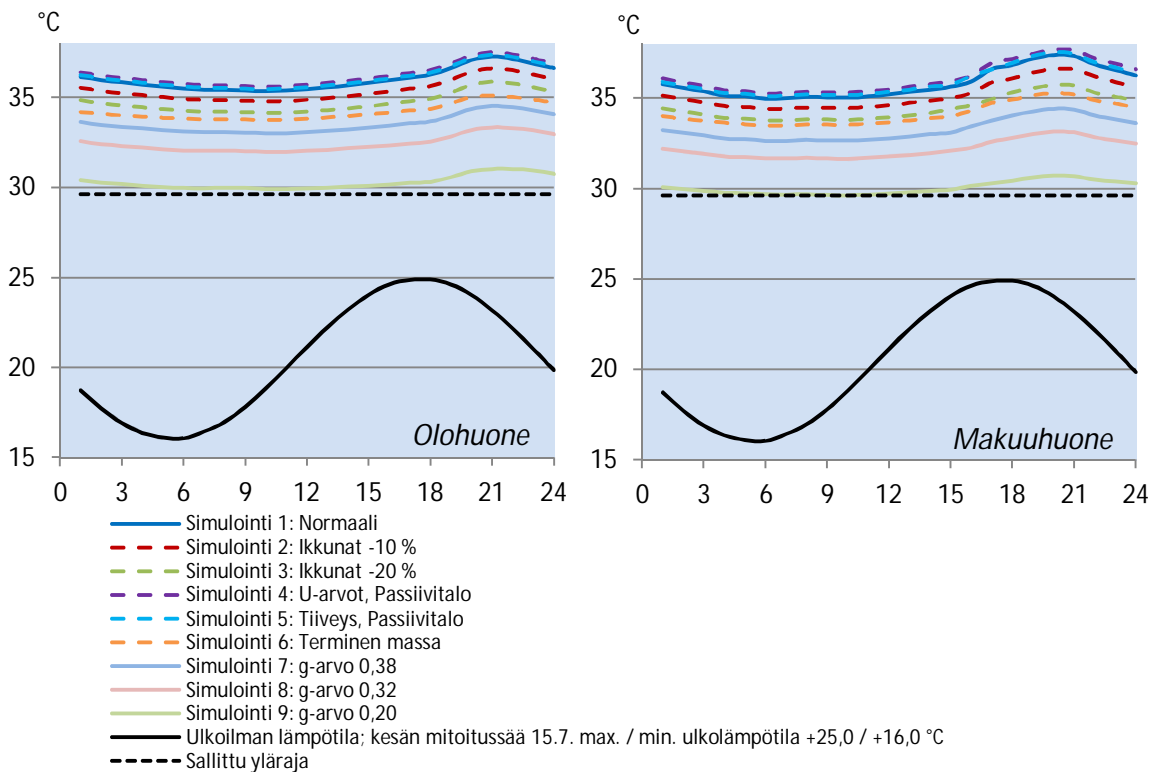
Ylälämpötilojen rakenteellisiksi hallintaratkaisuuksi on määritetty taulukossa 6.1 esitetyt rakennusteknisten ominaisuuksien muutokset. Asuinrakennuksille tehtyjen rakenteellisten ominaisuuksien muutoksien vaikutuksia vertaillaan tarkastelun 1 normaaliin tapaukseen. Normaalitytapaus edustaa perustapausta ilman auringonsuojaratkaisuja. Rakenteellisia ratkaisuja ovat tarkasteluissa 2 ja 3 esitetyt ikkunakoon pienentämiset 10 % ja 20 % alkuperäisestä, jolloin auringonlämpösäteilyn vaikutus ikkunapintojen läpi pienenee. Ikkunoiden pienentäminen 10 tai 20 prosentilla ei johda lattiapinta-alaan nähden liian pieniin määräysten vastaisiin ikkunoihin. Tarkastelussa 4 asuinkerrostalojen vaipan U-arvoja parannetaan passiivikerrostaloa vastaaviksi, jolloin seinän ja alapohjan U-arvoiksi valitaan 0,1 W/m<sup>2</sup>K sekä yläpohjan U-arvoksi 0,07 W/m<sup>2</sup>K. Tarkastelussa 5

rakennuksen ilmantiivyyttä parannetaan passiivikerrostaloa vastaavaksi, jolloin ilmanvuoto  $n_{50}$  on 0,6 1/h. Näiden rakenteellisten ratkaisujen lisäksi tarkastelussa 6 tutkitaan termisen massan vaikutusta, kun väliseinät on muutettu eristetystä sisäseinästä betoniin sisäseinään ja ulkoseinän betonia on lisätty 50 mm eristeen ja huoneilman välille. Tarkasteluissa 7–9 on esitetty auringon lämpösäteilyn hallintaratkaisut ikkunapintojen läpi. Tällöin ikkunatyypeiksi on valittu auringonsuojalasit, joiden g-arvo on tavallista ikkunaa pienempi.

Kappaleen 3.4 perusteella rakenteelliset ratkaisut tulee valita rakentamisprosessin varhaisessa vaiheessa luonnos- ja toteutussuunnittelun aikana, jolloin asuinrakennusten rakenteellisia ominaisuuksia voidaan vielä muuttaa kustannustehokkaasti. Rakenteellisten ominaisuuksien varhaisen valinnan vuoksi, ominaisuuksien vaikutukset kesäajan lämpöoloihin tulee tuntea ennen suunnitteluprosessin aloittamista.

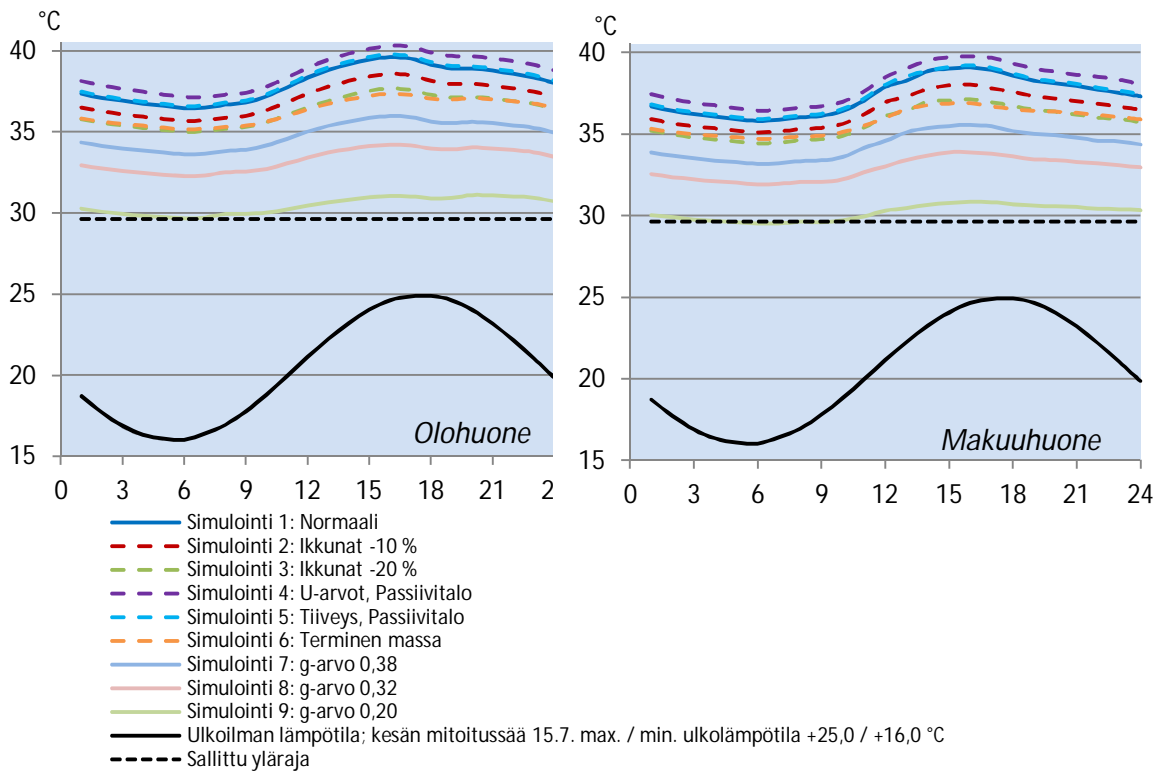
### 6.1.1 Kohteen huonelämpötilat

Yksinään rakenteelliset ratkaisut eivät riitä täyttämään Suomen rakentamismääräyskoelman asettamia määräyksiä asuinrakennuksen lämpöoloista. Rakenteelliset ratkaisut vaikuttavat oleellisesti valittujen case-kohteiden lämpöoloihin, joten niitä ei tule sivuuttaa. Eri rakenteellisten ratkaisujen vaikutuksia tavallisen varustelun Verrokkiasuinkerrostaloon 1 ja Verrokkiasuinkerrostaloon 2 on esitetty kuvissa 6.1 ja 6.2. Ratkaisujen lisäksi kuvassa on esitetty mitoitussään päivälämpötila sekä Suomen rakentamismääräyskoelman osan D2 mukainen ylin sallittu kesäpäivän sisälämpötila.



**Kuva 6.1.** Verrokkiasuinkerrostalo 1, tavallinen varustelu, rakenteellisten ratkaisujen vaikutus huonelämpötiloihin kesäpäivän mitoitussäässä.

Rakentamismääräykset ohjaavat Suomen asuntokantaa kohti parempaa energiatehokkuutta, vaatimalla parempia rakennusvaipan U-arvoja sekä entistä ilmatiiviimpiä rakennuksia. Energiatehokkuutta parantavat ratkaisut johtavat yllämpötilojen kannalta epäedulliseen tilanteeseen. Kuvista 6.1 ja 6.2 havaitaan, että passiivitaloa vastaavat vaipan U-arvot ja ilmatiiviisyys johtavat oleskelutilojen lämpötilan nousuun, kun käytössä ei ole muita auringonsuojaratkaisuja.

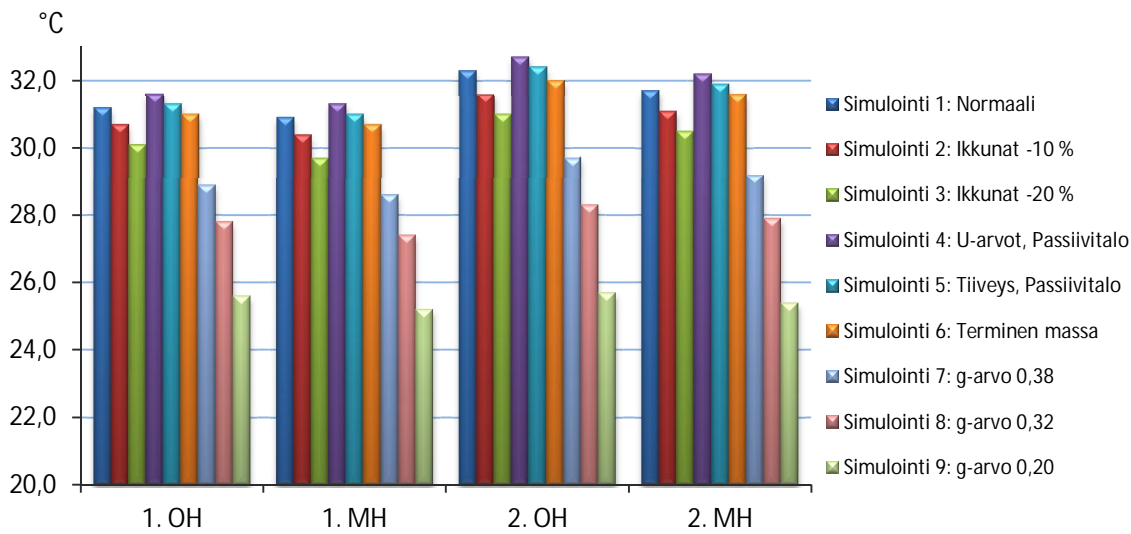


**Kuva 6.2.** Verrokkiasuinkerrostalo 2, tavallinen varustelu, rakenteellisten ratkaisujen vaikutus huonelämpötiloihin kesäpäivän mitoitussäässä.

Erityisesti Verrokkiasuinkerrostalolle 2 tehdyt tarkastelut osoittavat, että ikkunoiden suunnitteluun tulee kiinnittää huomiota. Ikkunaratkaisujen vaikutuksia tulee tutkia luonnossuunnitteluvaiheen aikana, jolloin mahdolliset rakenteelliset muutokset on mahdollista toteuttaa kustannustehokkaasti. Verrokkiasuinkerrostalo 2 on varustettu Verrokkiasuinkerrostaloa 1 suuremmilla ikkunapinnoilla, jolloin tarkasteltujen rakenteellisten ominaisuuksien vaikutukset korostuvat. Suuren ikkunapinta-alan vuoksi auringon säteilyenergian vaikutus on suuri. Parannetut rakenteiden U-arvot ja ilmatiiviisyys yhdessä suurten ikkunapinta-alojen kanssa johtavat huonelämpötilojen nousuun tarkastelluissa case-kohteissa. Auringon säteilemä lämpöenergia lämmittää asuinrakennuksia tehokkaasti. Parantuneiden rakenteiden johdosta lämpöhäviöt rakennusvaipan yli pienevät, jolloin sisälämpötilat kohoavat normaalilla ilmanvaihdolla varustetuissa kohteissa.

Verrokkiasuinkerrostalojen rakenteellisten ratkaisujen vaikutuksia lämpötiloihin tarkasteltiin myös koko kesäjaksen aikana. Rakenteellisten tarkastelujen kesäajan keskimääräiset huonelämpötilat Verrokkiasuinkerrostalojen olo- ja makuuhuoneille on esitetty kuvassa 6.3. Merkintä 1 tai 2 kuvaa tarkasteltavaa Verrokkiasuinkerrostaloa, lisämer-

kintä OH tarkoittaa olohuonetta ja MH makuuhuonetta. Samaa merkintätapaa käytetään tulevilla kuvilla.

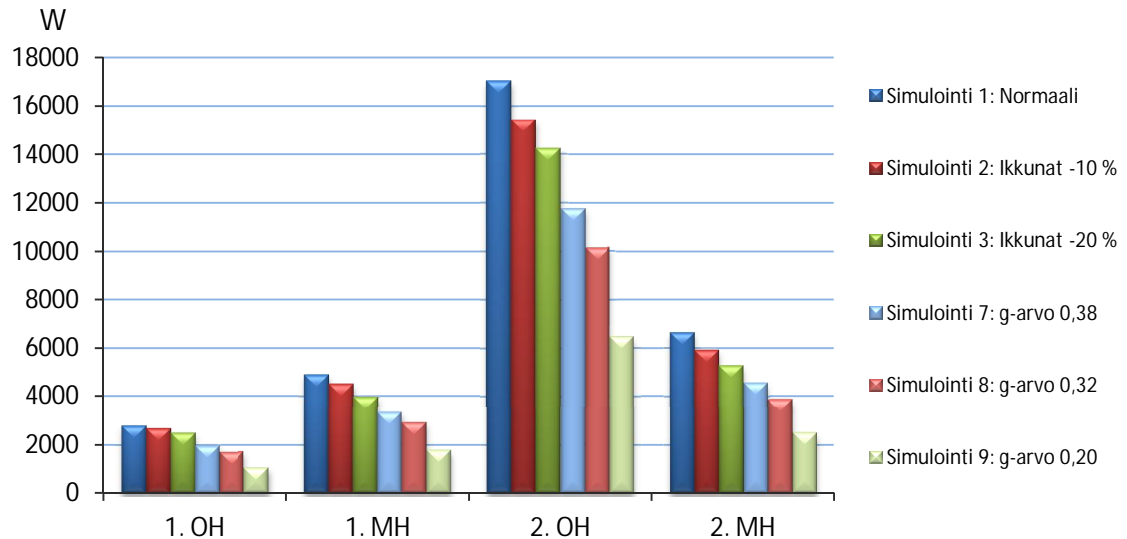


**Kuva 6.3.** Verrokkiasuinkerrostalo 1 ja 2, tavallinen varustelu, rakenteellisten ratkaisujen vaikutus huonelämpötiloihin kesäjaksolle Helsinki-Vantaa 2012 testisäässä.

Kuten jo kuvista 6.1 ja 6.2 voitiin havaita, johtavat myös kuvan 6.3 tarkastelut ikkunoiden pienentäminen ja g-arvon parantaminen kesäpäivän sisälämpötilojen pienemiseen. Koko kesäajan jaksolle ikkunoiden ominaisuuksien parantaminen pienentää kesäajan keskilämpötilaa kuvan 6.3 mukaisesti 0,5–6,5 astetta valitusta ratkaisusta riippuen. Ikkunapinta-alan pienentäminen asuinrakennuksessa pienentää auringon säteilyenergian määrää ja lämpöhäviöitä vaikuttamatta liiaksi asumisviihtyvyyteen.

### 6.1.2 Ikkunoiden ominaisuuksien vaikutus ulkoisen lämpökuorman

Asuinrakennusten kesäaikaisten lämpöolojen suunnittelussa ikkunoiden ominaisuudet, suuntaus ja koko vaikuttavat todellisiin huonelämpötiloihin. Verrokkiasuinkerrostalojen ikkunoiden ominaisuuksien ja g-arvojen vaikutuksia tarkastellaan tarkemmin tutkimalla auringon säteilyenergian siirtymistä ikkunapintojen läpi huonetilaan. Ikkunoiden vaikutuksen tarkempi tarkastelu esitetään kuvassa 6.4.



**Kuva 6.4.** Verrokkiasuinkerrostalot 1 ja 2, tavallinen varustelu, ikkunaominaisuuksien vaikutus ikkunapintojen läpi kohdistuvaan auringon säteilyenergiämäärään kesäpäivän mitoitussäässä.

Kuvasta 6.4 havaitaan ikkunoiden läpi päivän aikana siirtyvän lämpöenergian suuri vaihtelu eri ominaisuuksista ja rakenteellisista varjostuksista johtuen. Verrokkiasuinkerrostalon 1 olohuoneeseen kohdistuva säteilyenergia on muita tarkasteltuja tiloja vähäisempi. Yläpuolinen parveke varjostaa olohuoneen ikkunapintaa ja parvekkeen lasitukseen kohdistuu osa auringon säteilyenergiasta. Verrokkiasuinkerrostalon 2 makuuhuoneen ikkunapintojen läpi kohdistuu lähes 1,5-kertainen lämpömäärä verrattuna ensimmäiseen tarkasteltuun makuuhuoneeseen johtuen suuremmasta ikkunapinta-alasta. Verrokkiasuinkerrostalon 2 olohuoneen ikkunapinnan läpi kohdistuu suuri määrä auringon säteilylämpöenergiaa, johtuen ikkunan suuresta koosta 3,1 m x 2,6 m ja suuntauksesta etelään. Mikäli olohuoneen ikkunaan ei toteuteta mitään auringonsuojaratkaisua, kohoaa huonelämpötila korkeaksi, kuten kuvasta 6.2 voitiin havaita.

Etenkin suurella ikkunapinta-alalla varustetuissa oleskelutiloissa ikkunoiden g-arvon parantaminen tai ikkunapinta-alan pienennys vaikuttavat ikkunoiden läpi siirtyvään auringon säteilyenergian määrään. Verrokkiasuinkerrostalon 2 olohuoneen ikkunaan kohdistuvan auringon säteilylämpöenergian ja siitä seuraavan huonelämpötilan nousun vaikutukset voidaan havaita kuvista 6.2 ja 6.4. Valitsemalla g-arvoltaan pienimmän ikkunamallin pienentämättä ikkunapinta-alaa voidaan huoneeseen kohdistuvan auringon säteilyenergiaa pienentää 60 prosenttia. Pienentämällä ikkunapinta-alaa 20 % voidaan ikkunan läpi huonetilaan siirtyvän auringon säteilylämpöenergian määrää vähentää 20 % suoraan auringonvalolle altistuvissa ikkunoissa ja parvekelasituksen läpi säteilevän energian tapauksessa 10 %.

Ikkunoiden ominaisuudet ovat yksi suurimmista kesäaikaiseen huonelämpötilaan vaikuttavista suureista. Ikkunoiden ominaisuuksia valitessa huomio tulee kiinnittää ikkunoiden koko vuoden energiatasetarkasteluun. Pienentämällä ikkunoiden g-arvoa voidaan kesäaikaista yllämpöongelmaa pienentää tehokkaasti. Pienen g-arvon vuoksi kyl-

minä vuodenaikoina auringon lämpöenergiaa ei voida hyödyntää yhtä tehokkaasti asuinrakennuksen lämmitystä vähentävänä energiana kuin suuremman g-arvon ikkunoilla.

## 6.2 Ilmanvaihdolliset ratkaisut

Asuinrakennuksen lämpöoloihin voidaan vaikuttaa myös erilaisilla ilmanvaihtoa tehostavilla keinoilla. Tarkasteluun valittuja ilmanvaihdollisia keinoja vertaillaan perustapaukseen tarkastelemalla case-kohteita Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaisella kesäpäivän mitoitussäällä sekä vuoden 2012 testisäällä koko kesäjakson aikana. Taulukossa 6.2 esitetään case-kohteiden avulla tarkasteltuja ilmanvaihdollisia vaihtoehtoja.

**Taulukko 6.2.** Case-kohteiden ilmanvaihdolliset tarkastelut.

Ilmanvaihdolliset tarkastelut	Ominaisuudet
Simulointi:	
1. Normaali	Tuloilma min. +15 °C, normaalit ilmavirrat
2. IV-tehostus 30 %	Ilmanvaihdon tehostus 30 %
3. IV-tehostus 50 %	Ilmanvaihdon tehostus 50 %
4. IV-tehostus 100 %	Ilmanvaihdon tehostus 100 %
5. Yöilmanviileys	Tuloilman lämpötilan minimi, päivä +15 °C / yö +12 °C
6. Yöilmanviileys + IV-tehostus	Edellisen lisäksi yöajan IV-tehostus 30 %
7. Yötuuletus	22-08 yöaikainen ikkunatuuletus
8. Ikkunatuuletus	Ympäri vuorokautinen ikkunatuuletus

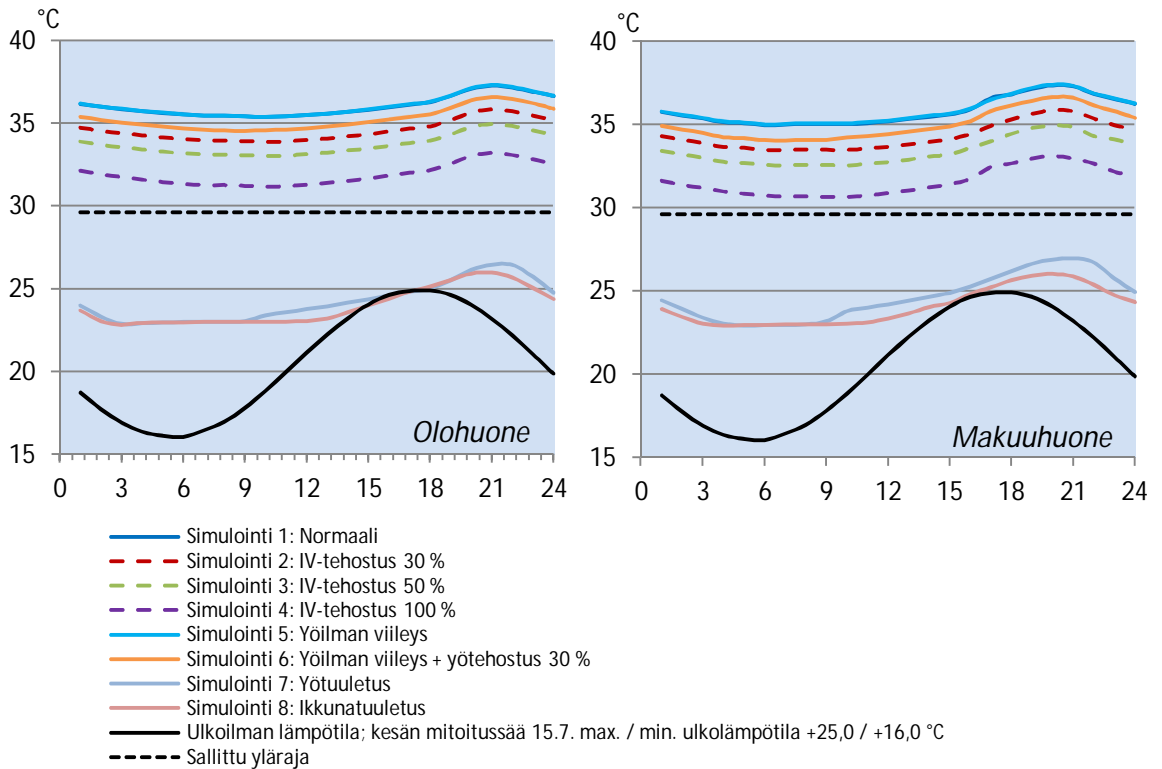
Taulukon 6.2 normaalitapauksessa tuloilman asetuslämpötila on 15 °C, jolloin tuloilmaa lämmitetään aina ulkoilman lämpötilan alittaessa 15 astetta. Ilmanvaihdollisia ratkaisuja ovat perustapaukseen verrattuna ilmanvaihdon tehostus 30, 50 ja 100 prosenttia tarkastelussa 2, 3 ja 4 ilmanvaihtokoneita ohjaamalla. Tarkastelussa 5 käytetään tuloilman esilämmityspatterin asetuslämpötilana 12 °C 22–08 välisenä aikana ja muutoin 15 °C. Tarkastelussa 6 on lisäksi yöaikana ilmanvaihdon tehostus 30 %. Tarkastelut 7 ja 8 ovat käyttäjistä riippuvia tuuletusratkaisuja, jolloin huoneiden tavoitelämpötilaksi on asetettu 23 °C. Huonelämpötilan ylittäessä tavoitelämpötilan 23 °C, käyttäjän oletetaan avaavan avattavat tuuletusikkunat ja -ovet. Tarkasteluissa tuloilmakanavan on oletettu olevan eristetty ja tuloilman lämpötilan nousuksi kanavissa on asetettu 1 °C.

Ilmanvaihtoon vaikuttavat ratkaisut ovat pääsääntöisesti ratkaisuja, joita uusissa asuinrakennuksissa voidaan toteuttaa käyttövaiheen aikana. Suunnitteluvaiheessa tulee ottaa huomioon mahdollinen tehostuskäytön tarve ilmanvaihtokoneen mitoituksessa sekä mahdollisten säätöpelien asennuksessa.

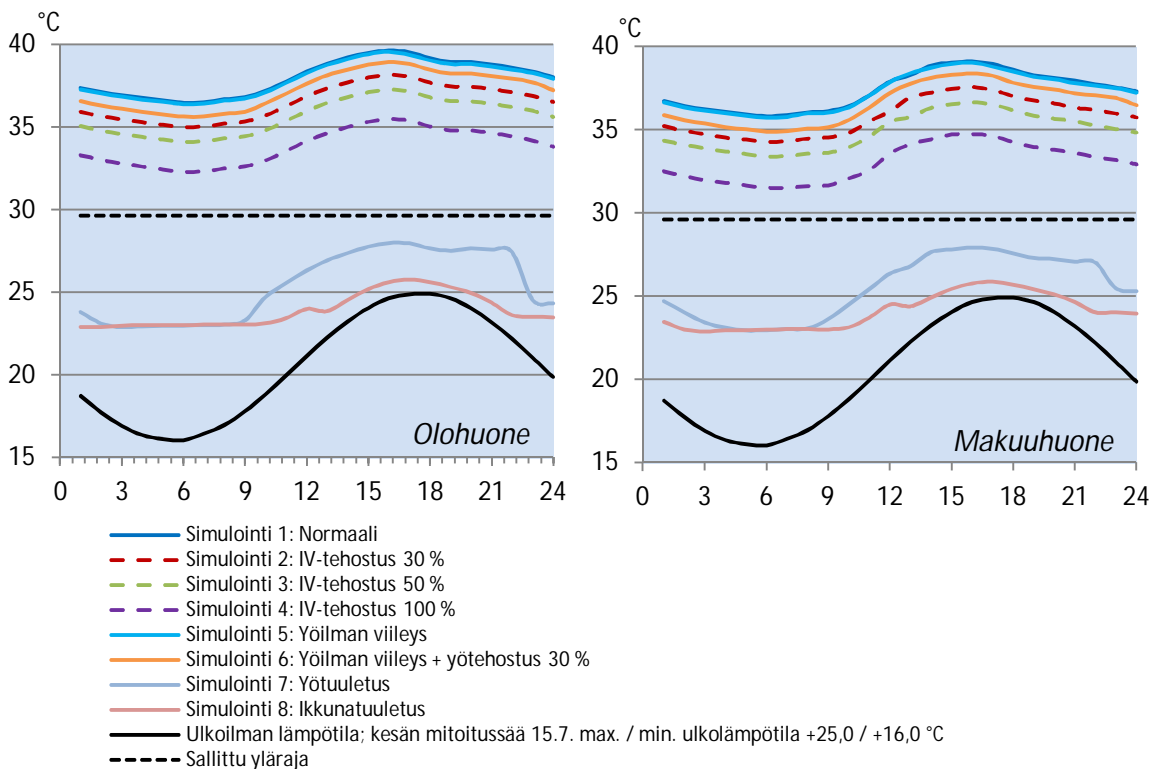
### 6.2.1 Kohteen huonelämpötilat

Eri ilmanvaihdollisten ratkaisujen vaikutuksia kesäpäivän mitoitussäällä tavallisen varustelun Verrokkiasuinkerrostalon 1 on esitetty kuvassa 6.5 ja Verrokkiasuinkerrosta-

loon 2 kuvassa 6.6. Tarkastelut 5 ja 6, yöilman viileyteen perustuvat ratkaisut, eivät toimi tehokkaasti kesäpäivän mitoitusssäissä, sillä kyseisen vuorokauden minimilämpötila ei laske alle 15 °C. Tarkastelun 6 yötehostuksella on kriittisiä asuntoja viilentävä vaikutus kesän hellepäivänäkin, johtuen ilmanvaihdon yöaikaisesta tehostuksesta. Koko kesäjaksen aikana tarkastelujen 5 ja 6 jäädyttävä vaikutus voidaan havaita paremmin.



**Kuva 6.5.** Verrokkiasuinkerrostalo 1, tavallinen varustelu, ilmanvaihdollisten ratkaisujen vaikutus huonelämpötiloihin kesäpäivän mitoitusssäissä.



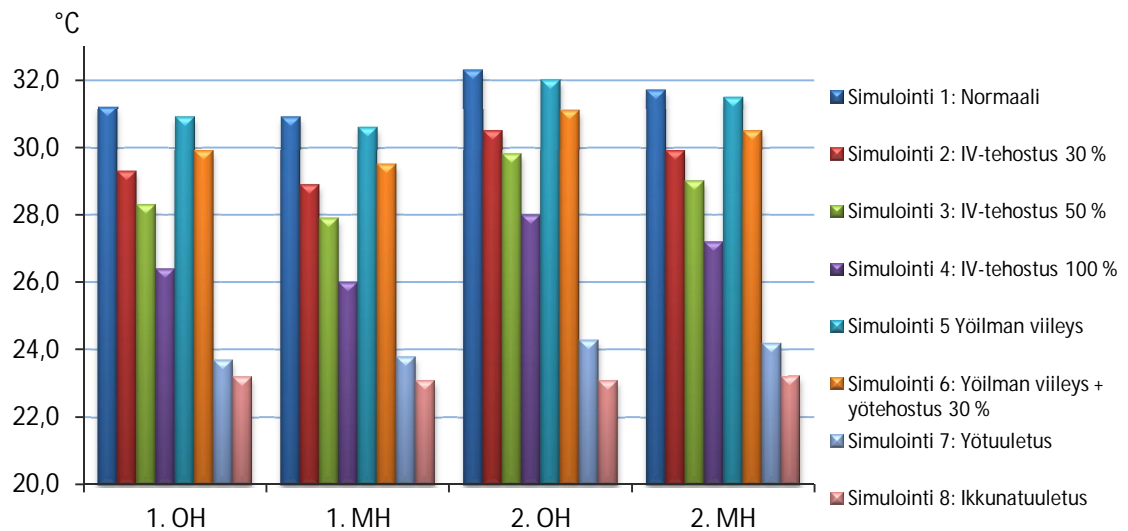
**Kuva 6.6.** Verrokkiasuinkerrostalo 2, tavallinen varustelu, ilmanvaihdollisten ratkaisujen vaikutus huonelämpötiloihin kesäpäivän mitoitussäässä.

Kuvista 6.5 ja 6.6 voidaan havaita yksittäisten ilmanvaihdollisten ratkaisujen vaikutus päivälämpötiloihin. Käyttämällä kesäpäivällä ilmanvaihdon 30 % tehostusta, voidaan todeta case-kohteiden huonelämpötilojen laskevan noin 1,5 astetta. Tehostamalla ilmanvaihtoa 50 prosentilla voidaan huonelämpötilojen havaita laskevan keskimäärin 2,4 astetta ja 100 % ilmanvaihdontehostuksella 4,2 astetta. Laskemalla yöajaksi tuloilman esilämmityspatterin asetusarvon 12 asteeseen ja käyttämällä yöaikaista ilmanvaihdon 30 % tehostusta saavutetaan keskimäärin 0,8 astetta viileämmät huonelämpötilat.

Verrokkiasuinkerrostalojen 1 ja 2 ikkunoiden kokoeron ja auringon lämpösäteilyn voimakkuuden vaikutus näkyy hyvin kuvista 6.5 ja 6.6 yötuuletus tarkasteluista. Verrokkiasuinkerrostalon 2 suuren olohuoneen ikkunan johdosta olohuoneen lämpötila nousee jyrkästi auringon säteilyn vaikutuksen aikana ja laskee auringon lämpötehon vähetessä ja tuuletusikkunoiden auetessa. Erityisesti ikkunatuuletustarkastelun tuloksista voidaan havaita Verrokkiasuinkerrostalon 1 kriittisempi suuntaus, sillä lännen suuntainen ilta-aurinko lämmittää kohdetta vielä kello 22, kun Verrokkiasuinkerrostalon 2 osalta auringon lämmittävä vaikutus vähenee jo kello 17 jälkeen.

Kuvassa 6.7 on tarkasteltu case-kohteiden ilmanvaihdollisten keinojen vaikutuksia keskimääräisiin huonelämpötiloihin koko kesän aikana, jolloin tarkasteluissa 5 ja 6 asetetun yöajan tuloilman lämpötilan laskun seuraus näkyy paremmin kuin kesän hellepäivän tarkastelussa.



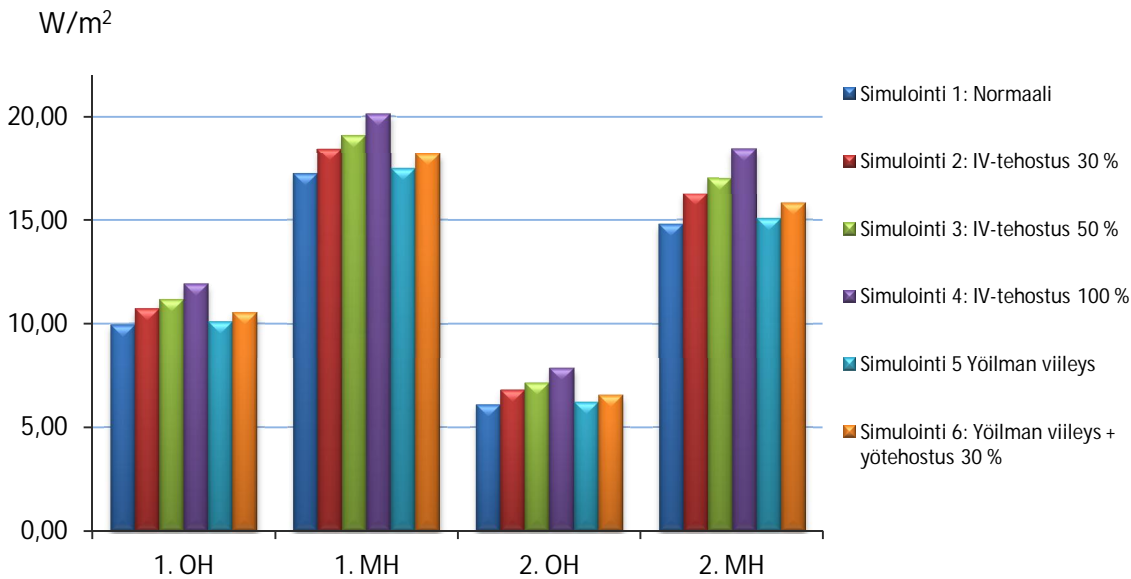


**Kuva 6.7.** Verrokkiasuinkerrostalot 1 ja 2, tavallinen varustelu, ilmanvaihdollisten ratkaisujen vaikutus huonelämpötiloihin kesäjakson aikana Helsinki-Vantaa 2012 testissä.

Kuvan 6.7 perusteella voidaan havaita käyttäjän tekemien ratkaisujen vaikutus sisälämpötilaan. Yöaikainen sekä ympärivuorokautinen ikkunatuuletus mahdollistavat huonelämpötilan pysyvyyden lähellä haluttua 23 astetta. Kaikki tarkastellut ilmanvaihdolliset keinot toimivat huonelämpötiloja viilentävästi. Erityisesti ilmanvaihdon tehostusta tulisi käyttää asuinrakennuksissa. Ilmanvaihdon 30 prosenttisella tehostuksella saavutetaan tarkastelluissa kohteissa noin 1,9 astetta keskimääräistä pienemmät huonelämpötilat. Ilmanvaihdon 50 % ja 100 % tehostuksella saavutetaan keskimäärin 2,8 ja 4,6 astetta pienemmät huonelämpötilat, mutta ilmanvaihtokanavien äänitaso voi nousta määräysten vastaiseksi. Yöilman viileyden ja yötehostuksen käytöllä kesäajan keskimääräiset huonelämpötilat laskivat noin 1,3 astetta.

### 6.2.2 Ilmavirtojen keskimääräinen viilennysteho

Kesäaikana huonelämpötilat voivat kohota korkeiksi suurten sisäisten ja ulkoisten kuormien vuoksi. Mitä lämpimämpi sisälämpötila on verrattuna ulkolämpötilaan, sitä suurempi jäähdyttävä vaikutus asunnon ilmanvaihdolla on. Ilmanvaihdon tehostuksen ja muiden koneellisten ilmanvaihdon ratkaisujen vaikutuksia oleskeluhuoneiden keskimääräisiin kesäaikana ilmavirtojen mukana poistuviin lämpömääriin on tarkasteltu kuvassa 6.8.



**Kuva 6.8.** Verrokkiasuinkerrostalot 1 ja 2, tavallinen varustelu, ilmanvaihdollisten ratkaisujen keskimääräinen poistettu lämpömäärä huonepinta-alaa kohti oleskelutiloissa kesäjakson aikana Helsinki-Vantaa 2012 testissä.

Kuvasta 6.8 voidaan havaita perusilmanvaihdon keskimäärin huoneistosta poistama lämpömäärä. Kesäjakson aikana suunnitelluilla ilmajärvillä tuloilman tilaa viilentävä vaikutus on keskimäärin 6–20 W/m<sup>2</sup> riippuen huoneen koosta ja ilmajärvistä. Tehostamalla ilmanvaihtoa 30 % viilennysteho pinta-alaa kohden kasvaa keskimäärin 8,7 prosenttia, 50 ja 100 prosenttisella tehostuksella viilennysteho kasvaa 13 ja 21 %. Vaikka prosentuaalinen kasvu vaikuttaa pieneltä, on sillä suuri vaikutus oleskeluvyöhykkeiden keskimääräisiin lämpötiloihin, kuten kuvasta 6.7 nähtiin. Keskimäärin kesäjakson aikana tuloilman mukana tuleva lämpömäärä viilentää tilaa. Kesäaikana on ajanjaksoja, jolloin ulkoilman lämpötila on huonelämpötilaa korkeampi, jolloin tuloilmalla on korottava vaikutus huoneilman lämpötilaan.

Kuvan 6.8 Verrokkiasuinkerrostalojen olohuoneiden ilmanvaihdon viilentävä teho huonepinta-alaa kohti on makuuhuoneisiin verrattuna pienempi suuremman tilavuuden sekä pienempien neliöpohjaisten mitoitusilmavirtojen vuoksi. Makuuhuoneiden perusilmanvaihto on 1,8-kertainen olohuoneiden neliökohtaisiin ilmamääriin verrattuna Verrokkiasuinkerrostalon 1 kriittisessä asunnossa ja kaksinkertainen Verrokkiasuinkerrostalon 2 kriittisessä asunnossa.

Tarkastelujen 5 ja 6 yöilmanviileyteen perustuvilla keinoilla ei ole yhtä suurta vaikutusta viilennystehon kasvuun kuin jatkuvalla ilmanvaihdon tehostuksella. Yöilman viileyden hyväksikäyttö oleskelutilojen lämpötilojen hallitsemiseksi voidaan toteuttaa automaatiota säätämällä ja kastepistehajauksella. Tällöin vältetään liian viileältä tuloilmalta sekä veden kondensoitumiselta seinärakenteisiin ja ilmanvaihtokanaviin. Kesäjakson aikana suhteellinen kosteus on korkeimmillaan noin 50 % ja huonelämpötilat samalla ajanhetkellä korkeat, jolloin kondensoitumista ei synny. Veden kondensoitumista rakenteisiin ja ilmanvaihtokanaviin tulee tarkastella erityisesti tilanteissa, joissa huonelämpötilat ovat matalat ja ilman suhteellinen kosteus suuri.

### 6.3 Passiiviset auringonsuojaratkaisut

Asuinrakennuksen lämpöoloihin voidaan vaikuttaa myös erilaisilla auringonsuojaratkaisuilla. Tarkasteluun valittuja auringonsuojauskeinoja vertaillaan perustapaukseen tarkastelemalla case-kohteita Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaisella kesäpäivän mitoitussäällä sekä vuoden 2012 testisäällä koko kesäjakson aikana. Taulukossa 6.3 esitetään case-kohteiden avulla tarkasteltuja auringonsuoja vaihtoehtoja.

**Taulukko 6.3.** Case-kohteiden auringonsuojatarkastelut.

Auringonsuojatarkastelut	Ominaisuudet
Simulointi:	
1. Normaali	Ei passiivista auringonsuojausta
2. Sälekaihtimet	Sälekaihtimet uloimpien lasien välissä
3. Sisäpuolinen screen tumma	Tumma screen uloimpien lasien välissä
4. Sisäpuolinen screen vaalea	Vaalea screen uloimpien lasien välissä
5. Markiisi	Ulottuvuus 900 mm, korkeus 500 mm, $\leq 12$ m/s
6. Lippa	Ulottuvuus 900 mm
7. Ulkopuolinen säleikkö	50 % lasipinnasta, pituus 200 mm, kulma $38^\circ$ , etäisyys 100 mm
8. Ulkopuolinen screen	100 % lasipinnasta, $\leq 12$ m/s

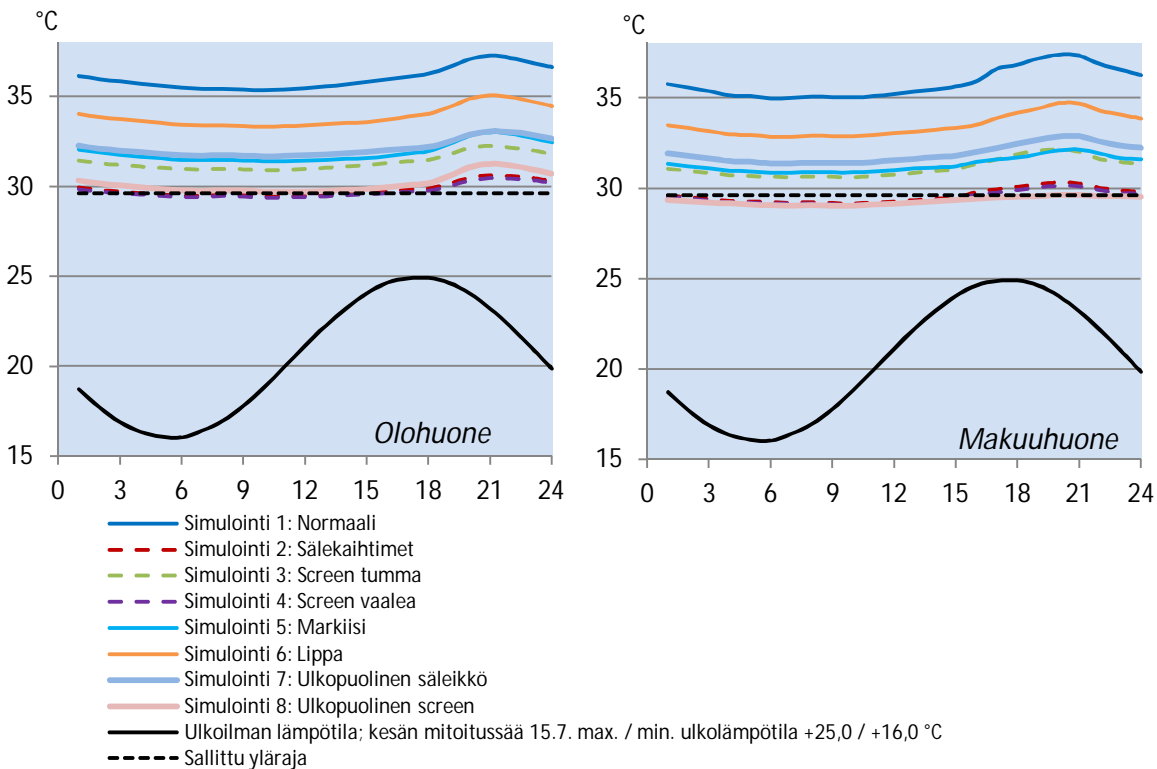
Ensimmäisessä tarkastelussa ei ole käytetty auringonsuojasta. Tarkastelussa 2 on asetettu sälekaihtimet ikkunoiden uloimpien lasien väliin. Sälekaihtimet ovat  $45^\circ$  kulmassa ja 100 % ikkuna-aukosta on peitetty koko kesäjakson ajan. Tarkasteluissa 3 on tumma screen ja tarkastelussa 4 vaalea screen asetettuna uloimpien lasien väliin peittäen 100 % ikkuna-aukon koko kesäjakson ajan. Tarkastelun 5 markiisit ovat case-kohteiden ikkunoiden levyiset, korkeus on 500 mm ja ulottuvuus seinästä 900 mm. Markiiseissa on käytössä tuulen nopeuteen perustuva ohjaus, jolloin yli 12 m/s tuulessa markiisit sulkeutuvat. Tarkastelussa 6 ikkunoiden yläpuolelle on asetettu 900 mm ulottuva varjostava lippa. Tarkastelussa 7 tutkitaan ulkopuolisen säleikön toimivuutta, jolloin säleikkö on asetettu  $38^\circ$  kulmaan lasien yläpintaan peittäen 50 % ikkunapinta-alasta. Ulkopuolisen säleikön kulma on valittu siten, että auringon korkeuskulman ollessa suurimmillaan varjostuksen ja auringonsäteen välinen kulma on lähes  $90^\circ$ . Tällöin asumisviihtyvyys ei kärsi liiaksi varjostuksen vuoksi, mutta varjostukset suojaavat liialliselta auringonsäteilyltä. Säleiden etäisyys toisistaan on 100 mm ja pituus 200 mm. Tarkastelun 8 ulkopuolinen screen on myös tuuliohjattu kuten markiisi ja se peittää 100 % ulkoilmaan kohdistuvasta ikkunapinta-alasta koko kesäjakson ajan.

Ulkopuolisista auringonsuojaratkaisuisista markiiseja, lippoja sekä ulkopuolisia säleikkörakenteita ei ole asennettu parvekkeen lasitukseen eikä lasitetulle parvekkeelle avautuviin ikkunarakenteisiin. Verrokkiasuinkerrostalon 1 olohuoneeseen tehdyt ulkoisten auringonsuojatarkastelujen vaikutukset ovat seurausta muiden tilojen lämpöolojen muutoksista, sillä parvekkeelle ei ole asennettu ulkopuolisia auringonsuojia.

Auringonsuojaratkaisujen valinnassa tulee ottaa huomioon myös rakennuspaikkakunnan ohjeet ja määräykset. Ulkopuoliset auringonsuojaratkaisut eivät ole sallittuja kaikissa asuinrakennuksissa ja rakennuspaikkakunnilla, vaan niiden asentamiseksi on saatava rakennusvalvonnan lupa. Rakennuspaikkakunnan mukaan tulee pohtia ulkoisten auringonsuojaratkaisujen toimivuutta auringonkorkeuskulman muuttuessa tarkasteltavan rakennuspaikan mukaan. Tällöin yläpuolisen lipan ulottuvuutta ja toimivuutta sekä ulkopuolisten säleiden kulmaa ja pituuksia tulee pohtia.

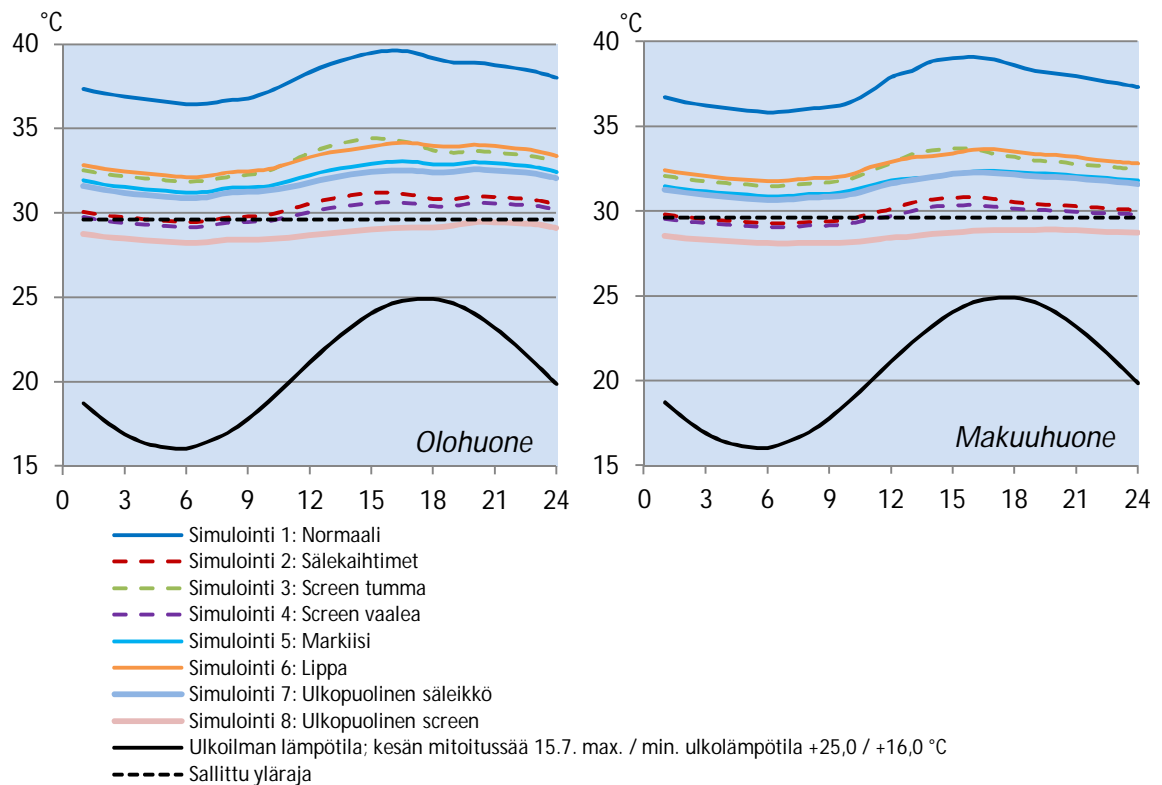
### 6.3.1 Kohteen huonelämpötilat

Kaikki taulukossa 6.3 esitetyt auringonsuojaratkaisut on mahdollista asentaa kohteisiin käyttövaiheen aikana. Niiden vaikutusta asuinrakennuksen lämpöoloihin on syytä tarkastella jo suunnitteluvaiheessa yllämpötilojen välttämiseksi ja Suomen rakentamismääräysten täyttämiseksi. Eri auringonsuojaratkaisujen vaikutuksia case-kohteiden perustapaukseen verrattuna on esitetty kuvissa 6.9 ja 6.10.



**Kuva 6.9.** Verrokkiasuinkerrostalo 1, tavallinen varustelu, auringonsuojaratkaisujen vaikutus huonelämpötiloihin kesäpäivän mitoitussäässä.

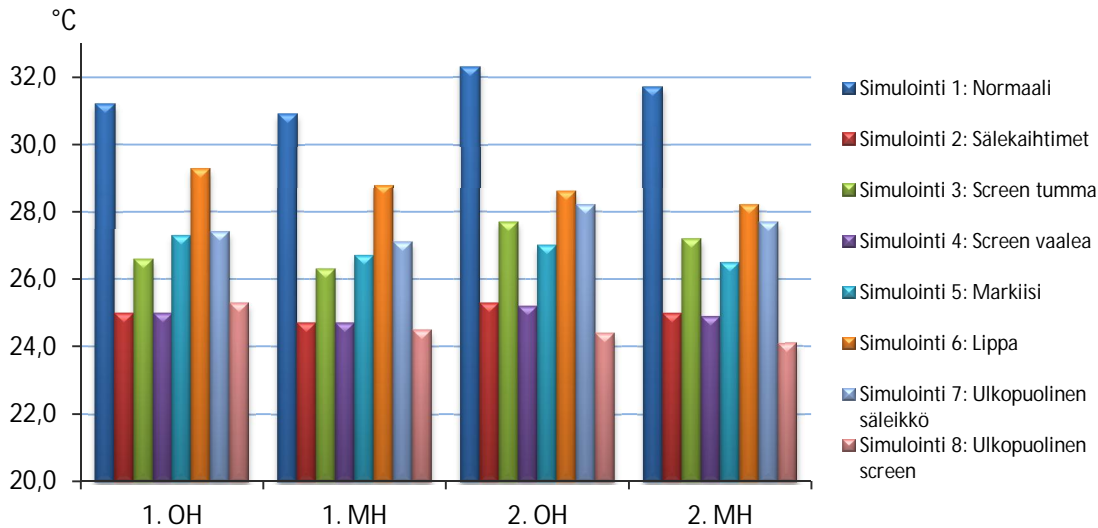
Kuvan 6.9 olohuoneessa ei ulkoisia auringonsuojaratkaisuja ole käytetty, koska olohuoneen kaikki ikkunapinta-ala kohdistuu lasitetulle parvekkeelle. Verrokkiasuinkerrostalon 1 ulkoisten auringonsuojaratkaisujen aikaansaama lämpötilan lasku kohdistuu epäsuorasti olohuoneen lämpöoloihin muiden tilojen keskimääräisten lämpötilojen laskun kautta. Tällöin olohuoneeseen kohdistuva lämpökuorma keittiöstä ja makuuhuoneesta pienenee, niille toteutettujen ulkoisten auringonsuojaratkaisujen johdosta.



**Kuva 6.10.** Verrokiasuinkerrostalo 2, tavallinen varustelu, auringonsuojaratkaisujen vaikutus huonelämpötiloihin kesäpäivän mitoitussäässä.

Kuvien 6.9 ja 6.10 perusteella voidaan havaita sisäpuolisten auringonsuojaratkaisujen keskimäärin parempi toimivuus kesäpäivän aikana ulkopuolisiin auringonsuojoihin verrattuna kriittisten oleskeluhuoneiden lämpötiloja tarkasteltaessa. Sisäpuolisilla auringonsuojaratkaisulla voidaan huonetilojen lämpötilaa laskea tarkastelluista tapauksista riippuen 4,5–7,5 astetta.

Ulkopuolisten auringonsuojaratkaisujen toimivuuteen vaikuttavat asetettu tuuliohjaus sekä ulkopuolisen auringonsuojan peittoaste. Valittuja markiiseja, lippoja ja säleikköjä ei voida asettaa 100 % ikkuna-alaa peittäviksi koon ja asetetun ohjauksen vuoksi. Ulkopuoliset auringonsuojaratkaisut laskevat sisälämpötiloja ratkaisusta riippuen 2–6,5 astetta. Sisäisten ja ulkopuolisten auringonsuojaratkaisujen vaikutuksia keskimääräisiin huonelämpötiloihin kesäajan jaksolle tarkastellaan erikseen kuvassa 6.11.



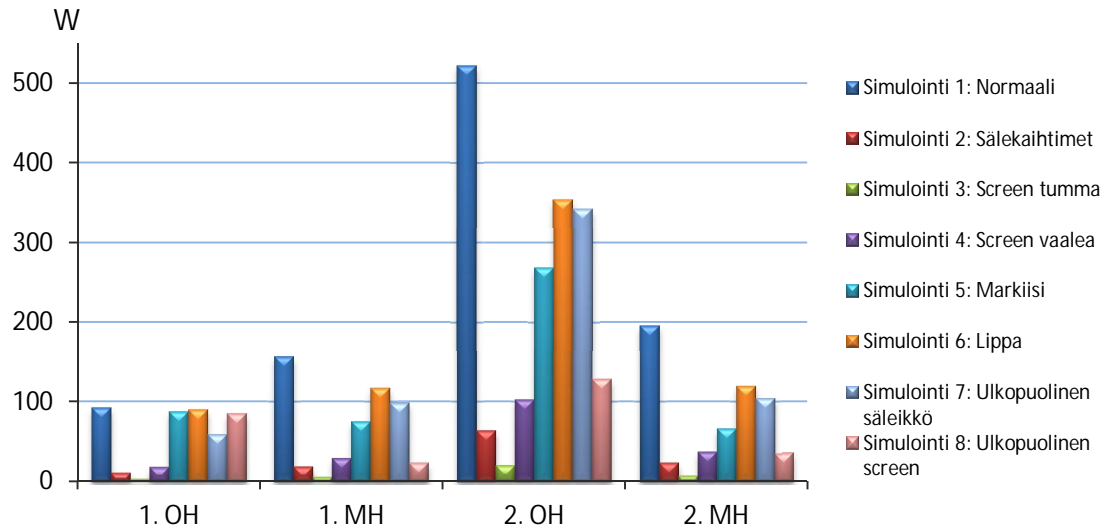
**Kuva 6.11.** Verrokkiasuinkerrostalot 1 ja 2, tavallinen varustelu, auringonsuojaratkaisujen vaikutus keskimääräisiin huonelämpötiloihin kesäjakson aikana Helsinki-Vantaa 2012 testisäässä.

Ulkoiset auringonsuojaratkaisut pienentävät kesäajan keskimääräisiä huonelämpötiloja noin 3–7 astetta valitusta ratkaisusta riippuen ja sisäpuoliset keskimäärin hieman tehokkaammin 4,5–6,5 astetta. Sälekaihtimet ja vaalea screen ovat tehokkaita yllämpötilojen hallintakeinoja. Tumma screen pienentää huonelämpötiloja, mutta sen läpi siirtyy johtumalla ja säteilemällä huonetilaan enemmän lämpöä kuin vaaleasta screenistä tai sälekaihtimista. Lisäksi tumma screen pimittää huonetta muita sisäisiä auringonsuojaratkaisuja enemmän, jolloin valaistuksen tarpeen lisääntyessä sisäiset kuormat kasvavat muita ratkaisuja enemmän (Sunsystems 2012c). Sisäpuolisten screenien valinnassa käyttäjän mielipide on tärkeä valintakriteeri. Vaalea screen toimii paremmin auringonsuojana ja päästää valoa enemmän läpi, kun taas tumma screen on toimiva ratkaisu huoneen pimentämiseen.

Ulkoiset auringonsuojaratkaisut toimivat hyvin huoneiden lämpötiloja tarkasteltaessa, mutta niiden käytettävyys on epävarmaa. Tuuliohjaus vähentää ulkopuolisten auringonsuojaratkaisujen toimivuutta sekä rakennuspaikkakunnan kaava- ja maisemasuunnittelu voivat kieltää ulkoisten ratkaisujen käytön.

### 6.3.2 Auringonsuojaratkaisun vaikutus ulkoiseen lämpökuormaan

Auringonsuojaratkaisujen vaikutuksia ikkunoihin kohdistuvaan keskimääräiseen kesäaikaisen säteilyenergian määrään tarkasteltiin sisälämpötilojen lisäksi. Kuvassa 6.12 on esitetty Verrokkiasuinkerrostalojen 1 ja 2 kriittisten asuntojen olo- ja makuuhuoneisiin kohdistuvan keskimääräisen ulkoisen lämpökuorman määrä.



**Kuva 6.12.** Verrokkiasuinkerrostalot 1 ja 2, tavallinen varustelu, auringonsuojaratkaisujen vaikutus ikkunapintojen läpi kohdistuvaan auringon säteilyenergian määrään kesäjakson aikana Helsinki-Vantaa 2012 testisäissä.

Kuvasta 6.12 voidaan huomata suuri ero eri tilojen ikkunoihin kohdistuvissa keskimääräisissä auringon säteilyenergioissa. Verrokkiasuinkerrostalon 2 olohuoneelle asetetut ulkoiset auringonsuojaratkaisut estävät auringon säteilyenergiaa muita ikkunoita heikommin, koska ulkoisten auringonsuojaratkaisujen peittävyys on muihin ikkunoihin verrattuna pienempi. Ulkoisten auringonsuojaratkaisujen varjostava vaikutus on selvästi havaittavissa kesäaikana. Talvella ulkoisten auringonsuojaratkaisujen varjostusaste vähenee auringon korkeuskulman pienentyessä. Kappaleessa 4.45 korkeuskulman pienentymisen todettiin vähentävän viileämpien vuodenaikojen lämmitystarvetta.

Ulkopuolisten auringonsuojien toimivuutta eri rakennuspaikkakunnilla tarkasteltiin Helsingin lisäksi Jyväskylässä ja Sodankylässä. Auringonsuojien varjostuksen eroavaisuuksia tarkasteltiin Helsinki-Vantaa 2012 testisäällä, joten auringon säteilyenergia pysyi muuttumattomana rakennuspaikkakunnan muuttuessa. Rakennuspaikkakunnan muutos vaikuttaa auringon korkeuskulmaan ja edelleen ulkoisen auringonsuojaratkaisun toimivuuteen.

Taulukossa 6.4 esitetään ulkoisten auringonsuojaratkaisujen varjostavuuden tehokkuus Jyväskylässä ja Sodankylässä suhteessa Helsingin arvoihin. Varjostavuuden tehokkuutta tarkasteltiin oleskeluhuoneiden ikkunoihin kohdistuvan suoran auringon säteilymäärän avulla. Tarkasteluun valittiin tarkastelun 6 mukainen lipparakenne sekä tarkastelun 7 mukainen ulkopuolinen säleikkö.

**Taulukko 6.4.** Verrokkiasuinkerrostalojen 1 ja 2 auringonsuojaratkaisujen varjostavuus eri rakennuspaikkakunnilla kesäjakson aikana Helsinki-Vantaa 2012 testisäässä.

Kohde	Helsinki	Jyväskylä	Sodankylä
Lippa 900 mm			
Verrokkiasuinkerrostalo 1	-	-3,9 %	-5,7 %
Verrokkiasuinkerrostalo 2	-	-3,4 %	-12,5 %
Ulkopuolinen säleikkö			
Verrokkiasuinkerrostalo 1	-	-4 %	-6,1 %
Verrokkiasuinkerrostalo 2	-	-0,9 %	-3,8 %

Taulukosta 6.4 havaitaan rakennuspaikkakunnan sijainnin vaikutus Helsinkiin asetettujen auringonsuojaratkaisujen toimintaan. Auringon korkeuskulman ollessa kesäaikana Sodankylässä Helsinkiä pienempi, havaitaan lipparakenteen suojaavan vaikutus olevan selvästi heikompi. Ulkopuoliset säleet toimivat hieman paremmin vastaavassa tilanteessa. Verrokkiasuinkerrostalon 2 tuloksista havaitaan selvemmin pinta-alaltaan suuriin ikkunoihin tehtyjen tarkastelujen eroavaisuus. Rakennuspaikkakunnan muuttuessa pitää auringonsuojaratkaisujen ominaisuuksia pohtia rakennuspaikkakunnalla vaikuttavien olosuhteiden mukaisesti.

## 6.4 Auringonsuojaratkaisujen yhdistelmät

Kappaleissa 6.1–6.3 esitettyjen rakenteellisten, ilmanvaihdollisten ja auringonsuojaratkaisujen tuloksien perusteella on valittu erilaisia järkevästi toteutettavissa olevia yhdistelmiä tarkempaan tarkasteluun. Yhdistelmien valinnassa on tarkoituksena löytää ratkaisut, joilla on mahdollista täyttää asuinrakennuksille asetetut astetuntivaatimukset taulukon 5.4 kotitalouksien sähkönkäytön perusteella määritetyillä tavallisesti ja korkeasti varusteltujen sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 standardikuormien mukaisilla asuntojen sisäisillä lämpökuormilla. Lisäksi eri yhdistelmien valinnassa on pyritty löytämään ratkaisut, joilla saavutetaan asuinrakennuksen oleskeluhuoneissa hyvä lämpöviihtyvyys.

### 6.4.1 Astetuntitarkastelut

Verrokkiasuinkerrostaloille laadittujen yllämpötilojen hallintakeinojen yhdistelmillä tarkastellaan oleskelutilojen lämpöolosuhteita Helsinki-Vantaa testisään 2012 avulla kesäjakson 1.6.–31.8 välisenä aikana. Taulukossa 6.5 esitetään yhdistelmät, joiden avulla tarkastellaan tavallisesti sekä korkeasti varusteltujen kriittisten asuntojen lämpöoloja astetuntien avulla.



**Taulukko 6.5. Case-kohteiden yllämpötilojenhallintavaihtoehtojen yhdistelmät**

Yhdistelmäratkaisut																
Simulointi:																
1.		×		•	•		-/•	×		•			×			
2.	×			×				×		×		•				
3.		×		×				×		×		•				
4.			×	×	×	•		×		•						
5.	×			•	×	×	×	•/-	×		×	-/•	•/-			
6.		×			×	×	×		×		×	•				
7.		×		•		•			×			×				
8.		×			•	•			×				×			
Ominaisuus:	Passiivitalo	Normaali	Terminen massa	IV-tehostus 30 %	IV-yötehostus 30 %	Yöilmanviiheys	Ikkunat -10 %	Ikkunat -20 %	Sälekaihtimet	Vaalea screen	Auringonsuojalasi 1	Auringonsuojalasi 2	Auringonsuojalasi 3	Markiisi	Ulkopuoliset säleät	Ulkopuolinen screen

(I) Merkintä × kuvaa valittua perusratkaisua, • kuvaa valittua lisäratkaisua

(II) Verrokiasuinkerrostalo 2, korkea varustelu: olohuoneen ikkunassa ulkopuolinen säleikkö

Taulukossa 6.5 on esitetty valittujen auringonsuojarakaisujen yhdistelmät, joilla on pyritty luomaan lämpöviihtyisiä ja Suomen rakennusmääräykset täyttävä kokonaisuus. Merkintä × kuvaa perusratkaisuun valittuja ominaisuuksia, joiden avulla on tehty ensimmäiset tavallisen ja korkean kuorman tarkastelut. Lämpöolojen ja astetuntien liiallisen kohoamisen johdosta perusratkaisuja parannettiin lisäratkaisuilla. Esitettyihin ratkaisuihin tehdyt tehostetut lisäratkaisut on esitetty taulukossa 6.5 merkinnällä •, joilla lämpöolot tarkastelluissa kohteissa voidaan hallita. Ennen / -merkkiä oleva merkintä kuvaa Verrokiasuinkerrostalolle 1 tehtyjä ratkaisuja ja / -merkin jälkeen Verrokiasuinkerrostalolle 2.

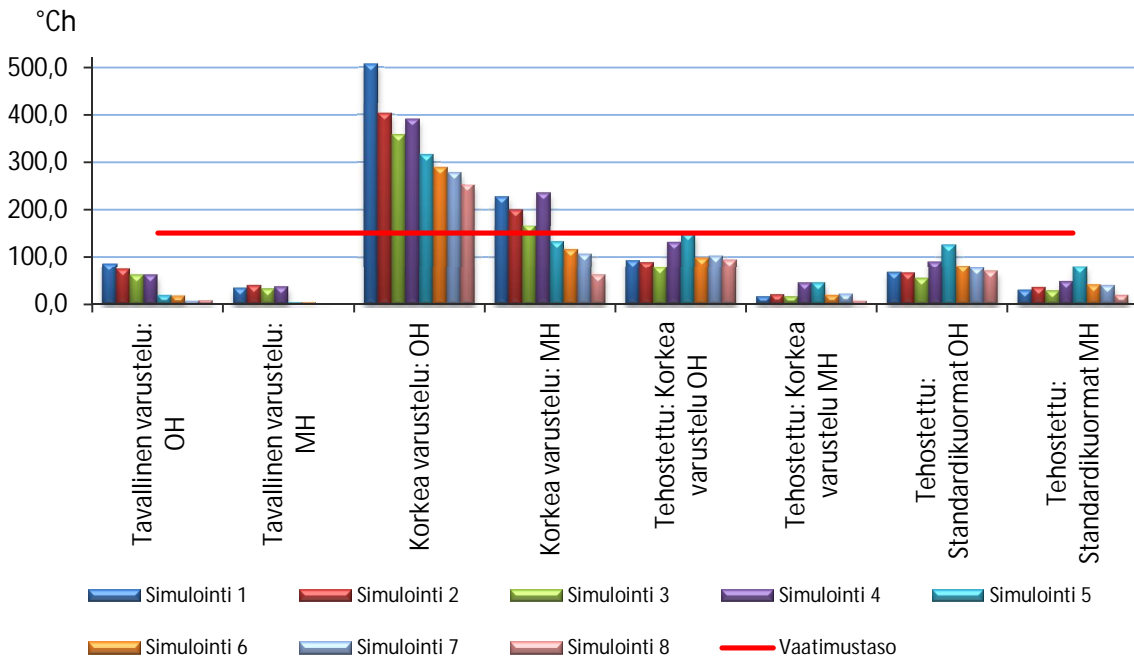
Käsitteet passiivitalo, normaali ja terminen massa kuvaavat rakenteellisia ominaisuuksia, joita tarkasteltavat tapaukset edustavat. Muut ominaisuudet kuuluvat ilmanvaihdoon, ikkunoiden rakenteellisiin ja auringonsuojarakaisuihin, joiden vaikutuksia tarkasteltiin kappaleissa 6.1–6.3.

Verrokiasuinkerrostalojen 1 ja 2 kriittisille asunnoille tehtiin kesäajan astetuntitarkastelut taulukon 6.5 mukaisilla lähtötiedoilla. Taulukon 6.5 perustarkasteluiden 1–8 määrittämisessä on pyritty luomaan sitä parempia ratkaisuja, mitä myöhäisempi tarkastelu on kyseessä. Tarkasteluissa 1, 3, 6, 7 ja 8 on tutkittu rakenteellisesti normaalia asuinkerrostaloa edustavia kriittisiä asuntoja. Tarkasteluissa 2 ja 5 on esitetty passiivikerrostaloa U-arvojen ja ilmantiiviuden osalta vastaavia asuinkerrostaloja. Tarkastelussa 4 on tutkittu lisätyn termisen massan vaikutuksia lämpöoloihin. Eri rakenteellisiin lähtökohtiin on lisätty taulukon 6.5 mukaisesti rakenteellisia, ilmanvaihdoon ja passiivisia auringon-

suojaratkaisuja. Lisäksi Verrokkiasuinkerrostalon 2 kriittiselle asunnolle on luotu lisä-auringonsuojausratkaisuksi ulkopuolinen säleikkö varjostamaan olohuoneen ikkunapintaa. Ulkopuolista säleikköä on käytetty kaikissa korkean varustelun tarkasteluissa lukuun ottamatta tarkastelua 8, jossa on käytössä ulkopuolinen screen.

Tarkastelun 1 lisäratkaisussa Verrokkiasuinkerrostalon 2 kriittisen asunnon ikkunapinta-alaa on pienennetty 20 % Verrokkiasuinkerrostaloille tehtyjen toimenpiteiden lisäksi, jolloin yllilämpöongelmia ei enää esiinny. Lisäksi tarkastelussa 5 Verrokkiasuinkerrostalon 2 kriittisessä asunnossa käytetään auringonsuojalaseja 3 (g-arvo 0,2) lämpöolojen hallitsemiseksi. Verrokkiasuinkerrostalolle 1 asetettu astetuntivaatimus täyttyi lisäämällä etelän suuntaiseen parvekeikkunapintaan ulkopuolinen säleikkö sekä pienentämällä ikkunapintaa, jolloin ikkunapinta-ala on 20 prosenttia alkuperäistä pienempi. Valittu ratkaisu mahdollistaa tehokkaammin auringon säteilyenergian käytön talviaikana asuinkerrostalon lämmitystä vähentävänä energiana.

Kuvissa 6.13 ja 6.14 esitetään tavallisen ja korkeasti varustetun Verrokkiasuinkerrostalon 1 ja Verrokkiasuinkerrostalon 2 kriittisen asunnon astetunnit. Kuvissa on lisäksi esitetty tehostettujen auringonsuojaratkaisujen astetunnit standardikuormilla ja korkean varustelun kuormilla. Lisäratkaisuilla voidaan hallita korkeasti varustetun kriittisen asunnon lisääntyneiden sisäisten lämpökuormien aiheuttamat kohonneet lämpöolot. Rakennuksien haitallista lämpenemistä tarkastellaan astetuntien avulla, jolloin asuinrakennuksen astetunnit eivät saa ylittää kappaleen 3.3.1 taulukossa 3.7 esitettyä asuinkerrostalon jäähdytysrajaa 27 °C yli 150 astetuntia.



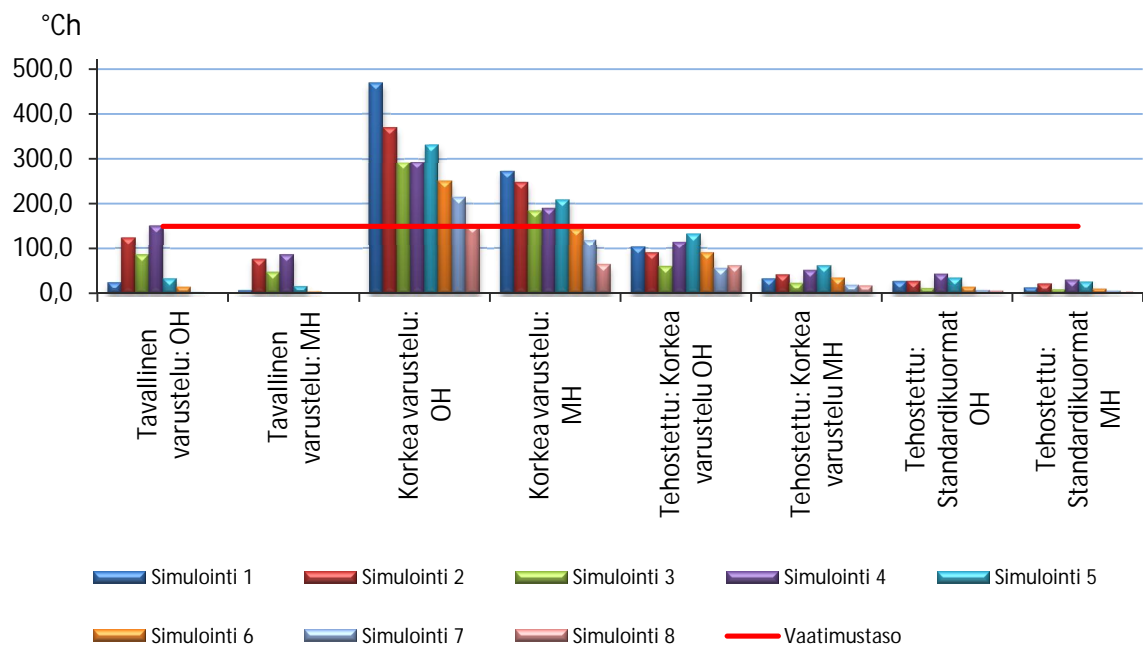
**Kuva 6.13.** Verrokkiasuinkerrostalo 1, yllilämpötilojenhallintavaihtoehtojen astetunnit standardikuormilla sekä tavallisen ja korkean varustelun asunnoissa kesäjakson aikana Helsinki-Vantaa 2012 testisäässä.

Kuvasta 6.13 havaitaan tavallisesti varustetun kriittisen asunnon lämpöolojen pysyvän reilusti alle 150 astetuntia. Korkeimmillaan lämpöolot kohoavat olohuoneessa

85 astetuntiin tarkastelussa 1, jolloin perustapaukseen on lisätty sälekaihtimet ja tuuliohjatut markiisit.

Tavallisesti varustetun asunnon tarkastelussa 4 termisen massan lisäys laskee huonelämpötilaa vähentäen astetunteja enemmän kuin, jos normaalit lasirakenteet korvataan auringonsuojalaseilla, joiden g-arvo on 0,38. Korkean varustelun tapauksessa voidaan havaita termisen massan toimimattomuus viilennyskäytössä. Kriittisen asunnon sisäiset kuormat ovat suuret, jolloin yöaikana rakenteisiin varastoitunut yöilman viileys ei riitä kompensoimaan päivän aikaista lisääntyneitä laitteiden lämpökuormaa ja ulkoista lämpökuormaa. Termisen massan lisäys toimii tiloissa, joissa on pienet sisäiset lämpökuormat. Suuren sisäisen lämpökuorman kohteissa lämpö varastoituu rakenteisiin, mikä vähentää lämmitystarvetta, mutta lisää jäädytystarvetta. Tehostetun ilmanvaihdon avulla termiseen massaan varastoitu yöilman viileys ei riitä hallitsemaan kesäpäivän lämpötilahuippua vastaavaa lämpökuormaa, vaan termisen massan hyväksikäyttö vaatii tehokkaamman rakenteisiin lämpöä varastoivan jäädytysratkaisun.

Tarkasteluissa 5 ja 6 on tutkittu ikkunan pienentämisen vaikutuksia normaalissa ja passiivikerrostalossa. Ikkunan pienentäminen yksinään ei riitä korkeasti varustellun asunnon yllämpötilojen hallitsemiseksi. Tarkasteluun on lisätty yöilman viileyden hyväksikäyttö, jolloin tuloilman asetustilalaskulla 12 asteeseen ja yöajan ilmanvaihdon 30 prosenttisella tehostuksella ja auringonsuojalaseilla voidaan yllämpötiloja pienentää. Tarkastelussa 5 Verrokkiasuinkerrostalon 2 kriittisen asunnon sisäisten kuormien kasvun johdosta edellä esitetty ratkaisu ei täytä haluttua 150 astetuntivaatimusta vaan lisäratkaisuksi tarvitaan ikkunoiden g-arvon parannus 0,2:een. Tarkastelussa 5 Verrokkiasuinkerrostalo 1 kriittisen asunnon ikkunapinta-alaa on lisäksi pienennettävä 20 prosenttia alkuperäisestä.

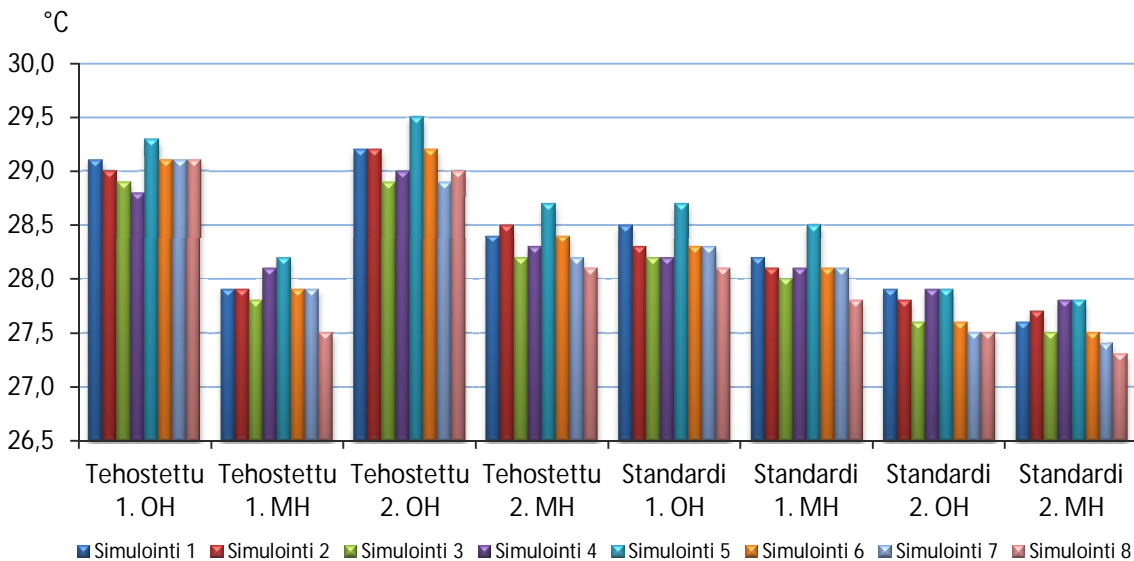


**Kuva 6.14.** Verrokkiasuinkerrostalo 2, yllämpötilojenhallintavaihtoehtojen astetunnit standardikuormilla sekä tavallisen ja korkean varustelun asunnoissa kesäjakson aikana Helsinki-Vantaa 2012 testisäässä.

Kuvasta 6.14 havaitaan erityisesti tarkastelun 5 passiivitalon kesäaikainen lämpötekninen eroavaisuus tarkastelun 6 normaalirakenteiseen asuinkerrostaloon. Korkeilla laitekuormilla tarkasteltuna passiivitalon astetunnit olohuoneessa kohoavat 331 astetuntiin, mikä on 81 astetuntia tarkastelun 6 normaalikerrostaloa vastaavaa suurempi. Keskimääräisiä kesäajan huonelämpötiloja tarkasteltaessa kohonneet astetunnit tarkoittavat noin 0,2 astetta korkeampia huonelämpötiloja. Tavallisen varustelun mukaisen laitekuorman tapauksessa astetuntierotus olohuoneessa on pienempi vain 19 °Ch, mistä seuraa keskimäärin 0,1 asteen lämpötilan nousu normaalitapauksen verrattuna.

Verrokkiasuinkerrostalon 1 kriittisempi suuntaus havaitaan kuvien 6.13 ja 6.14 perusteella standardikuormilla tarkasteltujen kriittisten asuntojen astetunteja vertailemalla. Verrokkiasuinkerrostalon 2 kriittisen asunnon korkean kuormien ja standardikuormien Verrokkiasuinkerrostaloa 1 suurempi erotus havaitaan selvästi parantuneina lämpöoloina astetunteja vertailemalla.

Edellä esitettyjen tarkastelujen kesäajan astetunnit voidaan hallita erilaisin auringonsuojakeinoin. Astetuntitarkastelu ja Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukainen 150 astetunnin yläraja sallivat hetkellisesti lämpötilojen kohoamisen. Kuvassa 6.15 on esitetty kesäjakson korkeimmat simuloidut lämpötilat määräykset täyttävissä korkean varustelun ja standardikuormin varustetun kriittisen asunnon tehostetuissa ratkaisuissa.



**Kuva 6.15.** Verrokkiasuinkerrostalot 1 ja 2, korkean varustelun ja standardikuormien tehostettujen ratkaisujen huonelämpötilahuiput kesäjakson aikana Helsinki-Vantaa 2012 testisäässä.

Kuvan 6.15 perusteella voidaan todeta oleskelutilojen lämpötilahuippujen nousevan korkeiksi johtuen testisään lämpimän päivän korkeasta ulkolämpötilasta sekä suurista ulkoisista ja sisäisistä lämpökuormista. Erityisen korkeaksi lämpötilat nousevat passiivikerrostaloa mallintavissa tapauksissa, jolloin kohonneiden sisälämpötilojen lämpömäärä ei poistu yhtä tehokkaasti lämpöhäviöinä rakennusvaipan läpi kuin normaalissa tapauksessa.

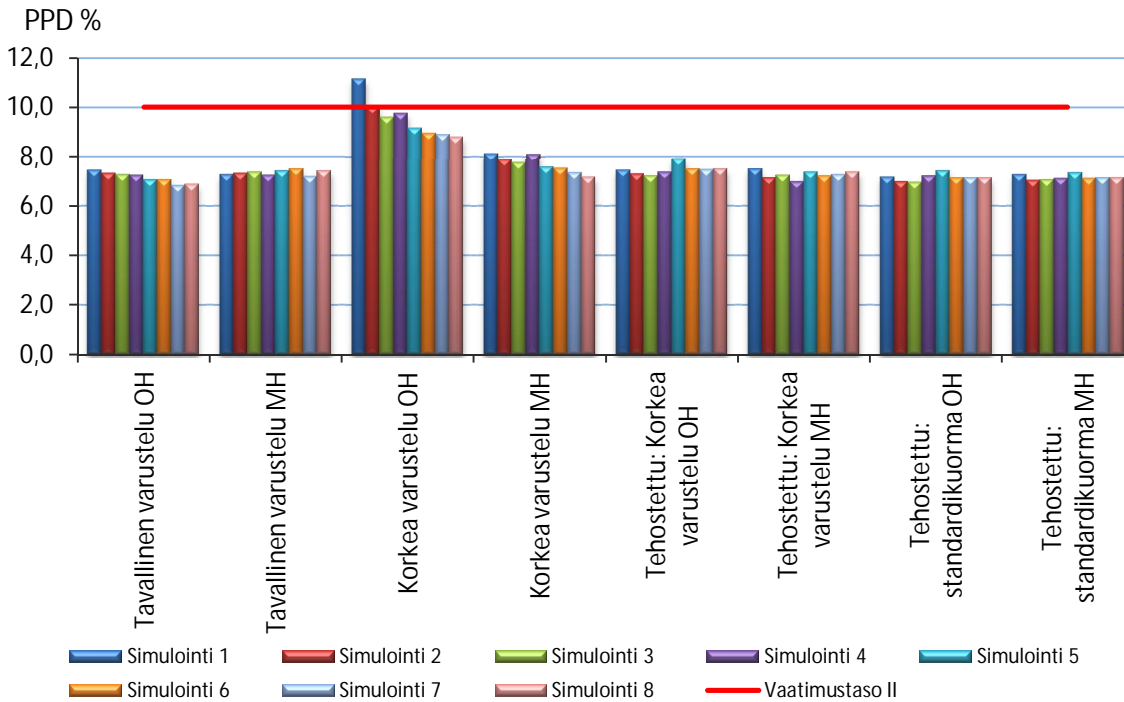
Standardikuormien ja määritettyjen korkeasti varusteltujen kriittisten asuntojen kuormien erilainen jakaantuminen voidaan havaita kuvasta 6.15. Korkeasti varusteltujen olo- ja makuuhuoneiden lämpötilahuippujen ero on selvästi suurempi kuin standardikuormilla tarkasteltuna.

Tarkastelun 1 markiisin varjostava vaikutus korostuu erityisesti Verrokkiasuinkerrostalon 2 makuuhuoneessa, sillä markiisi varjostaa tehokkaasti ikkunapintaa auringon korkeuskulman ollessa suurimmillaan. Esimerkiksi Verrokkiasuinkerrostalon 1 lämpöolojen kannalta epäsuotuisamman suuntauksen johdosta auringonsäteily kohdistuu oleskelutilojen ikkunapintoihin pidemmän aikaa ja pienemmästä korkeuskulmasta, josta seuraa Verrokkiasuinkerrostaloa 2 suuremmat lämpötilahuiput. Hetkellisten lämpötilahuippujen vaikutuksia lämpöviihtyvyyteen tarkastellaan tarkemmin kappaleessa 6.4.2.

#### **6.4.2 Lämpöviihtyvyys**

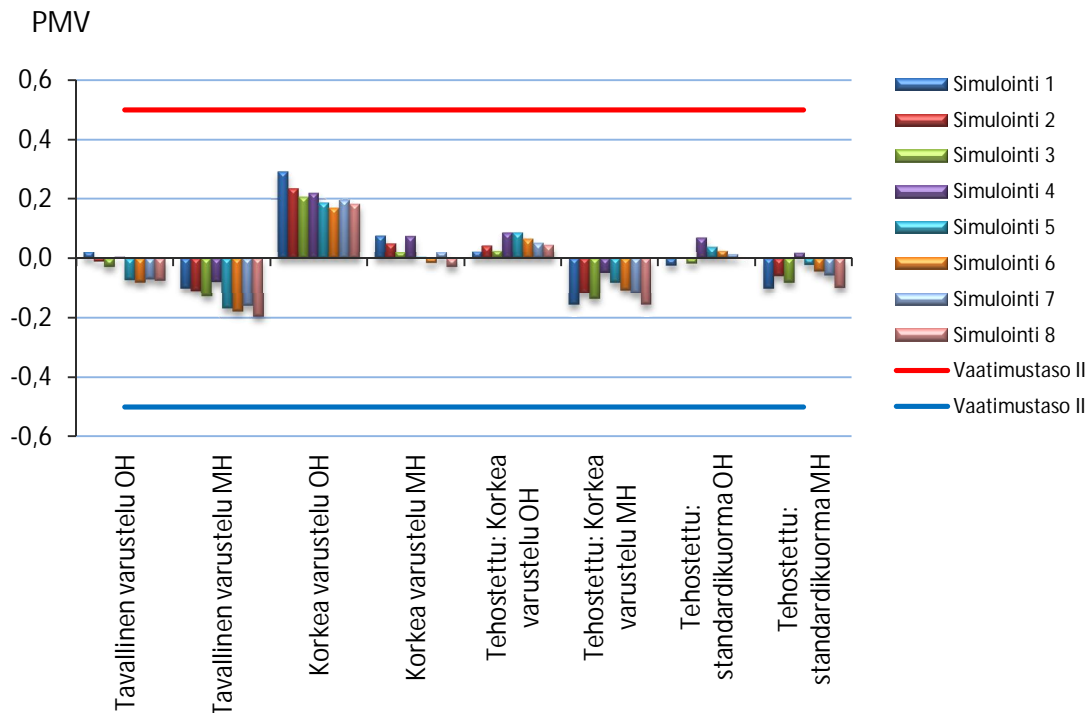
Case-kohteiden lämpöviihtyvyyttä tarkasteltiin koko kesäjakson ajan Helsinki-Vantaa 2012 testisään avulla. Case-kohteille luotuja ylitämmön hallintaratkaisuja tarkasteltiin kesäjakson aikana keskimääräisillä lämpöviihtyvyyteen tyytymättömien osuudella PPD ja suuren joukon aistiman termisen viihtyvyyden keskiarvolla PMV. Case-kohteiden keskimääräiselle lämpöviihtyvyydelle on asetettu standardin SFS-EN 15251 mukaisesti vaatimustaso II, jossa vaatimukset tyytymättömien osuudelle  $PPD < 10$  sekä keskimääräiselle lämpöaistimukselle  $-0,5 < PMV < 0,5$ . Vaatimustasoa II on yleisesti käytetty rakennusten suunnittelun tavoitetasona uudis- ja korjausrakentamisessa. (SFS-EN 15251 2007.)

Case-kohteiden avulla tarkasteltujen keskimääräisten lämpöolojen PPD- ja PMV-arvot esitellään Verrokkiasuinkerrostalon 1 kriittiselle asunnolle kuvissa 6.16 ja 6.17 sekä Verrokkiasuinkerrostalo 2 kriittiselle asunnolle kuvissa 6.18 ja 6.19. Lämpöviihtyvyyden arvot on laskettu ajanhetkinä, jolloin käyttäjän ajatellaan oleskelevan asunnossa. Lisäksi eri hallintaratkaisujen suurimmat mitatut tyytymättömien osuudet korkeimmissa mitatuissa huonelämpötiloissa esitetään kuvassa 6.20.



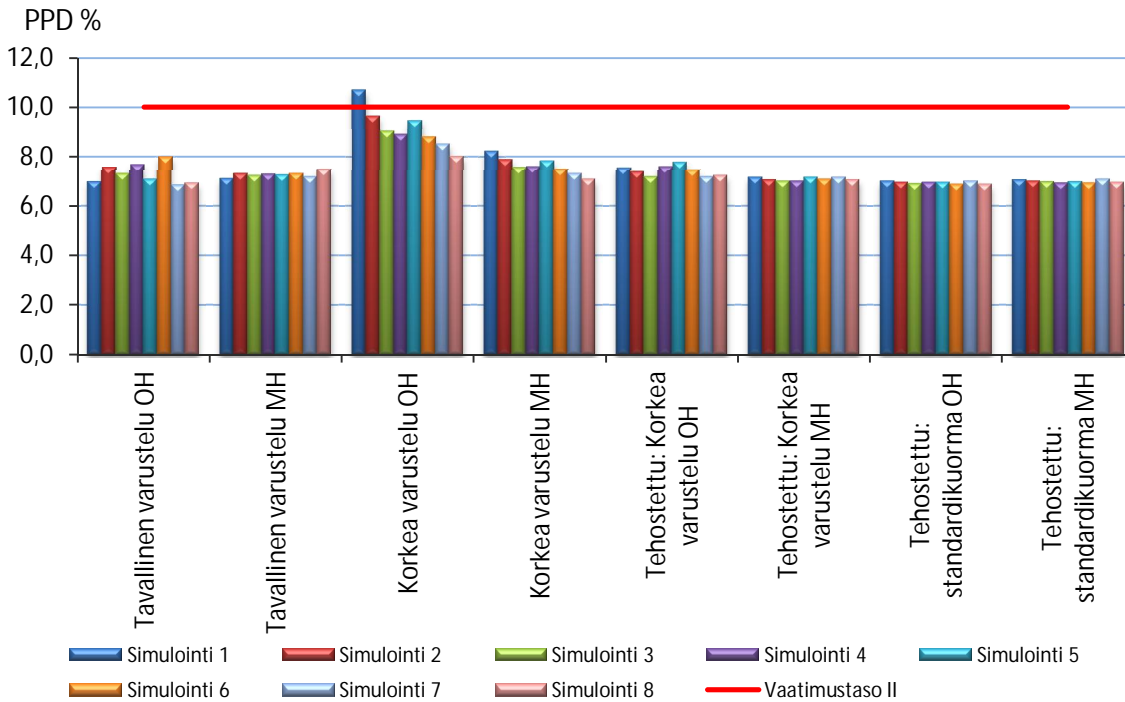
**Kuva 6.16.** Verrokiasuinkerrostalo 1, ylälämpötilojenhallintavaihtoehtojen termiseen viihtyvyyteen tyytymättömien osuudet standardikuormilla sekä tavallisen ja korkean varustelun asunnossa kesäjaksan aikana Helsinki-Vantaa 2012 testisäässä.

Kuvan 6.16 perusteella keskimääräiset termiseen viihtyvyyteen tyytymättömien osuudet pysyvät kaikissa tarkastelluissa tapauksissa yhtä poikkeusta lukuun ottamatta SFS-EN 15251 standardin (2007) määrittämän vaatimustason II rajojen sisällä. Kuvassa 6.16 esitetyt PPD-arvot tukevat edellä esitettyjä tuloksia case-kohteiden astetunneista. Tarkastelut, joissa on todettu pienimmät astetuntimäärät, johtavat pienempään termiseen viihtyvyyteen tyytymättömien osuuteen. Poikkeus on havaittavissa ainoastaan termisen massan tarkastelussa 4. Rakennuksen termisen massan lisääntynyt lämpökapasiteetti varastoi kesäajan lämpötilavaihteluiden lämpöenergiaa, mistä seuraa keskimäärin lämpimämmät huonelämpötilat. Kohonneet huonelämpötilat johtavat lämpöviihtyvyyden heikentymiseen.

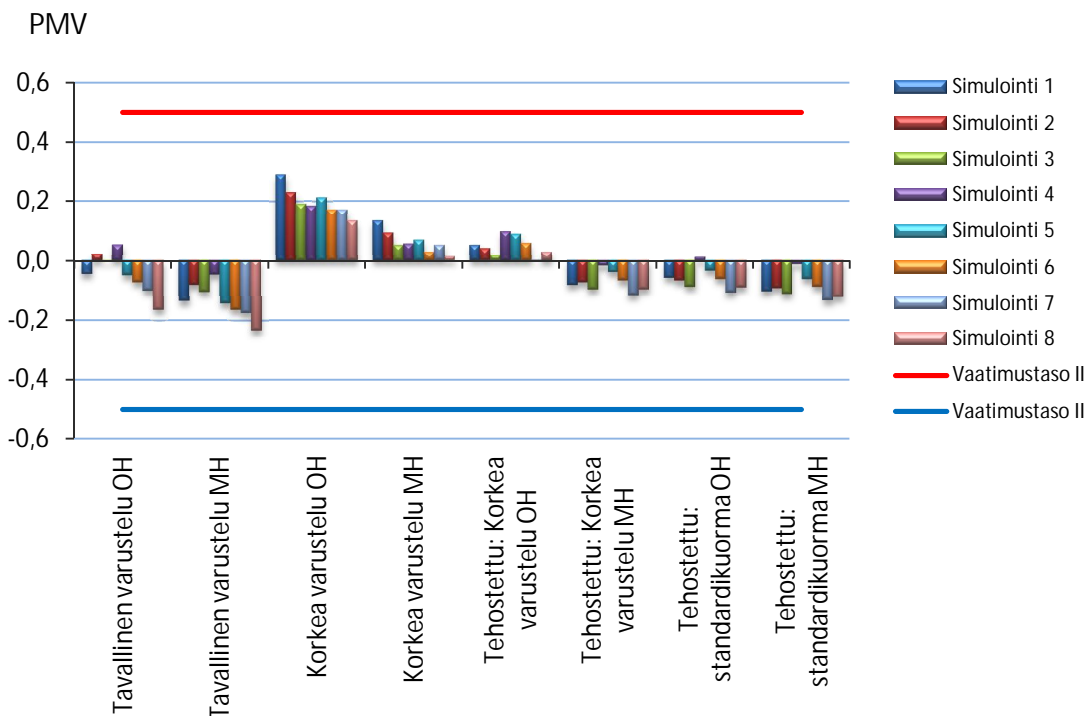


**Kuva 6.17.** Verrokkiasuinkerrostalo 1, yllämpötilojenhallintavaihtoehtojen keskimääräinen lämpöaistimus huonelämpötilasta standardikuormilla sekä tavallisen ja korkean varustelun asunnossa kesäjakson aikana Helsinki-Vantaa 2012 testissä.

Kuvan 6.17 Verrokkiasuinkerrostalon 1 kriittisen asunnon käyttäjän aistiman termisen viihtyvyyden keskimääräiset arvot pysyvät SFS-EN 15251 standardin (2007) määrittämän luokan II rajojen sisällä. Keskimääräisesti käyttäjät kokevat oleskelutilojen lämpöolot neutraaleiksi. Tavallisesti varustetun kriittisen asunnon käyttäjät kokevat termisen viihtyvyyden makuuhuoneessa enemmän jopa viileäksi kuin lämpimäksi. Osa syy tähän on tehokkaiden auringonsuojarakaisujen käyttö yhdessä yöilman viileyden kanssa. Tällöin asunnoissa on viileää kesäkuussa ulkolämpötilan ollessa heinä- ja elokuuta alhaisempi, keskimäärin pysytään tavoitetilassa 0 neutraali. Vaikka yöilman viileyttä käytetään huoneiston viilennysratkaisuna, eivät oleskelutilojen lämpötilat laske alle asetetun lämmitysrajan 21 °C. Termisen massan varastoima lämpöenergia tarkastelussa 4 on havaittavissa kuvasta 6.17 kuvaa 6.16 selvemmin.



**Kuva 6.18.** Verrokkiasuinkerrostalo 2, ylälämpötilojenhallintavaihtoehtojen termiseen viihtyvyyteen tyytymättömien osuudet standardikuormilla sekä tavallisen ja korkean asunnossa kesäjakson aikana Helsinki-Vantaa 2012 testisäässä.



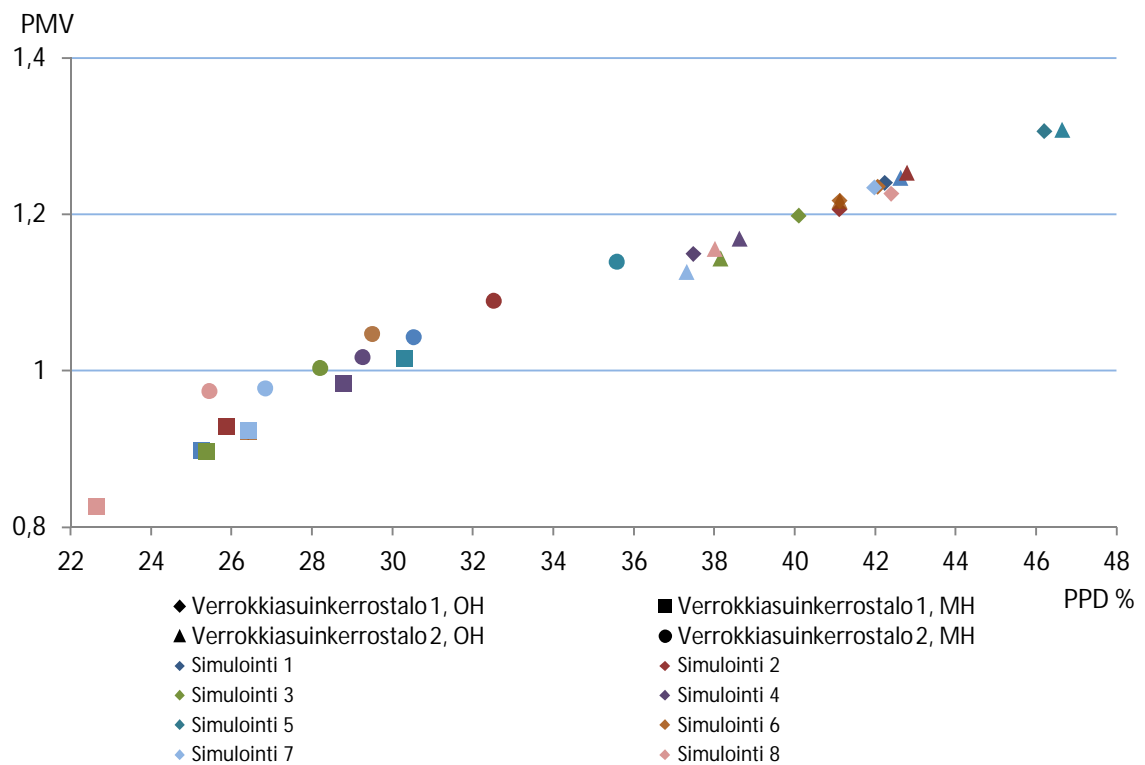
**Kuva 6.19.** Verrokkiasuinkerrostalo 2, Ylälämpötilanhallintavaihtoehtojen keskimääräinen lämpöaistimus huonelämpötilasta standardikuormilla sekä tavallisen ja korkean asunnossa kesäjakson aikana Helsinki-Vantaa 2012 testisäässä.

Kuvien 6.18 ja 6.19 Verrokkiasuinkerrostalon 2 kriittisen asuntoon tehtyjen tarkastelujen keskimääräiset termiseen viihtyvyyteen tyytymättömien osuudet sekä käyttäjän



aistiman termisen viihtyvyyden keskimääräiset arvot pysyvät kaikissa tarkasteluissa SFS-EN 15251 standardin (2007) luokan II rajojen sisällä. Tämä on seurausta olohuoneen ikkunaan asetetusta ulkopuolisen säleikön varjostuksesta. Varjostuksen johdosta huonelämpötila sekä eri pintojen väliset lämpötilaerot pienenevät. Edellä esitettyjen keskimääräiseen lämpöviihtyvyyteen tyytymättömien osuudet sekä käyttäjän aistima termisen viihtyvyys täyttävät SFS-EN 15251 standardin (2007) mukaisen vaatimustason II raja-arvot.

Tarkasteltujen kriittisten asuntojen huonelämpötilojen todettiin kappaleessa 6.4.1 kohoavan hetkellisesti korkeiksi, jolloin myös lämpöviihtyvyys heikkenee. Kuvassa 6.20 esitetään kesäajan lämpötilahuippua vastaavat lämpöviihtyvyyden tyytymättömien PPD-arvot ja suuren joukon aistiman termisen viihtyvyyden PMV-arvot. Kuvassa 6.20 tarkastellut 1–8 on merkitty värein ja Verrokkiasuinkerrostalojen kriittisten asuntojen oleskeluhuoneet eri symboleilla.

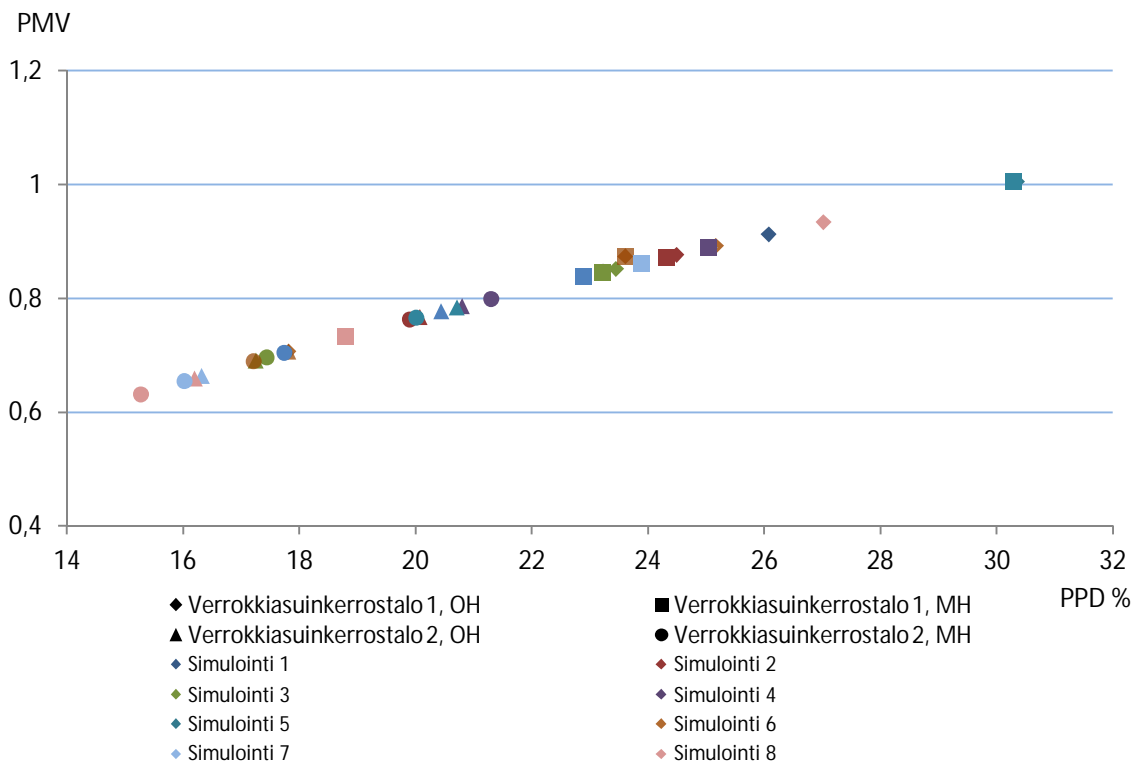


**Kuva 6.20.** Verrokkiasuinkerrostalo 1 ja 2, korkean varustelun kriittisten asuntojen kesäjakson tehostettujen ratkaisujen lämpötilahuippua vastaavat lämpöviihtyvyyden PMV- ja PPD-arvot Helsinki-Vantaa 2012 testisäässä.

Korkeasti varusteltujen case-kohteiden kriittisten asuntojen olohuoneiden lämpötilojen todettiin kohoavan eri tarkasteluissa keskimäärin makuuhuoneita suuremmiksi kuvan 6.15 mukaisesti. Hetkellisesti korkeaksi kohonneet kesäajan lämpötilat vaikuttavat termiseen viihtyvyyteen. Kuvasta 6.20 voidaan todeta lämpöolojen kohoavan, jolloin termiseen viihtyvyyteen tyytymättömien osuus kasvaa 22,5–47 prosenttiin auringonsuojaratkaisusta riippuen. Käyttäjien aistiman termisen viihtyvyyden arvot

kohoavat PMV-asteikolla jopa yli yhden, jolloin käyttäjät aistivat huonelämpötilan hieman lämpimäksi.

SFS-EN 15251 standardin (2007) asteikolla edellä esitetyt PPD- ja PMV-arvot ovat huonoimmassa luokassa IV, jolloin PPD-arvot ylittävät 15 % ja PMV-arvot ovat yli 0,7. Tarkasteltujen case-kohteiden keskimääräisten lämpöolojen pysyessä luokassa II, voidaan päätellä asuinrakennuksen termisen viihtyvyyden parantamiseksi luotujen ratkaisujen olevan toimivia. IV-luokkaan hetkellisesti kohonneet PPD- ja PMV-arvot ovat hyväksyttävissä. Kuvassa 6.21 esitetään kesäajan lämpötilahuippua vastaavat lämpöviihtyvyyden tyytymättömien osuuksien PPD-arvot ja suuren joukon aistiman termisen viihtyvyyden PMV-arvot standardikuormilla tarkasteltujen tehostettujen ratkaisujen lämpötilahuippua vastaavissa tilanteissa.



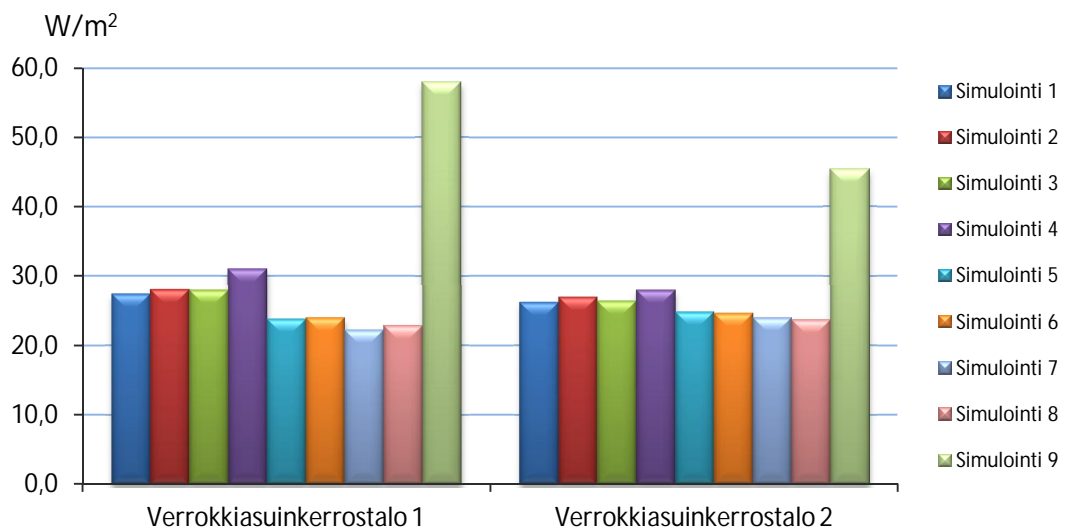
**Kuva 6.21.** Verrokkiasuinkerrostalot 1 ja 2, standardikuormilla varustetun kriittisten asuntojen kesäjakson tehostettujen ratkaisujen lämpötilahuippua vastaavat lämpöviihtyvyyden PMV- ja PPD-arvot Helsinki-Vantaa 2012 testisäässä.

Kuvien 6.20 ja 6.21 perusteella havaitaan standardikuormien tasaisen jakautumisen vaikutukset tarkasteltujen tapauksien lämpötilahuippuja vastaavien PMV- ja PPD-arvojen perusteella. Lämpötilahuippujen pienentyminen sisäisten lämpökuormien jakaantuessa pinta-alan ja vuorokauden ajan suhteessa tasaisesti johtaa lämpöviihtyvyyden parantumiseen. Keskimäärin korkean laitekuorman tarkasteluissa lämpöviihtyvyyden tyytymättömiä oli 34,6 % ja suuren joukon aistima termisen viihtyvyys oli 1,1. Standardikuormilla tarkasteltuna vastaavat arvot olivat 21,6 % ja 0,8, mikä edustaa lämpöviihtyvyyden kannalta parantunutta tilannetta.

### 6.4.3 Jäähdytystehontarve

Verrokkiasuinkerrostalojen kriittisten asuntojen jäähdytystarvetta tutkittiin korkeasti varustetuille asunnoille määritetyillä sisäisillä kuormilla. Jäähdytystarpeen laskentaan valittiin taulukon 6.5 mukaiset auringonsuojayhdistelmien perusratkaisut tarkasteluista 1–8 ilman lisäratkaisuja, joilla astetuntivaatimus voitiin täyttää. Jäähdytystarvevertailuun otettiin lisäksi tarkastelu 9, joka kuvaa Verrokkiasuinkerrostalojen 1 ja 2 kriittisiksi valittuja asuntoja ilman auringonsuojaratkaisuja.

Jäähdytyksen mitoitusarvoksi asetettiin 25 astetta, joka mahdollistaa viihtyisät lämpöolot kriittisiksi valituissa asunnoissa koko kesäjaksan aikana. Aktiivisella jäähdytyksellä lämpötilahuippuja ei esiinny, mistä seuraa hyvä lämpöviihtyvyys asuinrakennuksissa kaikkina ajanhetkinä. Laskenta suoritettiin Helsinki-Vantaa 2012 testisäässä kesäjaksan 1.6.–31.8. aikana. Kuvassa 6.22 on esitetty jäähdytystehontarve lattiapinta-alaa kohden.

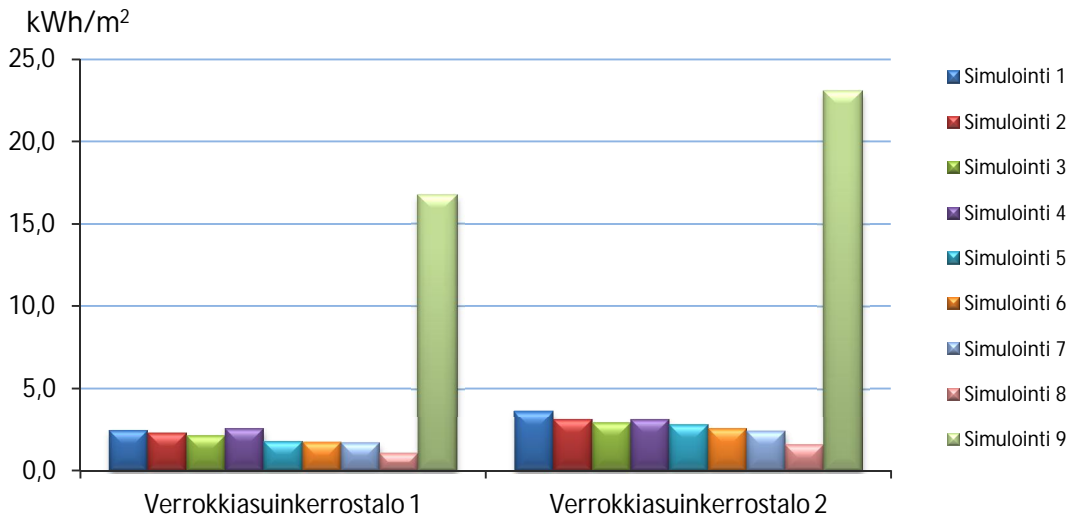


**Kuva 6.22.** Verrokkiasuinkerrostalo 1 ja 2, kriittisten asuntojen kesäjaksan maksimijäähdytystehontarve mitoituslämpötilassa 25 °C Helsinki-Vantaa 2012 testisäässä.

Kuvassa 6.22 lattiapinta-alaa kohden esitetyissä jäähdytystehoissa havaitaan pieniä eroavaisuuksia eri tarkasteluissa. Eri auringonsuojaratkaisujen toimivuus havaitaan tarkastelujen 1–8 selvästi pienempänä maksimijäähdytystehontarpeena kuin tarkastelussa 9, jossa auringonsuojaratkaisuja ei ole käytetty. Eri auringonsuojaratkaisulla voidaan jäähdytysjärjestelmät mitoittaa huipputeholtaan noin 46–62 prosenttia pienemmiksi Verrokkiasuinkerrostalon 1 kriittisessä asunnossa ja 39–48 prosenttia Verrokkiasuinkerrostalon 2 kriittisessä asunnossa, kuin vastaavissa kriittisissä asunnoissa ilman auringonsuojaratkaisuja. Verrokkiasuinkerrostalon 1 suurempi maksimijäähdytystehon lasku on seurausta rakennuksen kriittisemmästä suuntauksesta, jolloin auringonsuojaratkaisujen tehokkuus korostuu.

Kuvassa 6.23 esitetään taulukon 6.5 mukaiset tarkastelut 1–8 korkeasti varusteltujen kriittisten asuntojen auringonsuojayhdistelmien perusratkaisut ilman lisäratkaisuja. Ku-

vassa on vertailtu eri ratkaisujen toimivuutta jäähdytystarpeena neliometriä kohti, kun asuntojen jäähdytyksen mitoitusarvoksi on asetettu 25 astetta.



**Kuva 6.23.** Verrokkiasuinkerrostalo 1 ja 2, kriittisten asuntojen jäähdytystarve mitoituslämpötilassa 25 °C kesäjaksen aikana Helsinki-Vantaa 2012 testisäässä.

Kuvassa 6.23 on esitetty kriittisistä asunnoista poistettava lämpömäärä kesäaikana lämpöviihtyvyyden ylläpitämiseksi. Kuvan 6.22 esitettyjen tarkastelujen 2 ja 3 suuri maksimijäähdytystarve ei johda suhteessa yhtä suuren jäähdytystarpeeseen kesäaikana muihin tapauksiin verrattuna. Tämä on seurausta hetkellisistä kohonneista huonelämpötiloista, jolloin maksimi jäähdytysteho kasvaa. Keskimääräiset lämpötilat pysyvät tarkasteluissa 2 ja 3 lämpötilahuipusta huolimatta alhaisina. Tarkastelujen 2 ja 3 keskimääräiset lämpötilat ovat esimerkiksi tarkastelua 1 alemmat, kuten kuvasta 6.15 voitiin havaita, vaikka maksimijäähdytysteho on suurempi.

Kuvan 6.23 perusteella voidaan arvioida jäähdytysjärjestelmien vaikutusta asuinrakennusten jäähdytystarpeeseen hyvän lämpöviihtyvyyden mahdollistamiseksi ja Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 asetuntivaatimuksen täyttämiseksi. Esimerkiksi tarkastelun 1 tapauksessa kriittisen asunnon jäähdytystarve on 2,2–2,3 kertaa suurempi kuin pienimmän jäähdytystarpeen tarkastelussa 8, millä on huomattava vaikutus rakennuksen ostoenergiakulutukseen jäähdytyksen tuottamiseksi. Valitsemalla kuvan 6.23 perusteella auringonsuojaratkaisuksi asuinrakennukseen tehokkaimman tarkastelun 8 ominaisuuksien yhdistelmän, voidaan jäähdytystarvetta pienentää 14,4–15,7 -kertaisesti verrattuna tapaukseen, jossa ei ole käytetty auringonsuojaratkaisuja.

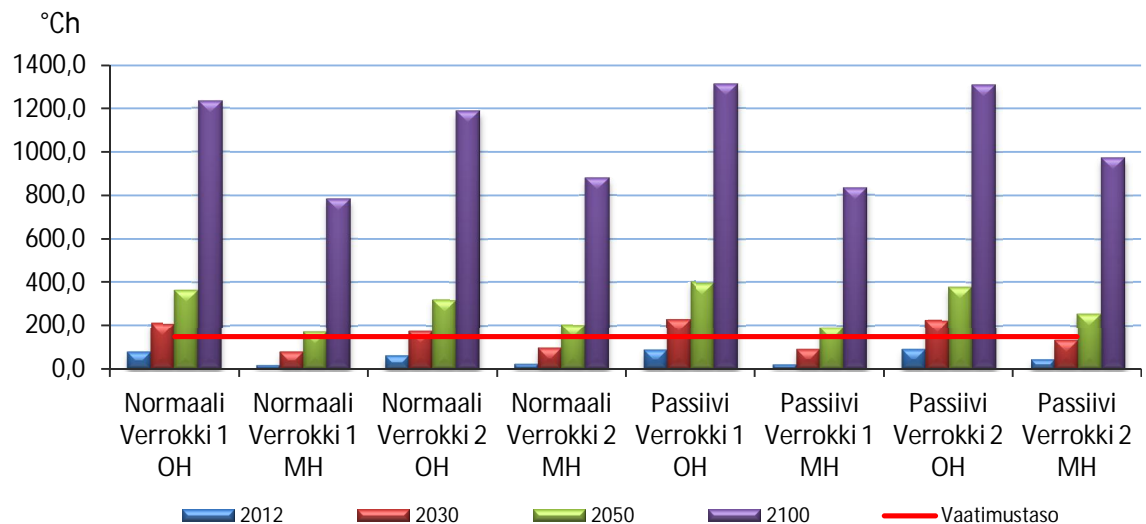
#### 6.4.4 Arvioidun ilmastonmuutoksen vaikutus lämpöoloihin

Verrokkiasuinkerrostalojen 1 ja 2 kriittisten asuntojen avulla tutkitaan, miten kappaleessa 5.3.2 esitetyt arviot tulevaisuuden sääolosuhteista vaikuttavat asuinrakennuksiin kohdistuviin ulkoisiin lämpökuormiin ja lämpöoloihin. Tulevaisuuden sääolosuhteita vuosilta 2030, 2050 ja 2100 verrataan nykypäivän vuoden 2012 säädäntä avulla tarkasteluihin ratkaisuihin.

Tulevaisuuden säädäntä avulla tehtäviin tarkempiin tarkasteluihin valittiin taulukon 6.5 mukaiset tapaukset 2 ja 3, joista ensimmäinen edustaa nykypäivän asuinkerrostaloa ja toinen passiivikerrostaloa. Taulukon 6.5 perusteella valitut tarkastelut 2 ja 3 on valittu siten, että ne täyttävät nykypäivän asetuntimääräykset korkean varustelun asunnoissa. Tällöin tulevaisuuden tarkastelut tehdään valittujen tarkastelujen 2 ja 3 tehostetuilla ratkaisulla.

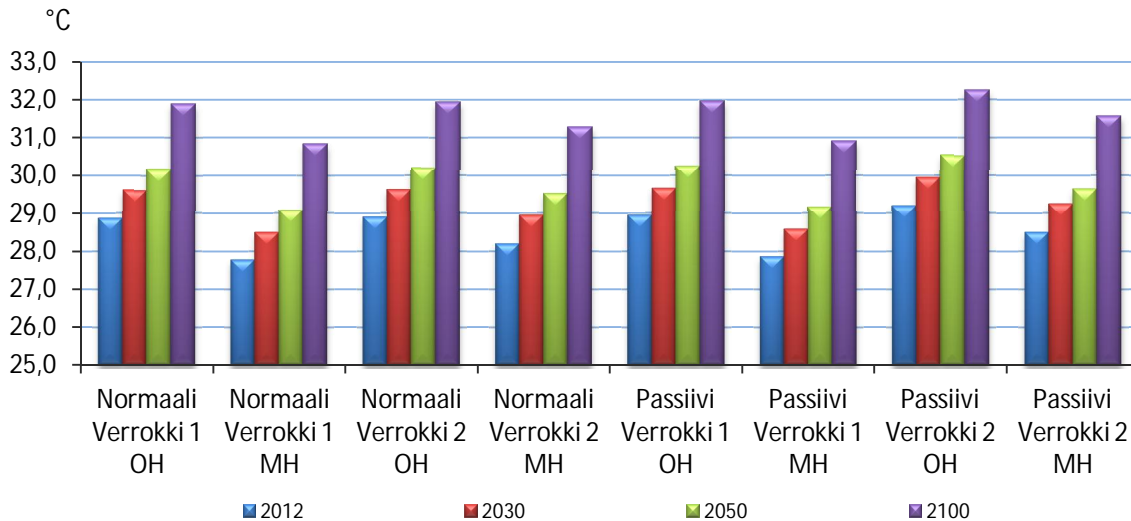
Tarkempaan tarkasteluun valittiin rakenteellisilta ominaisuuksiltaan normaalia kerrostaloa edustavan tilanteen lisäksi passiivitalo. Suomen rakentamismääräysten kiristyminen ohjaa kohti energiatehokkaampaa rakentamista, jolloin energiatehokkuusparannuksien lisäksi asuinkerrostalon rakenteellisten ominaisuuksien voidaan olettaa vastaavan passiivikerrostalon ominaisuuksia.

Kuvassa 6.24 esitetään Verrokkiasuinkerrostalojen 1 ja 2 kriittisten asuntojen olo- ja makuuhuoneiden asetuntitarkastelut rakenteellisesti normaalia ja passiivikerrostaloa vastaavissa rakennuksissa valituilla tulevaisuuden säätiedoilla.



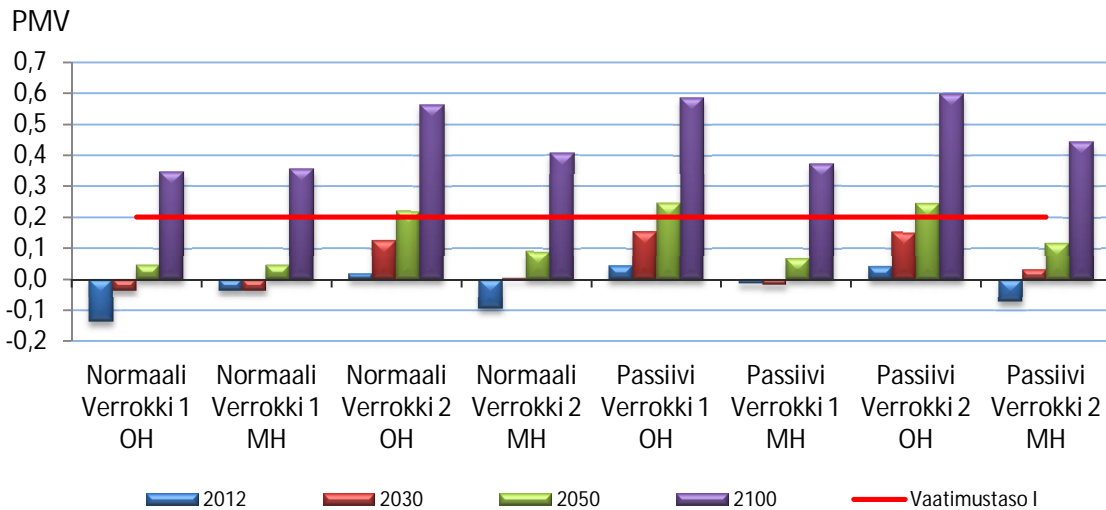
**Kuva 6.24.** Verrokkiasuinkerrostalojen 1 ja 2 normaali- ja passiivikerrostalon kriittisten asuntojen asetuntitarkastelu kesäjakson aikana Helsinki-Vantaa vuoden 2012 ja tulevaisuuden testisäissä.

Tulevaisuuden testisäiden 2030, 2050 ja 2100 avulla tarkasteltujen Verrokkiasuinkerrostalojen 1 ja 2 kriittisten asuntojen lämpöolot tullevat selvästi kohoamaan tulevaisuudessa. Arvioitu auringon säteilyenergian pienentyminen ei riitä pitämään kriittisten asuntojen asetunteja nykyisellään kohonneiden kuukausikeskilämpötilojen vuoksi. Vuoteen 2050 ja 2100 mennessä asunnot tulee varustaa jäähdytysjärjestelmillä yllämpötilojen hallitsemiseksi, ellei uusia tehokkaampia auringonsuojaratkaisuja löydy. Nykyisillä auringonsuojaratkaisulla vuoden 2100 ennustetulla testisäällä simuloidut asetuntimäärät voitaneen hallita ilman jäähdytystä, mutta asumisviihtyvyyden kustannuksella. Kuvassa 6.25 esitetään edellä esitettyjen tapauksien ja testisäiden kesäajan korkeimmat mitatut huonelämpötilat.

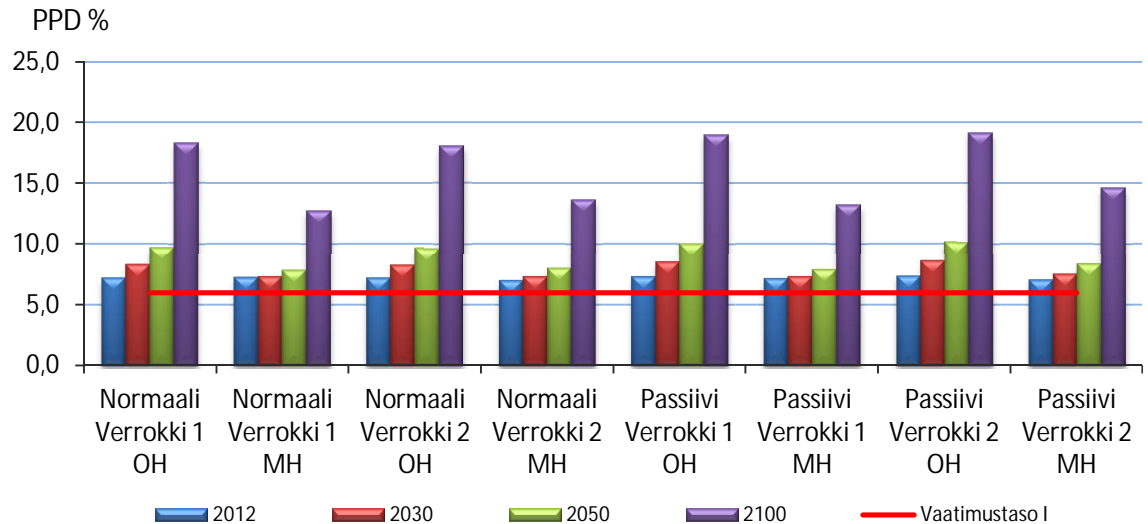


**Kuva 6.25.** Verrokkiasuinkerrostalot 1 ja 2 normaali- ja passiivikerrostalon kriittisten asuntojen kesäajan huonelämpötilahuipun tarkastelu kesäjakson aikana Helsinki-Vantaa vuoden 2012 ja tulevaisuuden testisäissä.

Huonelämpötilat kohoavat asetuntivaatimuksetkin täyttävässä vuoden 2012 testisään tarkastelussa jopa 29 asteeseen hetkellisesti, jolloin käyttäjät kokevat huoneen lämpöolot liian lämpimiksi. Muutos vuosiin 2030, 2050 ja 2100 on ilmeinen. Asuinrakennuksen lämpötilat tullevat nousemaan ja terminen viihtyvyys kärsimään, ellei asuinrakennuksiin aseteta toimivia auringonsuojaratkaisuja. Kuvissa 6.26 ja 6.27 esitetään tulevaisuuden testisäillä simuloitujen kriittisten asuntojen lämpöolojen vaikutus keskimääräiseen lämpöviihtyvyyteen.



**Kuva 6.26.** Verrokkiasuinkerrostalot 1 ja 2 kriittisten asuntojen normaali- ja passiivikerrostalon keskimääräinen lämpöaistimus huonelämpötilasta kesäjakson aikana Helsinki-Vantaa vuoden 2012 ja tulevaisuuden testisäissä.



**Kuva 6.27.** Verrokkiasuinkerrostalot 1 ja 2 kriittisten asuntojen normaali- ja passiivikerrostalon termiseen viihtyvyyteen tyytymättömien osuudet kesäjakson aikana Helsinki-Vantaa vuoden 2012 ja tulevaisuuden testisäissä.

Kuvien 6.26 ja 6.27 perusteella havaitaan keskimääräisten lämpöolojen kasvu tulevaisuutta kohti. Keskimäärin suuren joukon aistiman termisen viihtyvyyden PMV-arvot kohoavat vuoteen 2100 mennessä 5-kertaisiksi vuoden 2012 tarkasteluun verrattuna. Lämpöolojen kohoamisen vuoksi keskimäärin 16 % on lämpövihtyvyyteen tyytymätön kesäaikana esitetyissä tarkasteluissa.

Tulevaisuuden testisäillä tehdyt tarkastelut osoittavat asuinrakennusten oleskelutilojen lämpötilojen nousevan ja sen myötä jäähdytystarpeen kasvavan, kuten kappaleessa 5.3.2 todettiin. Passiivikerrostaloa vastaavien tarkastelujen perusteella voidaan havaita yleisesti pieni kasvu edellä esitettyihin lukuihin. Asuinrakennuksen rakenteellisilla vaikutuksilla ei ole niin suurta vaikutusta, kuin mitä ennustetulla ilmastonmuutoksella on.

Tulevaisuutta kuvaaviin tuloksiin tulee suhtautua varauksella, sillä sääaineistot on arvioitu eri muuttujien perusteella sekä tarkastellut case-kohteet vastaavat nykypäivän hyvää rakentamistapaa, eikä siten välttämättä edusta todellisuutta vuosina 2030, 2050 ja 2100 muuttuneiden rakentamistapojen ja ohjeistuksien johdosta.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Asuinrakennuksiin kohdistuvien ulkoisten ja sisäisten lämpökuormien vaikutuksia asuntojen lämpöoloihin tulee tarkastella luonnossuunnitteluvaiheessa, jolloin rakennustekniisiin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa kustannustehokkaasti. Rakennusteknisten ja taloteknisten ominaisuuksien vaikutuksia tulee tarkastella dynaamisilla laskentatyökaluilla asuinrakennusten määräystenmukaisuuden osoittamiseksi sekä todellisten lämpöolojen ja lämpöviihtyvyyden varmistamiseksi. Hyvä lämpöviihtyvyys ja kaikkia rakennushankkeeseen ryhtyneitä tyydyttävä lopputulos syntyy kokonaisvaltaisella energiatehokkuus- ja laatuajattelulla sekä laadukkaalla suunnittelulla ja toteutusprosessilla.

Arkkitehtien ja LVI-suunnittelijoiden tulee tehdä tiivistä yhteistyötä luonnossuunnitteluvaiheen aikana, jotta asetettujen tavoitteiden mukainen lämpöviihtyisä asuinrakennus voidaan toteuttaa. Luonnossuunnitteluvaiheen aikana on mahdollista vaikuttaa arkkitehtien valitsemiin asuntojen sijoitteluun, suuntaukseen, rakenne- ja ikkunaratkaisuihin. Pääsääntöisesti ylälämpötiloihin vaikuttaviin ratkaisuihin tulee kiinnittää huomiota luonnossuunnitteluvaiheen aikana, mutta ulkoiset ja sisäiset auringonsuojaratkaisut on mahdollista asentaa käyttövaiheen aikana. Rakenteellisten ominaisuuksien muuttaminen ylälämpötilojen hallitsemiseksi käyttövaiheen aikana ei ole kustannuksiltaan järkevää, vaan kustannustehokkaat ylälämpötilojen hallintakeinot tulee löytää muista ratkaisuista.

Asuinrakennusten todelliset kuormat vaihtelevat asuntojen koon, kotitalouksien koon sekä viihde-elektroniikan, ruuanlaiton, kylmäsäilytyksen ja valaistuksen määrän ja käytön mukaan. Tutkitut sisäiset lämpökuormat näyttäisivät olevan kotitalouksista riippuen Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 määrittämän standardikäytön lämpökuormista noin -20–40 prosenttia tavallisen ja korkean varustelun asunnoissa.

Rakenteellisten ratkaisujen avulla voidaan asuinrakennusten lämpöoloja ohjata lämpöviihtyisiksi valitsemalla kesä- ja talvivuodenajat huomioiden optimaaliset seinärakenteet, tiiviyden, ikkunoiden koot, suuntaukset ja lasin energiatekniset ominaisuudet. Rakenteellisten keinojen lisäksi asuinrakennusten lämpöoloihin voidaan vaikuttaa poistamalla asunnon ylälämpöä ilmanvaihdollisin keinoin tehostamalla ilmavirtoja, käyttämällä hyväksi yöilman viileyttä automaatiojärjestelmän avulla ja käyttäjän ehdoilla toteutulla ikkunatuuletuksella. Kun asuinrakennuksen rakenteelliset ja ilmanvaihdolliset ratkaisut on lukittu, voidaan asuinrakennusten lämpöviihtyvyyttä parantaa erilaisin ulkoisin ja sisäisin auringonsuojaratkaisuin, kuten varjostuksien, screenien ja sälekaihtimien avulla.

Rakenteellisista ominaisuuksista huomiota tulee kiinnittää rakenteiden U-arvoihin ja ilmanpitävyyteen. Parantamalla nykyiset määräysten mukaiset rakenteiden U-arvot passiivitaloa vastaaviksi havaittiin keskimääräisten kesäaikaisten asuntojen huonelämpöti-



lojen kohoavan 0,5 astetta. Myös rakennuksien passiivitaloa vastaavalla ilmanpitävyydellä havaittiin olevan pieni oleskelutilojen lämpötilaa kohottava vaikutus. Ikkunoiden kokoa enemmän huomio tulee kiinnittää ikkunoiden energiateknisiin ominaisuuksiin. Valitsemalla g-arvoltaan pienemmät auringonsuojalasit havaittiin huonelämpötilan viilenevän keskimäärin 2–5 kertaa enemmän kuin pienentämällä suunnitelmien mukaisia ikkunarakenteita 20 prosenttia.

Ilmanvaihdolliset tarkastelut osoittivat, miten pienillä taloteknisten järjestelmien muutoksilla voidaan yllämpöä poistaa tehokkaasti asuinrakennuksista. Kesäaikana tehostamalla mitoitusilmavirtoja 30 prosentilla havaittiin huonelämpötilojen viilenevän keskimäärin 1,8 astetta, 100 prosenttisella ilmanvaihdon tehostuksella havaittiin keskimäärin 4,6 asteen oleskelutilojen lämpötilan lasku. Ilmanvaihdon viilentävää vaikutusta voidaan korostaa käyttämällä hyväksi kesäaikana yöilman viileyttä, jolloin on mahdollista käyttää alhaisempaa tuloilman lämpötilaa. Ilmavirran tehostus ja yöilman viileyden käyttö on suositeltavaa ja se on mahdollista toteuttaa eristetyissä ilmanvaihtokanavissa mitoittamalla talotekniset järjestelmät suunnitteluvaiheessa riittäviksi ja ohjaamalla ilmanvaihtoa.

Auringonsuojatarkastelut osoittivat tarkasteltujen sisäisten auringonsuojarakaisujen toimivan keskimäärin ulkoisia auringonsuojarakaisuja tehokkaammin. Ulkoisten auringonsuojarakaisujen toimivuutta arvioidessa tulee tarkasti ottaa huomioon rakennuspaikan sijainti, auringonsuojan sijoitus ja koko, jotta auringonsuoja varjostaa asuinrakennuksen ikkunapintaa riittävästi auringonsäteilyn kulman ja suuntauksen muuttuessa. Hyvin suunnitellulla ulkoisella auringonsuojalla on mahdollista saavuttaa tehokas auringonsuojaus. Tarkastelluilla ulkoisilla auringonsuojarakaisuilla voitiin keskimääräisiä huonelämpötiloja laskea 3–7 astetta. Sisäisillä ikkunoiden väliin asennettavilla sälekaihtimilla ja screeneillä huonelämpötilat laskivat keskimäärin 4,5–6,5 astetta. Sisäisten auringonsuojien käyttö on suositeltavaa. Tarpeen ja mahdollisuuksien mukaan myös ulkoisia auringonsuojarakaisuja voi käyttää. Rakennuspaikkakunnan julkisivumääräykset voivat kieltää rakennuksien ulkoiset auringonsuojat, jolloin niiden tuoma auringonsuojaus on löydettävä muista auringonsuojarakaisuista.

Asuinrakennusten yllämpötilojen hallitsemiseksi passiivisin keinoin, on käytettävä rakenteellisten, ilmanvaihdollisten ja auringonsuojavaihtoehtojen yhdistelmiä. Tarkasteltujen yhdistelmien ja niille valittujen tehostettujen auringonsuojauksien avulla luotiin 8 ratkaisua, joilla kriittisten asuntojen lämpöolot ovat viihtyisät. Keskimäärin tarkasteltujen kohteiden käyttäjän aistima termien viihtyvyys pysyi standardin SFS-EN 15251 (2007) mukaisen vaatimustason II rajoissa ja hetkellisiä lämpötilahuippuja vastaavat lämpöviihtyvyyteen tyytymättömien osuudet olivat hyväksyttävällä tasolla.

Tehokkaimmilla auringonsuojarakaisuilla kesäajan astetuntivaatimuksen täyttyminen voitiin osoittaa korkean laitekuorman kohteissa sekä standardikuormilla laskettuna. Oleskelutilojen korkeimmat lämpötilat olivat keskimäärin 28,2 astetta, jolloin lämpöviihtyvyys aistittiin hieman liian lämpimäksi. Keskimäärin kesäaikaiset lämpöolot olivat neutraalit ja lämpöviihtyvyyteen tyytymättömien osuus oli 7,7 %.

Ilmanvaihdon tehostuksen ja yöilman viileyden käyttö asuinrakennuksen termisen massan varaamiseen todettiin olevan riittämätön viilennyskeino päivän lämpötilahuipun pienentämiseksi suuren laitekuorman tiloissa. Näissä tapauksissa asuinrakennus olisi varustettava pintajäähdytyksellä, jolloin termiseen massaan on mahdollista varastoida enemmän lämpöä jäähdytysputkiston avulla.

Vertailtaessa passiivikerrostaloa edustavia tarkasteluja nykymääräysten mukaiseen asuin-kerrostaloon voidaan passiivikerrostalon todeta olevan kesäjaksen aikana keskimäärin 0,4 astetta lämpimämpi. Passiivikerrostalon kesäaikaiset lämpöolot on hallittavissa tarkastelluilla ratkaisuilla. Tarkastelut osoittavat nykymääräysten mukaisen asuin-kerrostalon olevan kesäaikana lämpöviihtyisämpi. Passiivikerrostaloa suunniteltaessa tulee ottaa huomioon kokonaisenergiatarkastelu ja pohtia passiivitaloa kokonaisuutena E-luvun avulla. Sisäilmasto-olosuhteet ja energiatehokkuus tulee ottaa huomioon kesäaikaisten olosuhteiden lisäksi.

Asuin-kerrostalojen jäähdytysjärjestelmiä tarkasteltiin eri perusratkaisujen auringonsuojayhdistelmillä tilanteessa, jolloin huonelämpötilan mitoituslämpötilaksi asetettiin 25 astetta. Case-kohteesta riippuen jäähdytysjärjestelmät voidaan mitoittaa tarkastelluilla yllilämpötilan hallintayhdistelmillä 39–62 prosenttia huipputeholtaan pienemmiksi verrattuna tapaukseen ilman auringonsuojarakaisuja. Kesäajan jäähdytystarpeena tarkasteltu ero tehokkaimman perusratkaisun auringonsuojayhdistelmän ja suojaamattoman kohteen välillä on yli 14-kertainen. Tehottomimpaan perusauringsuojayhdistelmään verrattuna suojaamattomasta kohteesta poistettava lämpömäärä on 6,5-kertainen.

Jatkotutkimuksena tulisi tarkastella eri jäähdytysjärjestelmien eroavaisuuksia toisiinsa ja vaikutuksia asuinrakennusten E-lukuun sekä kylmänjakomenetelmien vaikutuksia sisäilmasto-olosuhteisiin, lämpöviihtyvyyteen, ilman virtauskenttiin ja käyttäjän aistimaan vedon tunteeseen. Lisäksi ulkopuolisten auringonsuojarakaisujen optimaaliset koot ja suuntaukset sekä säleikköjen asennuskulma ja koko vaatii tarkempaa tarkastelua paikkakunnittain.

Suomen tiukentuvien rakentamismääräysten ohjatessa rakennuskantaa kohti parempaa energiatehokkuutta ja lämpöviihtyvyyttä, on suunnittelijoiden tarkasteltava asuinrakennusten lämpöviihtyvyyttä luonnossuunnitteluvaiheessa yhteistyössä. Tarkasteluissa on tutkittava rakennusteknisten ominaisuuksien vaikutusta rakennuksen lämpökäyttämiseen koko vuoden aikana, ja siten luotava määräykset täyttävä lämpöviihtyisä ratkaisu. Nykyiset rakentamismääräykset täyttävä lämpöviihtyisä rakennus on mahdollista toteuttaa passiivisin yllilämpöä hallitsevin keinoin ilman jäähdytystä. Kesäaikaiset sisäilmasto-olosuhteet ja mahdolliset yllilämpötilat on tutkittava rakennuskohtaisesti suunnitteluvaiheen aikana.

## LÄHTEET

- Adato. 2008. Kotitalouksien sähkönkäyttö 2006. Adato Energia Oy. 74 s. [WWW]. [Viitattu 74.4.2012]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/1353/Kotitalouksien\\_sahkon\\_kaytto\\_2006\\_-raportti.pdf](http://www.motiva.fi/files/1353/Kotitalouksien_sahkon_kaytto_2006_-raportti.pdf)
- Arkkitehtitoimisto Helamaa ja Pulkkinen Oy. 2010. Työpiirustus 7-8 krs. NCC. 2 s.
- ASHRAE. 2004. ASHRAE Standard 55-2004. Thermal environmental conditions for human occupancy. pp. 30. [WWW]. [Viitattu 4.4.2012]. Saatavissa: [http://c0131231.cdn.cloudfiles.rackspacecloud.com/ASHRAE\\_Thermal\\_Comfort\\_Standard.pdf](http://c0131231.cdn.cloudfiles.rackspacecloud.com/ASHRAE_Thermal_Comfort_Standard.pdf)
- Babiak, J., Olesen, B. & Petráš, D. 2009. Low temperature heating and high temperature cooling. Helsinki. Forssan Kirjapaino Oy. pp. 108.
- Beck, W., Dolmans, D., Hall, A. & Seppänen, O. 2010. Solar shading: How to integrate solar shading in sustainable buildings. Helsinki. Forssan Kirjapaino Oy. pp. 76.
- Charles, K. E. 2003. Fanger's Thermal Comfort and Draught Models. IRC-RR-162. pp. 30. [WWW] [Viitattu 4.4.2012]. Saatavissa: <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/rr/rr162/rr162.pdf>
- Chiller. 2012. BOX ja BOXH Composite, tekniset tiedot. 2 s. [WWW]. [Viitattu 2.8.2012]. Saatavissa: <http://www.chiller.fi/doc/fi/CASAM100300FIA.pdf>
- Delta OHM. 2009. Manual: HD32.3 WBGT – PMV. pp. 74. [WWW]. [Viitattu 4.5.2012]. Saatavissa: [http://cache.deltaohm.nl/upload/do\\_90fj3lks/files/downloads/manual\\_1\\_KPSsL4.pdf](http://cache.deltaohm.nl/upload/do_90fj3lks/files/downloads/manual_1_KPSsL4.pdf)
- EERE. 2002. Sustainable Design Guide featuring schematic design, designing using computer simulations, design of high performance feature and systems, daylighting, passive and active solar systems, and accommodating recycling activities. pp. 32. [WWW]. [Viitattu 17.4.2012] Saatavissa: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/commercial\\_initiative/sustainable\\_guide\\_ch4.pdf](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/commercial_initiative/sustainable_guide_ch4.pdf)
- Equa AB & SIY Sisäilmätieto Oy. 2002. IDA Indoor Climate and Energy – ohjekirja 3.0. 2002. 248 s.[WWW]. [Viitattu 9.5.2012]. Saatavissa: <http://www.sisailmatieto.com/pdf/IDA-ICE-ohjekirja30.pdf>
- Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi, H. 2008. Aurinko-  
opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo, Painoyhtymä Oy. 208 s.
- Euroopan unionin virallinen lehti. 2010. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU rakennusten energiatehokkuudesta. L 153, 18.6.2010. 23 s.
- Hall, A. 2008. Planning, purchasing and installing solar shading in public buildings. pp. 26. [WWW]. [Viitattu: 26.4.2012]. Saatavissa: <http://www.esso.com/documents/HandbooksolarshadingAH08.pdf>

Halton Oy. 2012. Esite: Jäähdytyspalkit. 18 s. [WWW]. [Viitattu 30.4.2012]. Saatavissa: [http://www.halton.fi/halton/fi/cms.nsf/files/CB2C10BE24F05C59C225728E006593DA/\\$file/passive\\_chilled\\_beams\\_fi.pdf](http://www.halton.fi/halton/fi/cms.nsf/files/CB2C10BE24F05C59C225728E006593DA/$file/passive_chilled_beams_fi.pdf)

Jylhä, K., Kalamees, T., Tietäväinen, H., Ruosteenoja, K., Jokisalo, J., Hyvönen, R., Ilometsä, S., Saku, S. & Hutila, A. 2011. Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastomuutoksen vaikutuksista. 2011. Helsinki, Ilmantieteenlaitos raportteja 2011:6. 111 s. [WWW]. [Viitattu 11.5.2012]. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/33069/2011nro6.pdf?sequence=1>

Kalliomäki, P. 2011. Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta – Muistio, Helsinki, Ympäristöministeriö. 9 s.

Meek, C., J, Breshears. 2010. Dynamic Solar Shading and Glare Control for Human Comfort and Energy Efficiency at UCSD: Integrated Design and Simulation Strategies. American Solar Energy Society. pp. 8. [WWW]. [Viitattu 31.7.2012]. Saatavissa: [http://www.integrateddesignlab.com/Seattle/Documents/ASES\\_DynamicSolarShading&GlareControl.pdf](http://www.integrateddesignlab.com/Seattle/Documents/ASES_DynamicSolarShading&GlareControl.pdf)

Motiva. 2012. Energiatehokas tuloilman viilennys. [WWW]. [Viitattu 20.4.2012]. Saatavissa: [http://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/miten\\_tehdaan\\_energiatehokas\\_koti/energiatehokas\\_ilmanvaihto\\_ja\\_jaahdytys/energiatehokas\\_tuloilman\\_viilennys](http://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/miten_tehdaan_energiatehokas_koti/energiatehokas_ilmanvaihto_ja_jaahdytys/energiatehokas_tuloilman_viilennys)

NCC. 2012a. Asunnot. [WWW]. [Viitattu 5.5..2012]. Saatavissa: <http://www.ncc.fi/asunnot/paakaupunkiseutu/helsinki/gneissi>

NCC. 2012b. Asunnot. [WWW]. [Viitattu 5.5..2012]. Saatavissa: <http://www.ncc.fi/asunnot/paijat-hame/hollola/>

Nieminen, J., Jahn, J. & Airaksinen, M. 2011. Passiivitalo ja kaavasunnittelu. 11 s. [WWW]. [Viitattu 4.5.2012]. Saatavissa: <http://northpass.ivl.se/download/18.7df4c4e812d2da6a416800079380/Passiivitalo+ja+kaavasunnittelu.pdf>

NorthPass. 2010. Principles of low-energy houses applicable in North European countries and their applicability throughout the EU. pp. 77. [WWW]. [Viitattu 17.4.2012]. Saatavissa: [http://northpass.ivl.se/download/18.50a499dd132037d524e80004863/NorthPass\\_D3\\_Principles%2Bof%2Blow-energy%2Bhouses%2BPUBLIC%2BVERSION%2BNewLogo.pdf](http://northpass.ivl.se/download/18.50a499dd132037d524e80004863/NorthPass_D3_Principles%2Bof%2Blow-energy%2Bhouses%2BPUBLIC%2BVERSION%2BNewLogo.pdf)

Olesen, B. W. 2000. Cooling and heating of buildings by activating their thermal mass with embedded hydronic pipe systems. pp. 19. [WWW]. [Viitattu 30.4.2012] Saatavissa: <http://www.cibse.org/pdfs/Embedded%20Hydronic%20Pipe%20Sys.pdf>

Optiplan Oy. 2012. NCC Mallipohja 2-6 krs. Helsinki. 1 s.

Paroc. 2012. Passiivitalo: Arkkitehdin opas. [WWW]. [Viitattu 19.4.2012]. Saatavissa: <http://www.energiaviisastalo.fi/?cat=Arkkitehdin+opas>

Pietiläinen, J., Kauppinen, T., Kovanen, K., Nykänen, V., Nyman, M., Paiho, S., Peltonen, J., Pihala, H., Kalema, T. & Keränen, H. 2007. ToVa-käsikirja, Espoo. 235 s. [WWW] [Viitattu 5.4.2012]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2413.pdf>

Rakennustietosäätiö. 1992. LVI 05-10203. Rakennuksen jäähdytystarpeen määrittäminen. Helsinki. 4 s.

Rakennustietosäätiö. 1995. RT 07-10564. Rakennuksen sisäilmasto. Helsinki. 12 s.

Rakennustietosäätiö. 2004. RT 07-10832. Terveen talon toteutuksen kriteerit. Helsinki. 20 s.

Rakennustietosäätiö. 2007. LVI 05-10417. Rakennusten sisäilmaston suunnitteluperusteet. Helsinki. 20 s.

Rakennustietosäätiö. 2008. RT 07-10946. Sisäilmastoluokitus. Helsinki. 22 s.

Rakennustietosäätiö. 2010. LVI 02-40078. Energiatehokkuus rakentamisessa. Helsinki. 13 s.

Saari, M. & Laine, J. 2009. Passiivienergiatalo harkoista – LVI-tekniikan ratkaisumallit ja suunnitteluohje. 72 s. [WWW]. [Viitattu 8.8.2012]. Saatavissa: <http://ebookbrowse.com/gdoc.php?id=101172234&url=482d0e53ee9a08ca8336055a7362e97b>

Seppänen, O., Hausen, A., Hyvärinen, K., Heikkilä, P., Kaappola, E., Kosonen, R., Oksanen, R., Railio, J., Ripatti, H., Saari, A., Tarvainen, K. & Vuolle, M. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Suomen LVI-liitto. Forssa, Forssan Kirjapaino Oy. 427 s.

Seppänen, O. & Seppänen, M. 1997. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Jyväskylä, Gummerus kirjapaino Oy. 279 s.

Seville, Carl. 2012. Thermal mass in passive solar design [WWW]. [Viitattu 4.4.2012]. Saatavissa: <http://www.networx.com/article/thermal-mass-is-passive-solar-design>

SFS-EN 15251. 2007. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Belgium. CEN. pp. 85.

SFS-EN-ISO 7730. 2005. Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Nederlands Normalisatie-instituut. pp. 64.

Sisäilmayhdistys. 2008. Terveelliset tilat, sisäilmasto. [WWW]. [Viitattu 6.3.2012]. Saatavissa: [http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset\\_tilat/sisailmasto](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto).

Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö. 2003. Asumisterveysohje. Helsinki, Edita Prima Oy. 92 s.  
Stack, A., Goulding, J. & Lewis, J.O. 2002. Shading systems: Solar shading for the European climates. pp. 28. [WWW]. [Viitattu 27.4.2012]. Saatavissa: <http://www.es-so.com/documents/EurCommOnSolarShading.pdf>

Sunsystems. 2012a. Markkiisit – yleistä. [WWW]. [Viitattu 26.4.2012]. Saatavissa: [http://www.sunsystems.fi/fi/tuotteet/markkiisit/markkiisi\\_yleista.html](http://www.sunsystems.fi/fi/tuotteet/markkiisit/markkiisi_yleista.html)

Sunsystems. 2012b. Screenkaihtimet – yleistä. [WWW]. [Viitattu 26.4.2012]. Saatavissa: [http://www.sunsystems.fi/fi/tuotteet/kaihtimet/screen\\_kaihtimet/screenkaihtimet\\_yleista.html](http://www.sunsystems.fi/fi/tuotteet/kaihtimet/screen_kaihtimet/screenkaihtimet_yleista.html)

Sunsystems. 2012c. Senses with sunseal. s. 4. [WWW]. [Viitattu 27.4.2012]. Saatavissa: [http://www.sunsystems.fi/upload/tuotteet/kaihtimet/sunseal/sunseal\\_web\\_esite.pdf](http://www.sunsystems.fi/upload/tuotteet/kaihtimet/sunseal/sunseal_web_esite.pdf)

Suntekno. 2010. Aurinkoenergian ABC-opas. 8 s. [WWW]. [Viitattu 4.5.2012]. Saatavissa: <http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki//aurinkoenergia.pdf>

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2009. RIL 249-2009 Matalaenergiarakentaminen, Asuinrakennukset. Saarijärvi, Saarijärven Offset Oy. 291 s.

Säteri, J. 2008. Sisäilmastoluokitus 2008, sisäilmaston uudet tavoitearvot. Espoo, Sisäilmayhdistys. 7 s.

Tilastokeskus. 2011a. Asuntokanta 2010 [WWW]. [Viitattu 25.6.2012]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/asas/2010/01/asas\\_2010\\_01\\_2011-10-20\\_kat\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/asas/2010/01/asas_2010_01_2011-10-20_kat_001_fi.html)

Tilastokeskus. 2011b. Liitetaulukko 2. Asuntokunnat asumisväljyyden mukaan 31.12.2012, maakunnittain. [WWW]. [Viitattu 25.6.2012]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/asas/2010/asas\\_2010\\_2011-05-24\\_tau\\_002\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/asas/2010/asas_2010_2011-05-24_tau_002_fi.html)

Wall, M. & Bülow-Hübe, H. 2001. Solar Protection in Buildings. Lund University 2001. pp. 24. [WWW]. [Viitattu 17.4.2012]. Saatavissa: <http://www.thedaylightsite.com/filebank/Solar%20protection%20in%20buildings.pdf>

Van der Aa, A., Heiselberg, P. & Perino, M. 2011. Designing with Responsive Building Elements. IEA-ECBCS Annex 44. pp. 121. [WWW]. [Viitattu 4.4.2012]. Saatavissa: [http://www.ecbcs.org/docs/ECBCS\\_Annex\\_44\\_RBE\\_Design\\_Guide.pdf](http://www.ecbcs.org/docs/ECBCS_Annex_44_RBE_Design_Guide.pdf)

Victoria. 2012. Thermal mass. pp. 6. [WWW]. [Viitattu 4.4.2012]. Saatavissa: [http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/Thermal\\_mass.pdf](http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/Thermal_mass.pdf)

Ympäristöministeriö. 2002. A2 Rakennuksen suunnittelijat ja suunnitelmat, Määräykset ja ohjeet 2002. Helsinki. 24 s.

Ympäristöministeriö. 2007. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ohjeet 2007. Helsinki. 24 s.

Ympäristöministeriö. 2010. Tasauslaskentaopas 2010, Rakennuksen lämpöhäviön määrätysten mukaisuuden osoittaminen, Helsinki. 113 s.

Ympäristöministeriö. 2011a. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki. 24 s.

Ympäristöministeriö. 2011b. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki. 24 s.

Ympäristöministeriö. 2011c. Tiedote, Uudet rakentamisen energiamääräykset annettu. [WWW]. [Viitattu 23.3.2012]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=380147&lan=FI>





## Liite 1: Vyöhykkeen I-II säämuuttujien keskimääräiset arvot kuukausittain

*Taulukko L1. Säämuuttujien keskimääräiset arvot kuukausittain vyöhykkeellä I-II Vantaa testivuotena TRY2012 (Jylhä et al. 2011).*

	Lämpötila Tu, °C	Suhteellinen kosteus RH %	Tuulen nopeus m/s	Auringon säteilyenergia		
				Suorasäteily vaakatasolle, kWh/m <sup>2</sup>	Suorasäteily kohtisuoralle pinnalle, kWh/m <sup>2</sup>	Hajasäteily vaakatasolle, kWh/m <sup>2</sup>
Tammikuu	-4,0	89	4,3	6,2	7,0	5,3
Helmikuu	-4,5	83	4,6	22,4	28,5	15,9
Maaliskuu	-2,6	82	4,1	64,4	71,9	37,1
Huhtikuu	4,5	67	4,3	120,0	143,1	51,5
Toukokuu	10,8	63	4,1	165,6	196,0	60,7
Kesäkuu	14,2	72	4,0	168,7	177,3	71,1
Heinäkuu	17,3	69	3,9	181,0	213,6	66,2
Elokuu	16,1	76	4,2	126,8	137,8	57,9
Syyskuu	10,5	79	3,9	82,1	113,7	36,8
Lokakuu	6,2	91	4,1	26,2	26,0	18,8
Marraskuu	0,5	89	4,0	8,1	10,1	6,7
Joulukuu	-2,2	87	4,4	4,4	7,9	3,6
Koko vuosi	5,6	79	4,2	976,1	1133,1	432,3