

Juho Lepistö

Auringonsuojausjärjestelmien vertailu määräysten, viihtyvyyden ja kustannusten näkökulmasta asuinrakennuksissa.

Opinnäytetyö

Kevät 2014

Tekniikan yksikkö

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Seinäjoen ammattikorkeakoulu
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Rakennustekniikan koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: LVI-tekniikka

Tekijä: Juho Lepistö

Työn nimi: Auringonsuojausjärjestelmien vertailu määräysten, viihtyvyyden ja kustannusten näkökulmasta asuinrakennuksissa.

Ohjaaja: Eero Kulmala

Vuosi: 2014

Sivumäärä: 57

Liitteiden lukumäärä: 0

Suomen rakennusmääräykset ovat uudistuneet Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivin myötä. Uusien tiukentuneiden rakennusmääräysten myötä kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuudelle on tullut tiukemmat rajat. Lämpöviihtyvyyden toteutuminen tulee osoittaa dynaamisella lämpötilasimuloinnilla.

Työssä tarkasteltiin lämpöviihtyvyyteen vaikuttavia tekijöitä sekä keinoja, jolla olosuhteet saisi tehokkaasti pidettyä viihtyisinä. Tarkastelussa oli kymmenen yksittäistä passiivista yllämmön hallintakeinoa, joita tarkasteltiin IDA Indoor Climate and Energy 4.6 -ohjelmalla.

Eri auringonsuojaratkaisuja vertailtiin tapaukseen, joka on rakennusteknisesti tämän päivän rakennusmääräysten mukainen, mutta ilman mitään auringonsuojaratkaisuja. Tarkastelluista passiivisista jäähdytysjärjestelmistä tehtiin lopuksi yhdistelmiä ja tarkasteltiin minkälaisiin lämpöoloihin päästään sellaisilla ratkaisuilla. Lisäksi selvitettiin passiivisen auringonsuojauksen vaikutusta energiansäästöön koneellisen jäähdytyksen kohteissa ja vertailtiin saatuja kustannussäästöjä investoinnin suuruuteen.

Avainsanat: lämpöviihtyvyys, sisäilma, varjostimet, rakentamismääräykset

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: HVAC Engineering

Author: Juho Lepistö

Title of thesis: Comparison of sun-protection devices from the aspect of regulations, comfort and costs in apartment buildings.

Supervisor: Eero Kulmala

Year: 2014

Number of pages: 57

Number of appendices: 0

Building regulations in Finland have tightened in the past few years due to the new European Union energy efficiency directive. Along with new building regulations, a regulation was set which sets limits for room temperature rise during the summer months. Thermal comfort has to be proved with calculations.

Factors which affect thermal comfort were examined in the work. In the examination there were ten individual passive methods of control for the overheating of rooms. The calculation was made with the IDA Indoor Climate and Energy 4.6 - programme.

Different sun-protection devices were compared in a case which is in accordance with today's building regulations, but without any sun-protection devices. Finally, combinations were made of passive cooling systems, and different kinds of achieved heat circumstances with such solutions were examined. The effect of the passive sun protection on the energy saving was studied also in a situation in which there was a mechanical cooling system. Finally a cost comparison was made from the case.

Keywords: thermal comfort, indoor air, shade, building regulations

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	9
1 JOHDANTO	10
2 MÄÄRÄYKSET JA TAUSTAT	11
2.1 Euroopan unionin ohjaus	11
2.2 Suomen kansalliset määräykset.....	11
2.2.1 Määräys oleskeluvyöhykkeen viihtyisästä huonelämpötilasta.....	12
2.2.2 Määräys kesäajan huonelämpötilan hallinnasta.....	12
2.3 Sisäilmastoluokitus.....	13
2.3.1 Yksilöllinen sisäilmasto S1	14
2.3.2 Hyvä sisäilmasto S2.....	15
2.3.3 Tyydyttävä sisäilmasto S3.....	16
2.4 Kansanterveydelliset vaikutukset	16
3 RAKENNUKSEN LÄMPÖOLOT JA NIIHIN VAIKUTTAVAT ULKOISET TEKIJÄT	18
3.1 Operatiivinen lämpötila.....	18
3.2 Lämpöviihtyvyys.....	18
3.3 Auringonsäteily.....	20
4 KESÄAJAN DYNAAMISESSA HUONELÄMPÖTILOJEN TARKASTELUSSA KÄYTETTÄVÄT LÄHTÖTIEDOT	23
4.1 Sää tiedot.....	23
4.2 Jäähdytysraja	25
4.3 Vuotoilma	25
4.4 Sisäiset lämpökuormat.....	26
4.5 Tarkasteluun valittavat tilat.....	28
5 RAKENNUKSEN LÄMPÖTILOJEN HALLINTA PASSIIVISIN JA AKTIIVISIN KEINAIN	30

5.1 Passiiviset keinot.....	30
5.1.1 Ikkunat	30
5.1.2 Ulkopuoliset varjostukset ja rakennuksen suuntaus.....	31
5.1.3 Sisäpuoliset varjostimet	33
5.2 Aktiiviset keinot	34
5.2.1 Tuloilman jäähdytys tai viilennys	34
5.2.2 Tilakohtaiset jäähdytyslaitteet	35
6 LÄMPÖVIIHTYVYYDEN TARKASTELU	37
6.1 Tutkimuksessa käytettävä kohde	37
6.2 Dynaamisen laskentaohjelman esittely	38
6.3 Lämpöoloiltaan haasteellisimpien tilojen valitseminen	39
6.4 Vertailuratkaisu	40
6.5 Toimenpidevaihtoehdot	41
6.5.1 Lasitukseen vaikuttaminen.....	42
6.5.2 Sisäpuolinen suojaus	43
6.5.3 Ulkopuolinen suojaus.....	45
6.5.4 Ilmanvaihdon tehostus	47
6.5.5 Yksittäisten ratkaisujen vertailu.....	47
6.6 Toimenpiteiden yhteisvaikutukset	49
7 KUSTANNUSVERTAILU	52
7.1 Huonelämpötilan hallintakeinojen kustannukset	52
7.2 Vertailu.....	53
8 YHTEENVETO.....	55
LÄHTEET	56

Kuvio- ja taulukkuuettelo

Kuvio 1. Ulkoilman lämpötilan viiden tunnin enimmäisjakso mitoitusvuoden kuumimpana hellepäivänä (D3 laskentaopas 2012, 16).	12
Kuvio 2. Sisäilmastoluokan S1 operatiivinen lämpötila (Sisäilmastoluokitus 2008).15	
Kuvio 3. Sisäilmastoluokan S2 operatiivinen lämpötila (Sisäilmastoluokitus 2008).15	
Kuvio 4. Sisäilmastoluokan S3 operatiivinen lämpötila (Sisäilmastoluokitus 2008).16	
Kuvio 5. PPD-arvo PMV-arvon funktiona (SFS-EN-ISO 7730 2006, 5).	19
Kuvio 6. Auringon korkeus ja säteily etelänpuoleiseen ikkunaan eri vuodenaikoina sekä auringon säteilyn laajuus eri vuorokaudenaikoina (Beck ym. 2011, 6).	21
Kuvio 7. Auringonsäteilyn intensiteetti rakennuksen eri julkisivuilla (Beck ym. 2011, 7).....	22
Kuvio 8. Laskennassa käytettävän säävyöhykkeen lämpötilavaihtelu (Jylhä ym. 2012, 37).....	24
Kuvio 9. Laskennassa käytettävän säävyöhykkeen auringon kokonaissäteilyenergia (Jylhä ym. 2012, 41).	24
Kuva 10. As Oy Jampankaari. Kiinteät vaakasäleiköt varjostimina kerrosten välissä. Rakennuksen päädyssä varjostimina aurinkopaneelit. (Nollaenergia [viitattu 18.3.2014].)	31
Kuvio 11. Rakennuksen suuntauksen vaikutus tilan lämmöntarpeeseen (NorthPass 2010, 22).....	32
Kuvio 12. Erilaisia ulkopuolisia auringonsuojajärjestelmiä (Beck ym. 2011, 40). ..	32
Kuvio 13. Erilaisia sisäpuolisia auringonsuojajärjestelmiä (Beck ym. 2011, 41).33	
Kuvio 14. Aktiivisen ja passiivisen jäähdytyspalkin toimintaperiaatteet (Seppänen 2004, 51).....	35
Kuvio 15. As Oy Järvenpään Vilja, IFC-malli.....	37
Kuvio 16. Arkkitehdin luonnos rakennuksen julkisivuista Idästä, etelästä, pohjoisesta ja lännestä. (As Oy Järvenpään Vainio, ennakkomarkkinointiesite [viitattu 18.3.2014].)	38
Kuvio 17. Eri tilatyypin jäähdytysrajan ylittävät astetuntimäärät.	39
Kuvio 18. Tarkasteluun valittu olohuone ja sitä ympäröivät tilat. Tarkasteluun valittu makuuhuone ja sitä ympäröivät tilat.	40
Kuvio 19. Sunseal screenkaihdin ikkunalasien väliin asennettuna. (Gardin Oy [viitattu 30.4.2014].)	44

Kuvio 20. Kiinteät varjostimet mallinnettu rakennuksen itäjulkisivulle.	45
Kuvio 21. Simuloitu markiisi.	46
Kuvio 22. Eri auringonsuojausratkaisujen vaikutus olohuoneen astetuntimääriin.	47
Kuvio 23. Eri auringonsuojausratkaisujen vaikutus makuuhuoneen astetuntimääriin.....	48
Kuvio 24. Toimenpidevaihtoehtojen yhteisvaikutukset.....	50
Kuvio 25. Toimenpidevaihtoehtojen yhteisvaikutukset, kun porrashuoneen yllilämpeneminen on estetty.	51
Taulukko 1. Rakennukset ja tilat jaoteltuna käyttötarkoituksiluokkiin (RakMK D3, 2012).....	13
Taulukko 2. Keskimääräisen lämpöaistimuksen asteikko (PMV) (SFS-EN-ISO 7730 2006, 2).....	19
Taulukko 3. Suositellut taloteknisen suunnittelun lämpöolosuhteiden kriteerit (SFS-EN 15251 2007, 40).....	20
Taulukko 4. D3:n mukaiset jäähdytysrajat eri käyttötarkoituksiluokissa (RakMK D3, 18).....	25
Taulukko 5. Rakennuksen standardikäytön mukaiset lämpökuormat, käyttöajat ja käyttöaste (RakMK D3 2012).	27
Taulukko 6. Henkilötiheys eri käyttötarkoitukseluokan rakennuksissa (RakMK D3 2012).....	28
Taulukko 7. Joidenkin sisäpuolisten auringonsuojausjärjestelmien suojauskertoimia (Seppänen 2004, 194).	34
Taulukko 8. Vertailuratkaisun lämpöolot.	41
Taulukko 9. Tutkitut yllilämpenemisen hallintakeinot.	41
Taulukko 10. Ikkunan g-arvon parantaminen 0,38:aan.	42
Taulukko 11. Ikkunan g-arvon parantaminen 0,20:een.	42
Taulukko 12. Ikkunan sisäänveto 170 mm.	43
Taulukko 13. Verhot sisäpuolella.	43
Taulukko 14. Sälekaihtimet sisäpuolella.	43
Taulukko 15. Sälekaihtimet uloimpien lasien välissä.	44
Taulukko 16. Screenkaihdin uloimpien lasien välissä.	44
Taulukko 17. Kiinteä varjolippa 800 mm.	45
Taulukko 18. Kiinteä varjolippa 1000 mm.	46

Taulukko 19. Markiisi 500 x 800mm.....	46
Taulukko 20. Ilmanvaihdon tehostus 30 %.....	47
Taulukko 21. Huoneiden lämpötilanhallintaan vaikuttavien ratkaisujen yhteistarkastelu.....	49
Taulukko 22. Eri parannustoimenpiteiden laskennalliset lisäinvestointiustannukset tarkastelun olohuoneeseen.....	52
Taulukko 23. Eri parannustoimenpiteiden laskennalliset lisäinvestointikustannukset tarkastelun makuuhuoneeseen.....	53
Taulukko 24. Jäähdyksen tarvitsema vuotuinen ostoenergia sekä hinta tarkastelun makuuhuoneessa sekä olohuoneessa.....	54

Käytetyt termit ja lyhenteet

Astetunti	Tietyn lämpötilan ja ajan tulo. Esimerkiksi 2 asteen ylitys 5 tunnin ajan on yhtä kuin 10 astetuntia ($^{\circ}\text{Ch}$)
g-arvo	Auringonsäteilyn kokonaisläpäisysuhde, eli Ikkunarakenteen läpäisevän säteilyn suhteellinen osuus kokonaissäteilystä.
Lämpöviihtyvyys	Ihmisten tyytyväisyys tilassa vallitseviin lämpöolosuhteisiin.
Operatiivinen lämpötila	Kuvaa ihmisen lämpöaistimusta huonetilassa. Operatiivinen lämpötila on lähellä keskimääräisen säteilylämpötilan ja ilman lämpötilan keskiarvoa.
PMV	Predicted mean vote. Ihmisten keskimääräinen lämpöaistimus.
PPD	Predicted percentage dissatisfied. Tyytymättömien käyttäjien osuus.
Sisäilmasto	Sisätilassa vaikuttavien kemiallisten ja fyysikaalisten tekijöiden yhteisvaikutus. Vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa: melu, kosteus, ilman laatu, lämpöolosuhteet, valaistus, säteilyolosuhteet ja sähköiset ominaisuudet.

1 JOHDANTO

Insinööritoimisto TähtiRanta Oy:lle tehty opinnäytetyö perehtyy rakennusten kesäaikaisen lämpötilan hallintakeinoihin. Työn tavoitteena on tutkia eri keinoja, miten asuinrakennuksissa voidaan saavuttaa hyvät lämpöolosuhteet sekä täyttää rakennusmääräysten vaatimukset. Työssä tarkastellaan eri auringonsuojajärjestelmien vaikutusta kesäaikaiseen huonelämpötilan hallintaan sekä vertaillaan niiden kustannuksia.

Vietämme noin 90 % elämästämme sisätiloissa, tämän takia sisäilmastoon laatuun panostaminen on tärkeää. Sisäilmaston laadulla on viihtyvyyden lisäksi tutkitusti vaikutusta kansanterveyteen sekä työn tehokkuuteen. Tutkimusten mukaan kuitenkin kesäisin lähes 40 % ihmisistä kokee asuntonsa lämpötilan liian korkeana. Rakenteiden lämmöneristyksien parantuessa riskit rakennusten ylikuumenemiselle tulevat vielä lisääntymään.

Työn alussa tarkastellaan rakennusmääräysten vaatimuksia kesäaikaiseen huonelämpötilaan liittyen sekä määräysten taustoja. Määräysten läpikäymisen jälkeen tutkitaan lämpöviihtyvyyttä ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Tämän jälkeen tarkastellaan kesäaikaisen ylikuumenemisen hallintamahdollisuuksia vertailemalla eri auringonsuojajärjestelmiä. Lopuksi tehdään kustannustarkastelua, jossa tutkitaan passiivisen auringonsuojauksen vaikutusta energiansäästöön koneellisen jäähdytyksen kohteissa.

Työssä on käytetty tarkastelukohteena Arkkitehtitoimisto Kaipainen Oy:n suunnittelemaa ja Lemminkäinen Talon Oy:n Järvenpään rakentamaa asuinkerrostaloa. Tämän asuinkerrostalon IFC-mallin pohjalta rakennuksen lämpöoloista on tehty dynaamisia simulointeja IDA Indoor Climate and Energy 4.6 -ohjelmalla.

2 MÄÄRÄYKSET JA TAUSTAT

2.1 Euroopan unionin ohjaus

Euroopan parlamentin ja neuvoston lokakuussa 2012 julkaiseman direktiivin energiatehokkuudesta tavoitteena on vähentää energian tuonnista kasvavaa riippuvuutta, rajoittaa ilmastonmuutosta sekä auttaa tämänhetkisen talouskriisin selvittämisessä. Uusi energiatehokkuusdirektiivi tarvittiin myös siksi, että unionin yleinen energiatehokkuustavoite tultaisiin saavuttamaan. Tämä uusi energiatehokkuustavoite EU 20-20-20 tarkoittaa, että vuoteen 2020 mennessä Euroopan unionin primäärienergian kulutusta ja kasvihuonekaasupäästöjä tulisi vähentää 20%, ja energiankulutuksesta 20% pitäisi saada uusiutuvista lähteistä. Tämän lisäksi Suomella on kansallinen tavoite, jonka mukaan vuonna 2020 Suomen energiankulutuksesta 38 % tulee uusiutuvista lähteistä. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2013.)

Euroopan unionin alueella rakennusten osuus energian loppukulutuksesta on 40 prosenttia. Rakennuskanta muodostaakin siten suurimman potentiaalisen energiansäästösektorin. Uusi energiatehokkuusdirektiivi antaa puitteet jäsenvaltioiden lainsäädäntöjen kehitykselle, jotta tavoite saataisiin saavutettua ja energiankäyttö vähenemään talouskasvusta riippumatta. (Euroopan unionin virallinen lehti 2012, 1–3.)

2.2 Suomen kansalliset määräykset

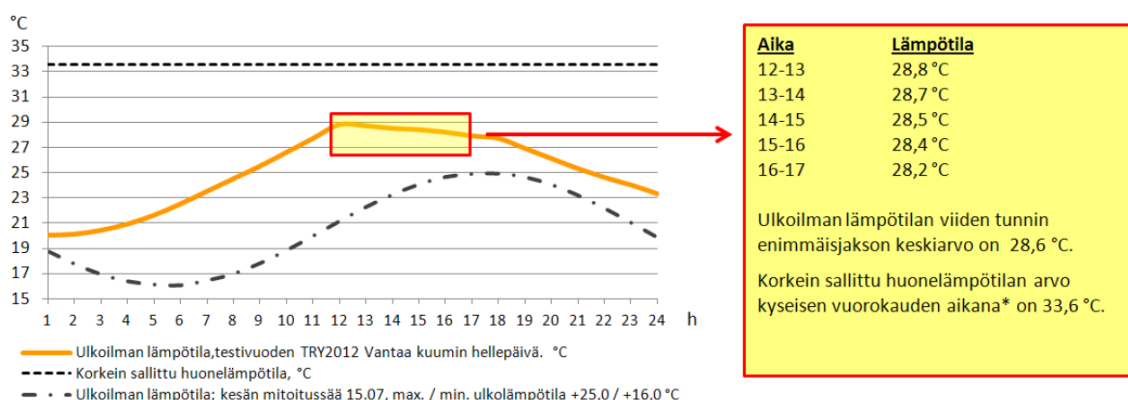
Heinäkuussa 2012 voimaan astuneessa Suomen rakennusmääräyskokoelman osassa D3 2012 annetaan määräykset uudisrakennusten energiatehokkuudesta. Tähän määräykseen on yhdistetty kaikki energiatehokkuuteen liittyvät määräykset muista rakennusmääräyskokoelman osista. Rakennuksien energiatehokkuuden parantuessa vaara huonetilojen ylikämpenemiselle kesäkuukausina lisääntyy.

Jotta rakennusten energiatehokkuuden parantuminen ei tapahtuisi lämpöviihtyvyyden kustannuksella, eli ihmisten tyytyväisyys lämpöoloihin ei laskisi, on Raken-

nusmääräyskokoelman osissa (D2 2012, 6) ja (D3 2012) annettu määräyksiä myös kesäaikaiseen lämpöviihtyvyyteen liittyen (D3 laskentaopas 2012, 4).

2.2.1 Määräys oleskeluvyöhykkeen viihtyisästä huonelämpötilasta

Suomen rakennusmääräyskokoelman osassa D2 (2012, 6) Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto on annettu määräys rakennuksen lämpöoloista: ”Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että oleskeluvyöhykkeen viihtyisä huonelämpötila voidaan ylläpitää käyttöaikana niin, ettei energiaa käytetä tarpeettomasti.” Määräyksessä on lisäksi annettu oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan kesäkauden suunnitteluarvoksi +23 °C ja oleskeluvyöhykkeen maksimilämpötilaksi normaalioloissa +25 °C. Silloin kun ulkoilman lämpötilan viiden tunnin enimmäisjakson keskiarvo on yli 20 °C, huoneen lämpötila saa olla korkeintaan 5 °C tätä arvoa suurempi. Kuviossa 1 on esitettyä mitoitusvuoden TRY2012 kuumimman hellepäivän ulkolämpötila sekä laskettu viiden lämpimimmän perättäisen tunnin keskiarvo. Tämän perusteella saadaan johdettua huoneilman lämpötilan korkein sallittu arvo, joka on 33,6 °C.



Kuvio 1. Ulkoilman lämpötilan viiden tunnin enimmäisjakso mitoitusvuoden kuumimpana hellepäivänä (D3 laskentaopas 2012, 16).

2.2.2 Määräys kesäajan huonelämpötilan hallinnasta

RakMK D3:n (2012, 9) mukaisesti rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että tilat eivät lämpene haitallisesti. Aikaisemmassa RakMK:n osassa D3

(2010, 8) kesäaikaisen huonelämpötilan tarkasteluun yllämpenemiseen riitti huonelämpötilan arviointi. Uuden RakMK:n osan D3 (2012, 27) mukaisesti kesäajan huonelämpötilan vaatimuksen mukaisuus tulee osoittaa laskentatyökalulla, jonka lämmönsiirron laskenta pystyy ottamaan huomioon rakenteiden lämmönva-
rausominaisuuden ajasta riippuvaisena. Tällaista ohjelmaa kutsutaan dynami-
seksi laskentatyökaluksi. Dynaamisen laskentatyökalun kelpoisuus tulee osoittaa
SFS EN, CIBSE, ASHRAE tai vastaavan standardin mukaan.

Huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden määritelmä on seuraavanlainen: ” Kesäajan huonelämpötila ei saa ylittää käyttötarkoituluokalle osoitettua jäähdytysra-
jan arvoa enemmän kuin 150 astetuntia, 1.kesäkuuta–31.elokuuta välisenä aika-
na.” Tämä määräys koskee kaikkia uudisrakennuksia lukuun ottamatta käyttötar-
koitusluokan 1 ja 9 rakennuksia. Taulukossa 1. on esitetty rakennusten eri käyttö-
tarkoituluokat. Yllämpeneminen tulisi estää ensisijaisesti rakenteellisten suojaus-
ten avulla. (RakMK D3 2012, 9-10.)

Taulukko 1. Rakennukset ja tilat jaoteltuna käyttötarkoituluokkiin (RakMK D3, 2012).

Luokka 1:	Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot
Luokka 2:	Asuinkerrostalot
Luokka 3:	Toimistorakennukset
Luokka 4:	Liikerakennukset
Luokka 5:	Majoitusliikerakennukset
Luokka 6:	Opetusrakennukset ja päiväkodit
Luokka 7:	Liikuntahallit pois lukien uima- ja jäähallit
Luokka 8:	Sairaalat
Luokka 9:	Muut rakennukset

2.3 Sisäilmastoluokitus

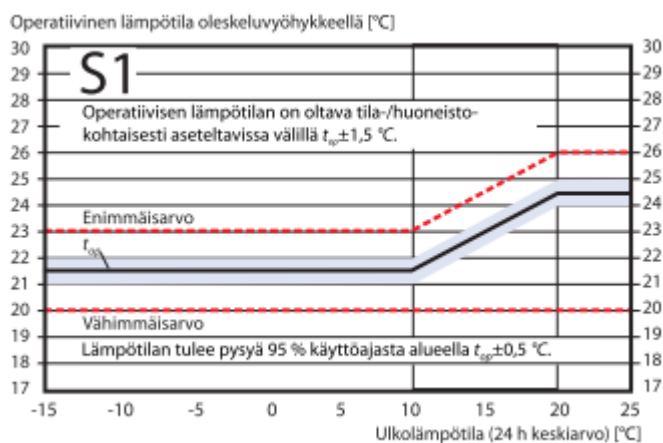
Sisäilmastoluokitus toimii rakennusten suunnittelijoiden, urakoitsijoiden sekä rakennustarviketeollisuuden ohjeena viihtyisiä ja terveellisiä rakennuksia rakennettaessa. Sisäilmastoluokituksessa annetaan ohjearvoja lämpötiloista, ilman liikeno-
peudesta, radonpitoisuudesta ja hiilidioksidipitoisuudesta, siinä on myös annettu

tavoitteita valaistuksen ja akustiikan suunnitteluun. Luokituksessa on asetettu myös vaatimuksia rakennus- ja sisustusmateriaaleista huoneilmaan vapautuvien kemikaalien määrästä. Tällaisia kemikaaleja ovat kaikki tarvikkeesta haihtuvat orgaaniset yhdisteet esimerkiksi formaldehydi, ammoniakki, karsinogeeni ja kaseiini. Ensimmäinen sisäilmastoluokitus on vuodelta 1995. Luokitusta on päivitetty kahdesti ja uusin, nykyään käytössä oleva luokitus on otettu käyttöön vuonna 2008. (Sisäilmayhdistys [viitattu 19.4.2014]; Sisäilmastoluokitus 2008, 17.)

Sisäilmastoluokitus ei ole viranomaisohje, vaan sen tarkoituksena on antaa rakennuksen sisäilmaston tavoite- ja suunnitteluarvoja, jotka koskevat tavanomaisia työ- ja asuintiloja. Sisäilmastoluokituksen perusteella rakennuskohteen omistaja tai rakennuttaja voi valita sisäilmaston tavoitearvot kohteen tarpeiden mukaisesti. Sisäilmaston laatuluokat on jaettu kolmeen eri tasoon, S1, S2 ja S3. Tavoitetasoista S1-luokka on paras. S3-luokassa sisäilmaston vaatimukset ovat alhaisimmat. (Sisäilmastoluokitus 2008, 3-4.)

2.3.1 Yksilöllinen sisäilmasto S1

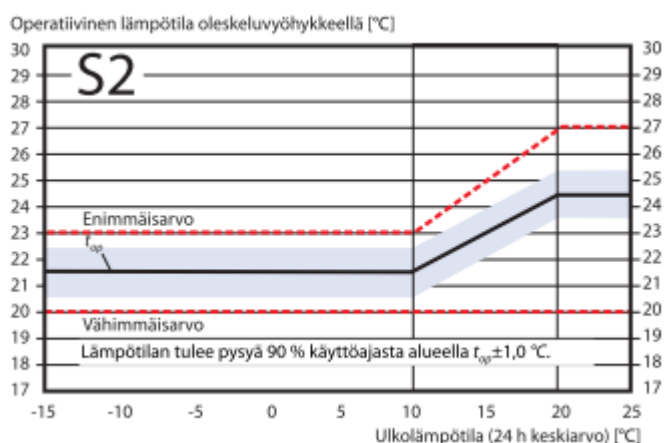
Luokka S1 on paras sisäilmastoluokka. Sen saavuttamiseksi täytyy toteutua muun muassa seuraavat kriteerit: Tilan lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai yllilämpenemistä esiinny. Tämän lisäksi tilan käyttäjän on pystyttävä yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja. Tilan valaistuksen tulee olla hyvä sekä yksilöllisesti säädettävissä. Kuviossa 2. on esitetty operatiivisen lämpötilan enimmäis-, tavoite- ja vähimmäisarvot luokassa S1. Ulkolämpötilan vuorokautisen keskiarvon ollessa yli +20 °C tilan operatiivisen lämpötilan tavoitearvo on +24,5 °C. Lämpötilan tulee lisäksi olla tila- tai huoneistokohtaisesti säädettävissä ±1,5 °C tavoitearvosta. Tilan lämpötilan enimmäisarvo on 26 °C. Lämpöolojen osalta sisäilmastoluokan S1 saavuttaminen vaatii rakennukseen koneellisen jäähdytysjärjestelmän sekä tilakohtaisen lämmönsäädön. (Sisäilmastoluokitus 2008, 4.)



Kuvio 2. Sisäilmastoluokan S1 operatiivinen lämpötila (Sisäilmastoluokitus 2008).

2.3.2 Hyvä sisäilmasto S2

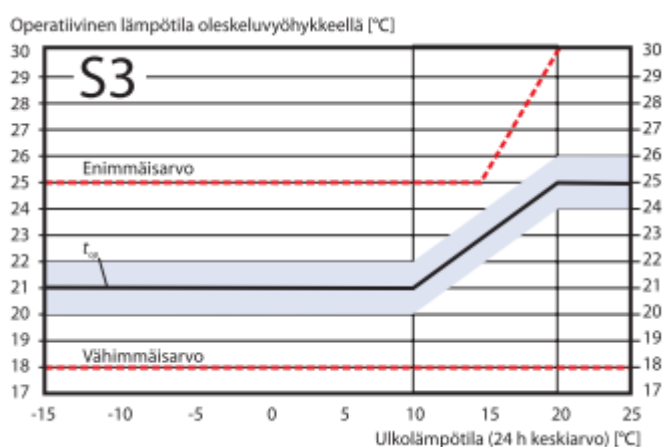
Tilan lämpöolojen on oltava hyvät, mutta yllämpenemistä voi esiintyä kesäpäivinä. Tilassa tulee olla käyttötarkoituksen mukaiset hyvät valaistusolosuhteet. Kuviossa 3. on esitetty operatiivisen lämpötilan enimmäis-, tavoite- ja vähimmäisarvot luokassa S2. Ulkolämpötilan vuorokautisen keskiarvon ollessa yli +20 °C tilan operatiivisen lämpötilan tavoitearvo on +24,5 °C ja tilan lämpötilan enimmäisarvo on +27 °C. Lämpöolosuhteiden osalta sisäilmastoluokan S2 saavuttaminen on mahdollista ilman koneellista jäähdytystä. (Sisäilmastoluokitus 2008, 4.)



Kuvio 3. Sisäilmastoluokan S2 operatiivinen lämpötila (Sisäilmastoluokitus 2008).

2.3.3 Tyydyttävä sisäilmasto S3

Alimman tason S3 on asetettu siten, että sen lämpöolot sekä valaistusolosuhteet vastaavat maankäyttö- ja rakennuslain sekä terveydensuojelulain vähimmäisvaatimuksia. Luokitusarvon S3 toteutuessa ei terveelle henkilölle aiheudu tilassa terveyshaittaa. Kuviossa 4. on esitetty operatiivisen lämpötilan enimmäis-, tavoite- ja vähimmäisarvot luokassa S4. Ulkolämpötilan vuorokautisen keskilämpötilan ollessa yli +20 °C tilan operatiivisen lämpötilan tavoitearvo +25 °C. Tilan lämpötilan enimmäisarvo on ulkoilman lämpötilan viiden tunnin enimmäisjakson keskiarvo + 5 °C. (Sisäilmastoluokitus 2008, 4.)



Kuvio 4. Sisäilmastoluokan S3 operatiivinen lämpötila (Sisäilmastoluokitus 2008).

2.4 Kansanterveydelliset vaikutukset

Sisäilman olosuhteilla on merkitystä ihmisten terveyteen. Kesäaikaisten huone- lämpötilojen hallinnan merkitys kansanterveyden kannalta korostuu etenkin keskimääräistä kuumempina kesäkausina. Suomessa ilmastoperäisiä kuolemantapauksia on noin 100–200 joka kesä. Lisäksi huonoista lämpöoloista aiheutuva lisääntynyt tuuletustarve asunnoissa altistaa asukkaita entistä enemmän ulkoilman pienhiukkasille, joka puolestaan lisää sydän- ja verisuonitaudeista johtuvia kuolemia. (LVI 30-10416 2007, 1.)

Sairas rakennus -oireyhtymällä tarkoitetaan tilannetta, jossa suuri osa rakennuksen käyttäjistä oireilee, kun tietyssä rakennuksessa oleskellaan säännöllisesti. Oi-

reet kuitenkin vähenevät, kun rakennuksessa oleskelua vähennetään. Oireet ovat usein hyvin samanlaisia kuin flunssan tai allergian oireet, oireilu ei kuitenkaan johdu allergisoitumisesta. WHO:n arvion mukaan 30 % uudisrakennuksista aiheuttaa käyttäjilleen näitä oireita. Kaikkia tähän oireyhtymän aiheuttavia syitä ei ole pystytty selvittämään. (Puhakka ym. 1996, 20.) On kuitenkin todettu, että liian korkeilla huonelämpötiloilla on selvä yhteys oireyhtymän syntymiseen (Beck, Dolmans, Dutoo, Hall & Seppänen 2011, 8).

3 RAKENNUKSEN LÄMPÖOLOT JA NIIHIN VAIKUTTAVAT ULKOISET TEKIJÄT

3.1 Operatiivinen lämpötila

Lämpöolot ovat usein määritelty ainoastaan huonelämpötilan mukaan. Todellisuudessa huonelämpötila ei aina kuvaa kovinkaan tarkasti sitä, minkälaiseksi henkilö kokee lämpöolot huoneessa. Tarkemmin ihmisen lämpötuntemusta kuvastaa operatiivinen lämpötila. Operatiivinen lämpötila koostuu huonelämpötilasta ja ympäröivien pintojen lämpötilojen säteilylämpötilasta. Operatiivinen lämpötila on lähellä keskimääräisen säteilylämpötilan ja ilman lämpötilan keskiarvoa. Erityisesti jos tilassa on suuria ikkunapintoja jotka pääsevät kesällä hallitsemattomasti lämpenemään, operatiivinen lämpötila voi olla huonelämpötilaa huomattavasti korkeampi. (Beck ym. 2011, 8)

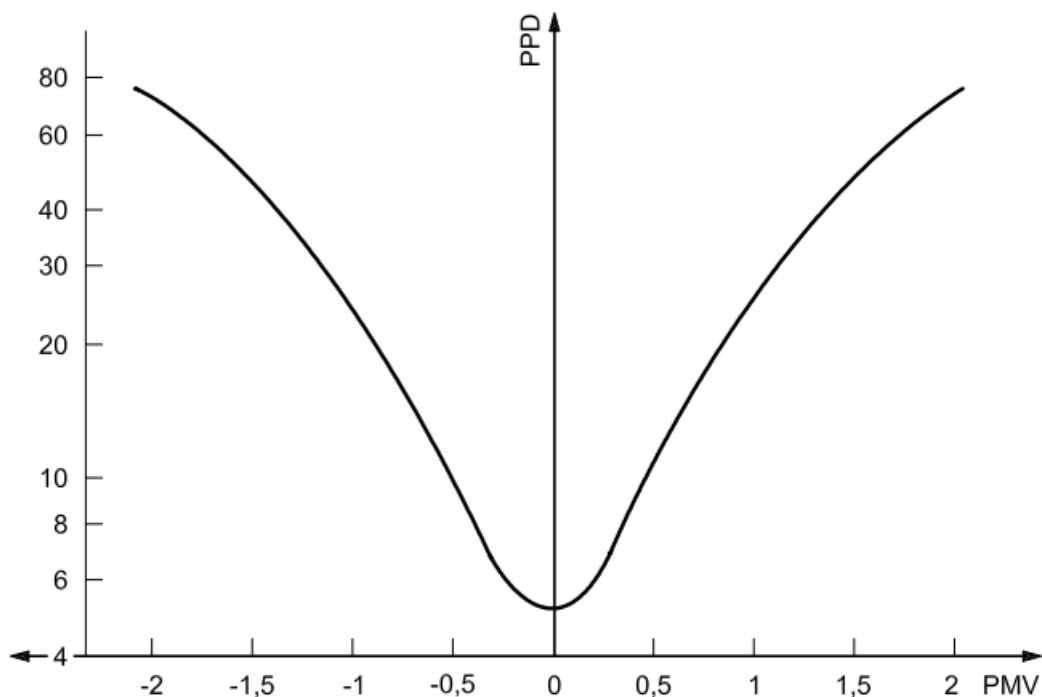
3.2 Lämpöviihtyvyys

Lämpöviihtyvyys tarkoittaa ihmisen tyytyväisyyttä vallitseviin lämpöolosuhteisiin. Mikään olosuhde ei kuitenkaan ole lämpöviihtyvyydeltään sellainen, että kaikki ihmiset olisivat siihen tyytyväisiä. Tämä johtuu ihmisten fysiologisista sekä muista eroista. Vaikka sisäilmaston lämpöolot olisivat keskimäärin viihtyisät, silti tyytymättömien käyttäjien osuus (PPD, Predicted percentage dissatisfied) on aina yli 5 %. Termillä PMV (Predicted mean vote) tarkoitetaan tilassa olevien ihmisten keskimääräistä lämpöaistimusta. PMV-arvolla on yhteys tyytymättömien käyttäjien määrään. Taulukossa 2 on esitetty keskimääräisen lämpöaistimuksen asteikko. (Sepänen 1996, 4,12; SFS-EN-ISO 7730 2006, 2–5.)

Taulukko 2. Keskimääräisen lämpöaistimuksen asteikko (PMV) (SFS-EN-ISO 7730 2006, 2).

Asteikon arvo	Lämpöaistimus
+ 3	Kuuma
+ 2	Lämmin
+ 1	Lämpimähkö
0	Neutraali
- 1	Viileähkö
- 2	Viileä
- 3	Kylmä

PMV-arvo voidaan määrittää laskemalla tai arvioimalla. Arvioitaessa PMV-arvoa, voidaan apuna käyttää Standardissa ISO 7730 (2006, 26) olevia taulukoita. Tällöin täytyy huomioida ihmisten aktiivisuus ja vaatetus, tilan operatiivinen lämpötila sekä ilman virtausnopeus. Toinen lämpöviihtyvyyttä kuvaava arvo on PPD-arvo. PPD-arvo kuvaa lämpöolosuhteisiin tyytymättömien ihmisten osuutta, ja se on riippuvainen ihmisten keskimääräisestä lämpöaistimuksesta. Lämpöolosuhteisiin tyytymättömien osuus voidaan lukea kuvasta 4. (SFS-EN-ISO 7730 2006, 4–5, 26)



Kuvio 5. PPD-arvo PMV-arvon funktiona (SFS-EN-ISO 7730 2006, 5).

Suunniteltaessa taloteknisiä järjestelmiä koneellisesti jäähdytettuihin ja lämmitettyihin rakennuksiin mitoituskriteerinä voidaan käyttää PPD-PMV- indeksejä, jotka huomioivat ilman lämpötilan lisäksi keskimääräisen säteilylämpötilan, ilman virtausnopeuden, kosteuden, aktiivisuuden ja vaatetuksen. Taulukossa 3 on esitetty kriteerit eri luokille. Luokka I tarkoittaa korkeaa vaatimustasoa, johon pyritään suunniteltaessa tiloja, joiden käyttäjillä on erityistarpeita. Tällaisia tilojen käyttäjiä ovat esimerkiksi pienet lapset, vanhukset ja sairaat. Luokka II tarkoittaa normaalia tasoa, jota käytetään yleisesti uudis- ja korjausrakentamisessa. Luokka III tarkoittaa hyväksyttävissä olevaa tasoa, jota voidaan soveltaa vanhojen rakennusten kohdalla. (SFS-EN 15251 2007, 40.)

Taulukko 3. Suositellut taloteknisen suunnittelun lämpöolosuhteiden kriteerit (SFS-EN 15251 2007, 40).

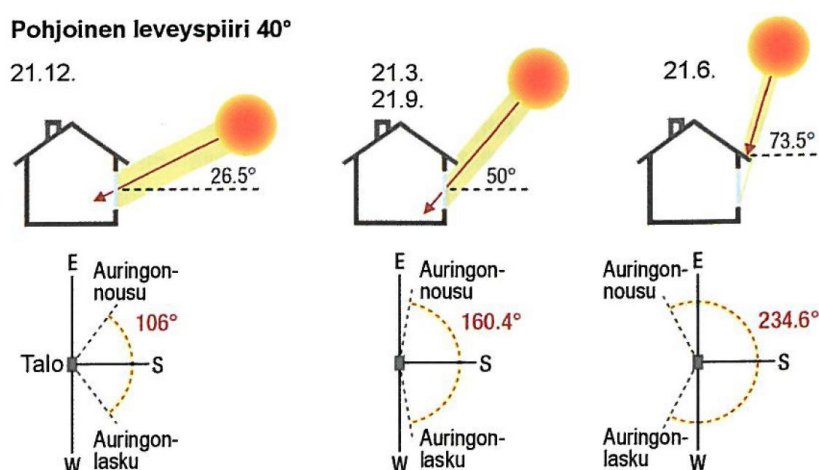
Luokka	Ruumiin lämpötasapainon tila	
	PPD %	Arvioitu PMV-alue
I	< 6	-0,2 < PMV < 0,2
II	< 10	-0,5 < PMV < 0,5
III	< 15	-0,7 < PMV < 0,7
IV	>15	PMV < -0,7 tai +0,7 < PMV

3.3 Auringonsäteily

Kohtisuoraan ilmakehän yläosaan tulevan auringonsäteilyn intensiteetti on 1366 W/m^2 . Säteilyn sironnasta ja ilmakehään sitoutumisesta johtuen merenpinnan korkeudelle tulevan säteilyn määrä optimaalisissakin oloissa on pienempi. Silti säteilyn intensiteetti meren pinnan tasossa voi olla jopa 1000 W/m^2 . (Beck ym. 2011, 4.)

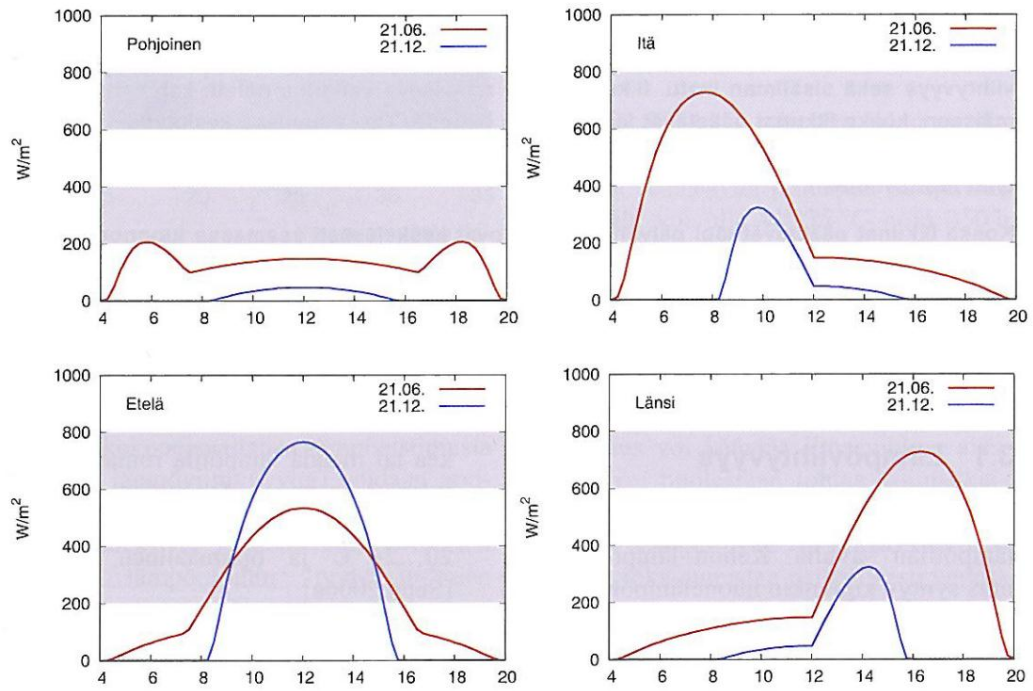
Auringon valosta noin 53 % on näkyvää valoa, 5 % ultraviolettisäteilyä ja 42 % infrapunasäteilyä. Auringonsäteily infrapunasäteilyn alueella on niin kutsuttua lyhytaaltoista infrapunasäteilyä. Lyhytaaltainen infrapunasäteily läpäisee ikkunalasin ja sitoutuu huoneessa oleviin esineisiin ja pintoihin. Esineistä ja pinnoista lähtevä infrapunasäteily on pitkäaaltoista infrapunasäteilyä, joka taas ei läpäise ikkunalasia. Tämän seurauksena huoneeseen tullut lämpösäteily ei pääse enää poistumaan tilasta, ja tästä johtuen huonelämpötila nousee. (Beck ym. 2011, 5.)

Ikkunalasin läpäisevän auringonsäteilyn määrään vaikuttaa auringonsäteilyn tulokulma. Aurinkokulma vaikuttaa myös siihen, osuuko säteily lainkaan ikkunaan. Kesäaikana räystäät tai muut suojat voivat estää korkealta tulevaa auringonsäteilyä osumasta ikkunaan. Tätä asiaa voi hyödyntää esimerkiksi passiivitaloissa. Talvella matalalta paistavan auringon lämpöä saadaan etelän suuntaisista ikkunoista sisään, ja kesällä korkealta tuleva säteily pysähtyy rakenteelliseen suojaan. Kuviossa 6 on havainnollistettu, miten rakenteellinen suojaus toimii etenkin etelän puoleisiin ikkunoihin. (Beck ym. 2011, 5.)



Kuvio 6. Auringon korkeus ja säteily etelänpuoleiseen ikkunaan eri vuodenaikoina sekä auringon säteilyn laajuus eri vuorokaudenaikoina (Beck ym. 2011, 6).

Kuviosta 7 voidaan todeta, että pohjoisseinällä säteily ei ole kovin voimakasta mihinkään aikaan päivästä. Idänpuoleisella julkisivulla säteilyn intensiteetti on voimakkaimmillaan ennen puoltapäivää, mutta loppupäivän ajan säteily itäpinnalle muodostuu ainoastaan hajasäteilystä. Eteläseinän kesäaikainen maksimi-intensiteetti ei ole yhtä korkea kuin itä- tai länsijulkisivuilla, mikä johtuu säteilyn suuresta tulokulmasta. Länsiseinän intensiteetin kuvaaja on peilikuva itäseinän kuvaajasta. Suurimman säteilyn aika läntisellä julkisivulla ajoittuu iltapäivään, jolloin aurinko on lämmittänyt ilmaa, rakennusta ja sen ympäristöä koko päivän. Tästä johtuen lämpöviihtyvyyden kannalta vaativimpia tiloja ovat usein läntisellä julkisivulla sijaitsevat huoneistot. (Beck ym. 2011, 6-7.)



Kuvio 7. Auringonsäteilyn intensiteetti rakennuksen eri julkisivuilla (Beck ym. 2011, 7).

4 KESÄAJAN DYNAAMISESSA HUONELÄMPÖTILOJEN TARKASTELUSSA KÄYTETTÄVÄT LÄHTÖTIEDOT

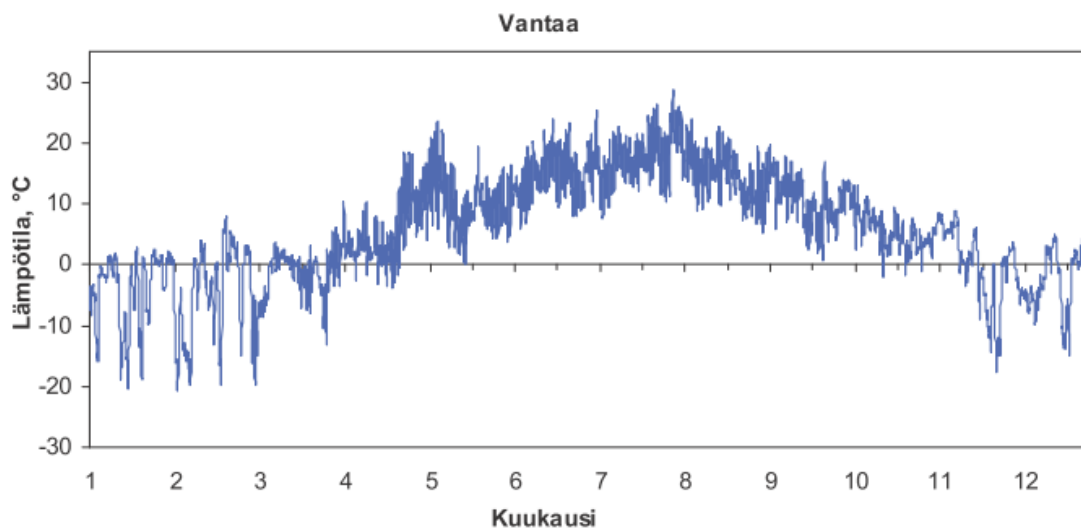
Laskettaessa kesäajan huonelämpötiloja dynaamisin menetelmin laskennassa on huomioitava sisäiset ja ulkoiset lämpökuormat, rakenteet, rakennuksen ilmanpitävyys, talotekniset järjestelmät sekä rakennuksen muoto. Sisäisten lämpökuormat voidaan laskennassa ottaa huomioon joko käyttötarkoituksen mukaisia standardoituja sisäisiä lämpökuormia tai tilan suunniteltua käyttöprofiilia vastaavia lämpökuormia, kuitenkin niin, että arvot ovat vähintään standardoitua käyttöä vastaavia. Rakenteet ja ilmanvuotoluku otetaan huomioon suunnitteluratkaisun mukaisesti. Talotekniset asiat, kuten ilmanvaihto, huomioidaan sellaisena kuin se on kohteeseen suunniteltu. (D3 laskentaopas 2012, 9.)

Mallissa on huomioitava rakennuksen todellinen muoto ikkuna- ja oviaukkoineen. Mallissa pitää olla huomioituna myös ulkopuoliset varjostukset, joita voivat tuottaa esimerkiksi parvekkeet, säleiköt, räystäät, naapurirakennukset, puusto sekä muut asiat, joilla voi olla merkitystä rakennuksen lämpötilojen suhteen. Mikäli parvekkeen lasitus on avattava, se voidaan huomioida laskennassa avonaisena. Mallinnus tulisi tehdä myös tarkasteltavaa tilaa ympäröiviin tiloihin, jos niillä on vaikutusta tilan lämpöolosuhteisiin. Lähtötietona on hyvä käyttää esimerkiksi arkkitehdin rakennuksesta tekemää IFC-mallia. (D3 laskentaopas 2012, 10.)

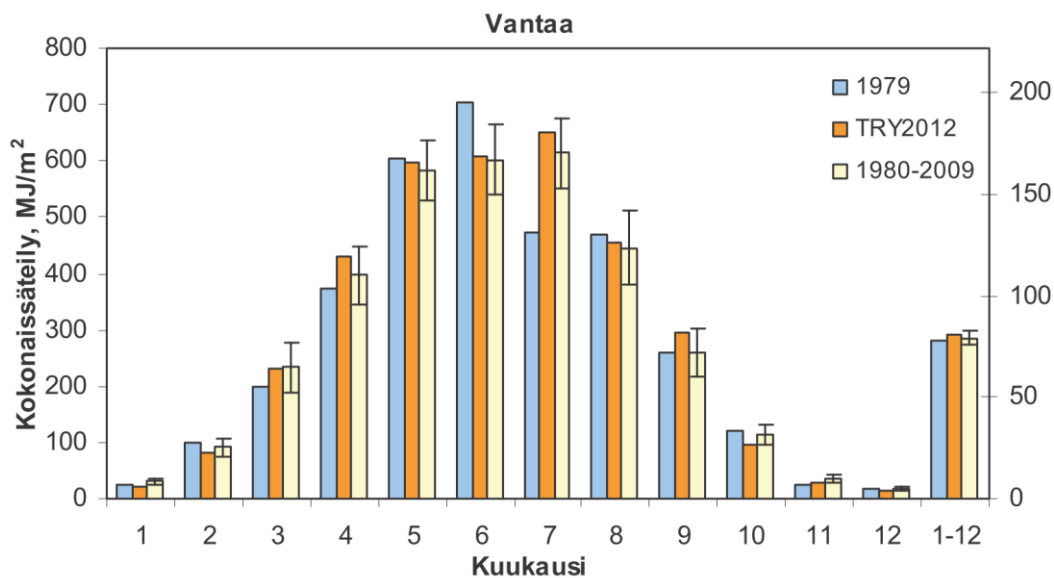
4.1 Säätiiedot

Rakennuksen määräystenmukaisuutta todennettaessa laskennan säätiötietoina käytetään energialaskentaa varten kehitettyä uutta testivuotta TRY2012. Uusi testivuosi korvaa aiemmin käytössä olleen testivuoden 1979. (Jylhä ym. 2011, 4.) Laskenta tehdään RakMK D3:n mukaisesti vyöhykkeen I säätiödoilla riippumatta rakennuskohteen sijainnista. Teknisesti yhdenmukaiset rakennukset täyttävät siis vaatimukset yhtäläillä Helsingissä kuin Rovaniemellä. (D3 laskentaopas 2012, 16). TRY2012 sisältää aikasarjat ilman lämpötilalle, tuulen nopeudelle ja suunnalle, auringon säteilylle sekä ilman suhteelliselle kosteudelle. Kuvissa 7 ja 8 on esitetty-

nä laskennassa käytettävät säävyöhykkeen I vuotuinen lämpötilavaihtelu sekä kuukausittainen auringon kokonaissäteilyenergia. (Jylhä ym. 2012, 37)



Kuvio 8. Laskennassa käytettävän säävyöhykkeen lämpötilavaihtelu (Jylhä ym. 2012, 37).



Kuvio 9. Laskennassa käytettävän säävyöhykkeen auringon kokonaissäteilyenergia (Jylhä ym. 2012, 41).

4.2 Jäähdytysraja

Eri rakennustyyppien jäähdytysrajat on määritelty käyttötarkoituserittäin (Taulukko 4). Näitä arvoja käytetään aina määräystenmukaisuutta todennettaessa. Mikäli tavoitteena on saavuttaa määräyksiä parempi lämpöviihtyvyytaso, esimerkiksi sisäilmastoluokka S1 tai S2, voidaan tarkastelu silloin tehdä myös matalammilla lämpötiloilla. (D3 laskentaopas 2012, 9).

Taulukko 4. D3:n mukaiset jäähdytysrajat eri käyttötarkoituserissä (RakMK D3, 18).

Käyttötarkoituseri	Jäähdytysraja °C
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	27
Asuinkerrostalo	27
Toimistorakennus	25
Liikerakennus	25
Majoitusliikerakennus	25
Opetusrakennus ja päiväkot	25
Liikuntahalli	25
Sairaala	25

4.3 Vuotoilma

Vuotoilma tarkoittaa rakenteiden läpi hallitsemattomasti kulkemaa ilmavirtaa. Vuotoilman vaikutus otetaan huomioon suunnitellun ilmanvuotoluvun suuruisena. Mikäli suunniteltu ilmanvuotoluku q_{50} on pienempi kuin 4 ($\text{m}^3/(\text{h m}^2)$), tulee se todentaa mittaamalla. (RakMK D5, 19; RakMK D3 2012, 10.) Vuotoilmavirran suuruus saadaan laskettua kaavasta (1).

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{vaiippa} \quad (1)$$

jossa

$q_{v,vuotoilma}$ vuotoilmavirta, m^3/s

q_{50} rakennusvaipan ilmanvuotoluku, $\text{m}^3/(\text{hm}^2)$

$A_{vaiippa}$	rakennusvaipan pinta-ala (alapohjan mukaan luettuna), m^2
x	kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille ja sitä korkeimmille rakennuksille 15 kerroskorkeuden ollessa noin 3 m, -. Vain maapinnan yläpuoliset kerrokset otetaan huomioon.
3600	kerroin, joka muuttaa ilmavirran m^3/h yksiköstä m^3/s yksikköön.

(RakMK D5 2012, Kaava 3.9).

4.4 Sisäiset lämpökuormat

Sisäisillä lämpökuormilla tarkoitetaan rakennuksen sisällä tapahtuvasta toiminnasta johtuvaa lämmönluovutusta. Suurimpia sisäisiä lämpökuormia muodostuu laitteiden, valaistuksen ja ihmisten luovuttamasta lämmöstä. (LVI 05-10417 2007, 10.) Tilojen sisäisille lämpökuormille on annettu rakennusmääräyskokoelman osassa D3 2012 standardoidut arvot, joita tulee käyttää tarkasteltaessa kesäaikaisten huonelämpötilojen vaatimustenmukaisuutta. Sisäiset lämpökuormat voidaan laskennassa huomioida rakennuksen standardikäytön mukaisena tai vaihtoehtoisesti vuorokautisella käyttöprofiililla joka kuvaa tilan suunniteltua käyttöä. Tällöin lämpökuormien on kuitenkin oltava RakMK D3:ssa ilmoitettuja arvoja vastaavat. (D3 laskentaopas 2012, 10.)

Taulukko 5. Rakennuksen standardikäytön mukaiset lämpökuormat, käyttöajat ja käyttöaste (RakMK D3 2012).

Käyttötarkoitukseluokka	Kellonaika	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus	Kuluttajalaitteet	Ihmiset
		h/24h	d/7d				
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	00.00-24.00	24	7	0,6	8	3	2
Asuinkerrostalo	00.00-24.00	24	7	0,6	11	4	3
Toimistorakennus	07.00-18.00	11	5	0,65	12	12	5
Liikerakennus	08.00-21.00	13	6	1	19	1	2
Majoitusliikerakennus	00.00-24.00	24	7	0,3	14	4	4
Opetusrakennus ja päiväkoti	08.00-16.00	8	5	0,6	18	8	14
Liikuntahalli	08.00-22.00	14	7	0,5	12	0	5
Sairaala	00.00-24.00	24	7	0,6	9	9	8

Käytettäessä taulukon 5 arvoja energialaskentaa tehdessä on huomioitava seuraavat tarkennukset. Ihmisten lämpökuorma ei sisällä kosteuteen sitoutunutta lämpöä, joten jakamalla ihmisen lämpökuorma luvulla 0,6 saadaan ihmisten kokonaislämmönluovutus. Asuinrakennuksissa valaistuksen käyttöaste on 0,1. Laskettaessa ilmanvaihdon käyntiaikaa on otettava huomioon, että käyttöajan ilmanvaihto käynnistetään tunti ennen käyttöajan alkamista ja sammutetaan tunti sen loppumisen jälkeen. (RakMK D3 2012, 19.)

Henkilöiden tuoma lämpökuorma voidaan laskea taulukon 5 arvojen sijasta myös henkilötiheyden perusteella. Taulukossa 6 on esitetty keskimääräinen henkilötiheys eri rakennustyypeissä. Laskettaessa lämpökuormia henkilötiheyden perusteella käytetään yhden henkilön lämmönluovutuksena 125 W. (RakMK D3 2012, 20.)

Taulukko 6. Henkilötiheys eri käyttötarkoituserä rakennuksissa (RakMK D3 2012).

Käyttötarkoituserä	Henkilötiheys hlö/m ²
Erillinen pientalo	1/43
Rivi- ja ketjutalo	1/43
Asuinkerrostalo	1/28
Toimistorakennus	1/17
Liikerakennus	1/43
Majoitusliikerakennus	1/21
Opetusrakennus ja päiväkot	1/5
Liikuntahalli	1/17
Sairaala	1/11

Myös taloteknisistä järjestelmistä voi aiheutua lämpökuormia rakennuksen tiloihin. Tuloilman lämpötilan lasketaan lämpenevän puhaltimessa ja eristämättömässä tulokanavistossa yhteensä 2 °C, jollei asiaa pystytä muuksi todistamaan. Mahdolliset käyttövesikiertoiset lämmönluovuttimet sekä mukavuuslattialämmitykset huomioidaan kokonaisuudessaan, mikäli niiden käyttö on suunniteltu myös kesäisin. Huoneistosauhasta tai ruuanlaitosta aiheutuvia lämpökuormia ei huomioida laskelmissa. (D3 laskentaopas 2012, 13.) Lämpimän kiertoveden lasketuista lämpöhäviöistä puolet tulee laskea lämpökuormaksi huonetiloihin, ellei laskelmilla toisin osoiteta (RakMK D3, 20).

Tarkasteltaessa rakennuksen lämpöoloja on huomioitava, että vaikka RakMK D3:n mukainen vaatimus kesäajan huonelämpötiloista rakennustyyppin standardikäytöllä täytyisi, se ei silti varmista sitä, että RakMK D2:n määräys tilan lämpövaatimuksesta täytyisi. Tästä syystä kesäajan huonelämpötilalaskenta tulisi suorittaa myös tilojen suunnitellun käytön mukaisilla kuormilla ja käyttöajoilla. Standardoidut arvot voivat poiketa todellisista arvoista joissakin tilanteissa hyvinkin merkittävästi. (D3 laskentaopas 2012, 8-9.)

4.5 Tarkasteluun valittavat tilat

Tehtäessä dynaamista tarkastelua asuinkerrostalon kesäajan huonelämpötiloista simuloinnin tekeminen koko rakennukselle ei ole välttämätöntä. Tarkastelu täytyy

tehdä vähintään yhdelle makuuhuoneelle ja yhdelle olohuoneelle. Tarkasteluun tulee valita tilat, joiden lämpökuormat ovat suurimmat. Tarkasteltavien tilojen ei ole välttämätöntä sijaita samassa huoneistossa. Yleisimmin suurimman lämpökuorman tilat ovat sellaisia, jotka sijaitsevat rakennuksen etelä- tai länsijulkisivuilla, joiden sisäiset laitekuormat ovat suuret, joiden julkisivussa on paljon lasipintaa tai tilat, jotka ovat pieniä. Yleisesti ottaen siis riittää, että tarkasteluun valittavat suurimman lämpökuorman tilat arvioidaan silmämääräisesti. (D3 laskentaopas 2012, 9, 17.)

5 RAKENNUKSEN LÄMPÖILOJEN HALLINTA PASSIIVISIN JA AKTIIVISIN KEINAIN

Rakennuksen kesäaikaisen yllämpenemisen hallinta on aina tehtävä ensisijaisesti käyttäen passiivisia auringonsuojauskeinoja sekä yöaikaan tehostettua ilmanvaihtoa. Joissakin tilanteissa pelkillä passiivisilla keinoilla ei kuitenkaan saavuteta rakennusmääräysten mukaisia lämpötilavaatimuksia, tai tilan sisäilmastolle asetetaan muuten tavanomaista paremmat vaatimukset. Tällöin rakennus varustetaan aktiivisella jäähdytysjärjestelmällä. Aktiivinen jäähdytys ei kuitenkaan koskaan saa olla ainoa keino huonelämpötilojen lämpöolojen hallinnassa. (RakMK D3 2012, 9; D3 laskentaopas 2012, 8.)

5.1 Passiiviset keinot

5.1.1 Ikkunat

Ikkunalasien tarkoitus on tuoda päivänvaloa rakennuksen sisälle suojaten sisätiloja samalla ulkopuolisilta säänvaihteluilta. Ikkunalasit ovat kehittyneet merkittävästi viimeisimpien vuosien aikana. Suuria harppauksia ikkunoiden teknisissä ominaisuuksissa ovat olleet esimerkiksi umpiolasi-ikkuna, kaasun käyttö lasien täyteaineena sekä lasien low-e- ja selektiivipinnoitteet. Näillä kehitysaskelilla ikkunoiden lämmöneristysominaisuudet on saatu moninkertaistettua. (Beck ym. 2011, 16.)

Ikkunoiden g-arvo tarkoittaa sitä osuutta, joka ikkunan ulkopintaan tulevasta auringonsäteilystä läpäisee ikkunarakenteen. G-arvon yksikkönä käytetään prosenttia tai osuutta 0–1. (Hemmilä & Heimonen 2006,12.) Ikkunalasien auringonsäteilyn kokonaisläpäisykertoimen eli g-arvon alentaminen ei ole yksiselitteisesti pelkästään etua tuova ratkaisu. Pienempi g-arvo vähentää lasin läpi tulevaa auringon lämpökuormaa eli vähentää auringonsäteilyä tilan lämmitykseen hyödynnettäväksi saatavaa energiaa. Tämä lisää ostoenergian tarvetta lämmityskaudella. (Beck ym. 2011, 29–30.) Lisäksi pienemmän g-arvon ikkunoiden investointikustannukset ovat suuremmat.

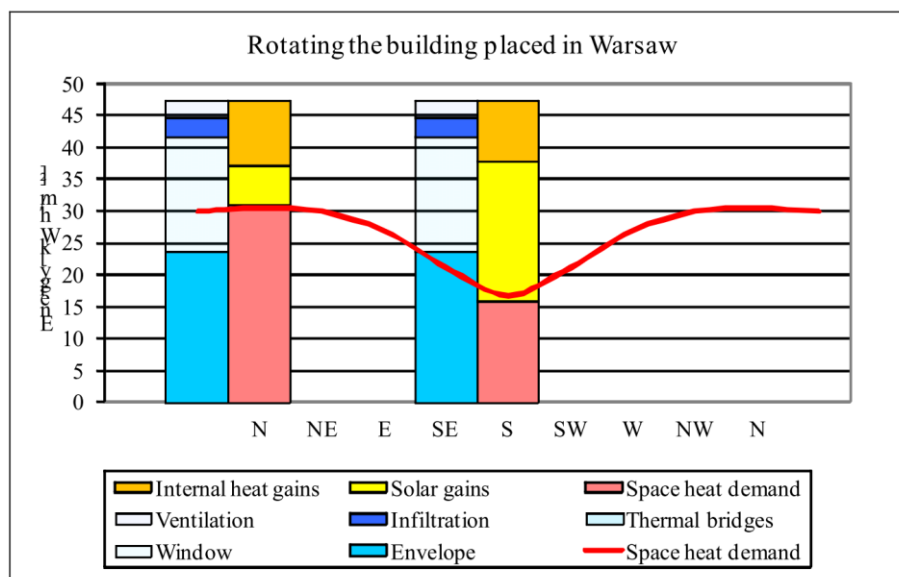
5.1.2 Ulkopuoliset varjostukset ja rakennuksen suuntaus

Auringonsuojajärjestelmiä on saatavilla useita erilaisia. Niiden valintaan vaikuttavat usein suojausominaisuuksien lisäksi käyttäjän ja suunnittelijoiden henkilökohtaiset mieltymykset, rakennuksen muoto sekä ikkunoiden koot ja muodot. (Beck ym. 2011, 39.)



Kuva 10. As Oy Jampankaari. Kiinteät vaakasäleiköt varjostimina kerrosten välissä. Rakennuksen päädyssä varjostimina aurinkopaneelit. (Nollaenergia [viitattu 18.3.2014].)

Rakennuksen suuntaus auringonsäteilyn suhteen tulisi ottaa huomioon jo suunnittelun alkuvaiheessa. Suuntaamalla rakennus siten, että talvisin auringosta saadaan mahdollisimman paljon lämpöenergiaa voidaan saavuttaa suuria säästöjä lämmityskustannuksissa. Tällöin on kuitenkin kiinnitettävä entistä enemmän huomioita kesäaikaiseen auringonsuojaukseen huonetilojen ylläampemisen estämiseksi. Kuviosta 11 nähdään, miten tilan lämmitysenergiantarve vähenee pohjoiseen ja etelään suunnatun tilan välillä. (NorthPass 2010, 22.)



Kuvio 11. Rakennuksen suuntauksen vaikutus tilan lämmöntarpeeseen (NorthPass 2010, 22).

Ulkopuoliset auringonsuojat ovat tehokkain tapa rajoittaa auringonsäteilyn aiheuttamaa huonelämpötilojen nousua. Yleisimpiä ulkopuolisia auringonsuojia ovat erilaiset markiisit, liukuvarsimarkiisit, screenkaihtimet sekä julkisivusälekkaihtimet. Valinta näiden eri suojausmenetelmien välillä on usein monen eri asian summa. Valintaan vaikuttavat muun muassa julkisivun suunta, muoto, vallitsevat tuuliolot, rakennuksen korkeus, käyttäjän tarpeet sekä alueelliset tottumukset. Kuviossa 12 on esitetty erilaisia ulkopuolisia auringonsuojajärjestelmiä. (Beck ym. 2011, 39.)



Kuvio 12. Erilaisia ulkopuolisia auringonsuojajärjestelmiä (Beck ym. 2011, 40).

Sivu- ja nivelvarsimarkiisit ovat kankaisia auringonsuojia. Kangas rullaantuu suojakotelosta ulos tukivarsien avulla. Nämä suojausmenetelmät sopivat paikkoihin, jossa vallitsevat tuuliolot eivät ole erityisen haastavat. Screenkaihtimien auringonsuojamateriaali on yleensä lasikuitupinnoitettu kangas. Kangas laskeutuu pysyvuoraan ikkunan eteen liukukiskojen avulla. Liukuvarsimarkiisin toiminta on

screenkaihtimen ja sivuvarsimarkiisin yhdistelmä. Kangas laskeutuu aluksi pystysuoraan ikkunan eteen, jonka jälkeen sivuvarret kallistavat sen ulospäin. Ulkopuoliset julkisivusälekkaihtimet toimivat samalla tavalla kuin sisäpuoleiset sälekkaihtimet. Julkisivusälekkaihtimien säleiden leveydet ovat yleensä 50–150 mm. (Beck ym. 2011, 39–43.)

5.1.3 Sisäpuoliset varjostimet

Rakennuksen ulkovaipan sisäpuolelle asennettavien varjostimien passiivinen jäähdysteho ei ole yhtä hyvä kuin ulkopuolisilla. Sisäpuolisilla auringonsuojilla on lämmönhallinnan lisäksi muitakin etuja. Näitä etuja ovat muun muassa yksityisyydensuojan säilyttäminen sekä visuaalisen viihtyvyyden parantaminen. Visuaalisella viihtyvyydellä tarkoitetaan sitä, että huoneen valaistusvoimakkuus pysyy miellyttävällä tasolla eikä auringonvalosta aiheudu esimerkiksi häikäisyä. Helpon säädettävyytensä ansiosta käyttäjän on helppo pitää olosuhteet mieleisinään. Sisäpuoliset verhot ja kaihtimet ovat usein myös osa huoneen sisustusta. Asumisviihtyvyyden kannalta parhaan vaikutuksen saamiseen tarvitaankin usein sekä sisäpuolisia että ulkopuolisia auringonsuojajärjestelmiä. (Beck ym. 2011, 38–43.)



Kuvio 13. Erilaisia sisäpuolisia auringonsuojajärjestelmiä (Beck ym. 2011, 41).

Kuviossa 13 on esitetty yleisimpiä sisäpuolisia auringonsuojajärjestelmiä. Näitä muun muassa ovat sälekkaihtimet, rullakaihtimet, lamellikaihtimet, laskoskaihtimet ja pehmeät verhot. Sälekkaihtimet voidaan asentaa joko kokonaan ikkunan sisäpuolelle tai vaihtoehtoisesti ikkunalasiin väliin, mikäli ikkunarakenne on sellainen, että asennus on mahdollista. Kun sälekkaihtimet asennetaan kolmilasisen ikkunan uloimpien lasien väliin, sälekkaihtimet pienentävät valoaukon g-arvon eli kokonaislämmönläpäisykertoimen jopa kolmannekseen alkuperäisestä. Ikkunan sisäpuolelle asennettuna sälekkaihtimet pienentävät valoaukon g-arvoa noin 35 %. Taulukos-

ta 7 voidaan nähdä eräiden muiden sisäpuolisten auringonsuojausjärjestelmien suojauskertoimia. (Beck ym. 2011, 39–43; Seppänen 2004, 194.)

Taulukko 7. Joidenkin sisäpuolisten auringonsuojausjärjestelmien suojauskertoimia (Seppänen 2004, 194).

<i>Suojaustapa</i>	<i>Väri, kudος, sijainti</i>	<i>Suojauskerroin kokonaisläpäisylle, f</i>	<i>Suoran säteilyn läpäisykerroin</i>
<i>Sisäpuoliset verhot</i>	<i>vaalea, harva kudος</i>	<i>0,71</i>	<i>0,67</i>
	<i>vaalea, tiheä kudος</i>	<i>0,44</i>	<i>0,21</i>
	<i>tummahko, harva kudος</i>	<i>0,75</i>	<i>0,54</i>
	<i>tummahko, tiheä kudος</i>	<i>0,59</i>	<i>0,12</i>
	<i>tumma, harva kudος</i>	<i>0,82</i>	<i>0,42</i>
	<i>tumma, tiheä kudος</i>	<i>0,7</i>	<i>0,06</i>
	<i>Säleikaihtimet 2-lasinen ikkuna</i>	<i>sisäpuolella</i>	<i>0,65</i>
<i>lasivälissä</i>		<i>0,39</i>	<i>0,12</i>
<i>ulkopuolella</i>		<i>0,14</i>	<i>0,09</i>
<i>Säleikaihtimet 3+ -lasinen ikkuna</i>	<i>sisimmässä lasivälissä</i>	<i>0,53</i>	<i>0,14</i>
	<i>uloimmassa lasivälissä</i>	<i>0,33</i>	<i>0,12</i>

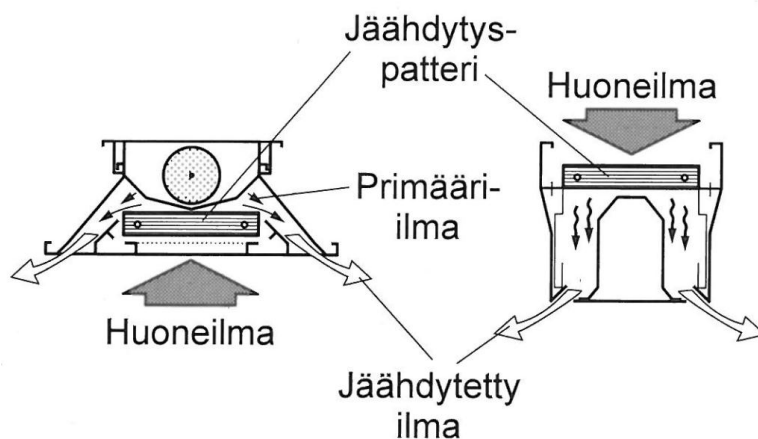
5.2 Aktiiviset keinot

5.2.1 Tuloilman jäähdytys tai viilennys

Käytettäessä tehokasta auringonsuojausta riittävä jäähdytysteho voidaan saavuttaa keskitetyn ilmastointijärjestelmän avulla. Tätä kutsutaan vakioilmavirta-ilmastoinniksi. Vakioilmavirta-ilmastoinnissa ilman käsittely tapahtuu keskitetysti ja jäähdytysteho tuodaan huonetiloihin ilmanvaihdon mukana. Vaikka järjestelmän ilmamäärät mitoitetaan yleensä jäähdytystarpeen mukaan, ei tällä järjestelmällä saada saavutettua tarvittavaa jäähdytystehoa sellaisiin tiloihin, joissa lämpökuormat ovat suuret. Tehoa rajoittavana tekijänä on vedon aiheutuminen oleskeluvyöhykkeelle. (Seppänen 2004, 42, 48.)

5.2.2 Tilakohtaiset jäähdytyslaitteet

Yleisimpiä erilaisia tilakohtaisia jäähdytyslaitteita ovat ilmastointipalkit sekä puhallinkonvektorit. Tilakohtaisilla jäähdytyslaitteilla voidaan saavuttaa erinomaiset lämpöolot huonetilaan, sillä ne ovat usein säädettävissä tilakohtaisen tarpeen mukaisesti. Sellaisissa puhallinlaitteissa, joissa lämpötila ja ilmavirran puhallusnopeus ovat käyttäjän säädettävissä, voidaan vedottomuudesta tinkiä. Tämän ansiosta laitteesta saatava maksimaalinen jäähdytysteho lisääntyy. Ilmastointipalkkeja on kahta eri päätyyppiä, aktiivisia ja passiivisia ilmanvaihtopalkkeja. Aktiivisissa ilmastointipalkkeissa sisään tuotava ulkoilma puhalletaan huoneeseen palkin läpi. Palkin sisällä olevassa jäähdytyspatterissa kiertää jäähdytysvesi, joka on tuotettu vedenjäähdyttimellä ja sisään tuleva ilma jäähtyy tullessaan tilaan kuvion 14 mukaisesti. Passiivipalkkeihin ei tuoda koneellisesti ulkoilmaa, vaan niiden toiminta perustuu huoneessa tapahtuvaan konvektioon. Lämmin huoneilma nousee palkin yläpuolelle ja palkin sisällä oleva jäähdytyspattereri viilentää huoneilman. Tämän jälkeen jäähtynyt ilma laskeutuu takaisin oleskeluvyöhykkeelle kuvion 14 osoittamalla tavalla. (Seppänen 2004, 43, 50–51.)



Kuvio 14. Aktiivisen ja passiivisen jäähdytyspalkin toimintaperiaatteet (Seppänen 2004, 51).

Puhallinkonvektorin sisällä olevassa lamellipatterissa kiertää jäähdytysvesi samaan tapaan kuin ilmastointipalkkeissa. Puhallinkonvektorissa jäähdytystehoa lisäämässä on puhallin, joka kierrättää huoneilmaa kylmän jäähdytyspatterin läpi. Puhallinkonvektoreiden käyttämä jäähdytysvesi tulee useimmiten keskitetyltä vedenjäähdytyskoneelta. Tämän lisäksi etenkin saneerauskohteissa käytetään paljon

suorahöyrysteisiä jäähdytyspattereita, eli niin sanottuja split-jäähdytyslaitteita.
(Seppänen 2004, 54–55.)

6 LÄMPÖVIIHTYVYYDEN TARKASTELU

6.1 Tutkimuksessa käytettävä kohde

Tässä työssä tarkasteltava rakennus on Arkkitehtitoimisto Kaipainen Oy:n suunnittelema, ja Lemminkäinen Talo Oy:n rakentama asuinkerrostalo. Rakennus on valmistunut Järvenpään keväällä 2014. Kohde sisältää kaksi asuintaloa. Rakennuksen ulkoseinät, yläpohja ja alapohja on suunniteltu ja rakennettu nykymääräykset täyttävin tavanomaisin ratkaisuin. Kaikkien huoneistojen ilmanvaihto on toteutettu omalla koneellisella tulo–poisto-lämmöntalteenottolaitteella. Rakennuksen kaikki ikkunat on varustettu lasien väliin asennetuin sälekaihtimin. Rakennuksen ikkunat ovat pääosin tavanomaisia kolmilasisia MSE-ikkunoita, joiden sisäpuolteissa on selektiivilasi. Ikkunoiden g-arvo on 0,44. Rakennuksen eteläpuoleisella seinustalla olevat ikkunat, jotka eivät jää parvekkeen varjoon ovat auringonsuojalaseja. Näiden lasien g-arvo on 0,32. Rakennuksen porraskäytävien suurien ikkunapintojen takia, porrashuoneen lämpötila voi kesäaikana nousta jopa 50 asteeseen. Lemminkäinen Talo Oy on huomioinut tämän, ja rakennuksen porraskäytävien yllämpeneminen estetään käyttämällä automatisoitua ikkunatuuletusta porraskäytävässä. Kuviossa 15 on rakennuksen IFC-malli idästä päin katsottuna. Kuviossa 16 on arkkitehdin tekemät luonnokset rakennuksen eri julkisivuista.



Kuvio 15. As Oy Järvenpään Vilja, IFC-malli.

JULKISIVUT



Havainnekuva, arkkitehdin luonnos kohteesta

Kuvio 16. Arkkitehdin luonnos rakennuksen julkisivuista Idästä, etelästä, pohjoisesta ja lännestä. (As Oy Järvenpään Vainio, ennakkomarkkinointiesite [viitattu 18.3.2014].)

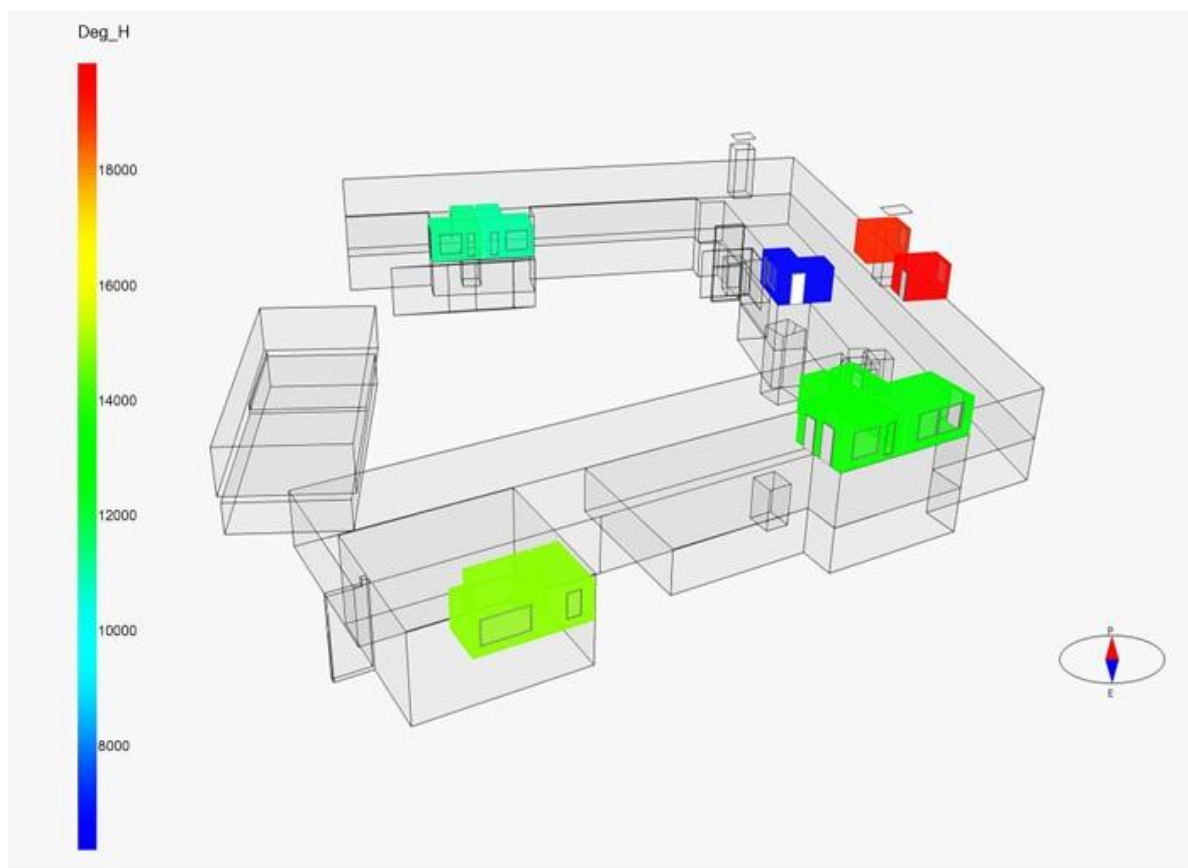
6.2 Dynaamisen laskentaohjelman esittely

Työssä tehdyt eri tapausten lämpötilasimuloinnit on toteutettu IDA Indoor Climate and Energy 4.6 -ohjelmalla. Ohjelmalla voidaan tutkia rakennuksen sisäilmastoa ja energiankulutusta tarkastelemalla kerralla yksittäisiä alueita tai koko rakennusta. Ohjelma laskee rakennuksen jäähdytys- ja lämmitysenergian kulutuksen sekä rakennuksen sisäilman laadun tuntipohjaisella laskentamenetelmällä. Tuntipohjainen

laskentamenetelmä ottaa huomioon rakenteiden termisen lämmönvarauskyvyn. Rakennuksen geometria voidaan tuoda IDA-ICE -ohjelmaan IFC-standardin mukaisesti mallinnettuna kolmiulotteisena mallina, geometria ja ominaisuudet voidaan määrittellä myös itse esimerkiksi CAD-pohjapiirustuksen perusteella.

6.3 Lämpöoloiltaan haasteellisimpien tilojen valitseminen

Tässä kohteessa suurimman lämpökuorman tilan arviointi osoittautui vaikeaksi eikä luotettavaa tulosta olisi voinut saada pelkästään arvioimalla. Simulointi tehtiin kaikista rakennuksen tiloista, jotta saatiin selville, mitkä tilat ovat todellisuudessa lämpökuormiltaan suurimmat. Odotuksista poiketen lämpöoloiltaan haastavin tila oli itäpuolen julkisivulla sijaitseva pieni makuuhuone. Kuviossa 17 on esitettyinä joidenkin eri tilojen jäähdytysrajan ylittävät astetunnit normaalitilanteessa.

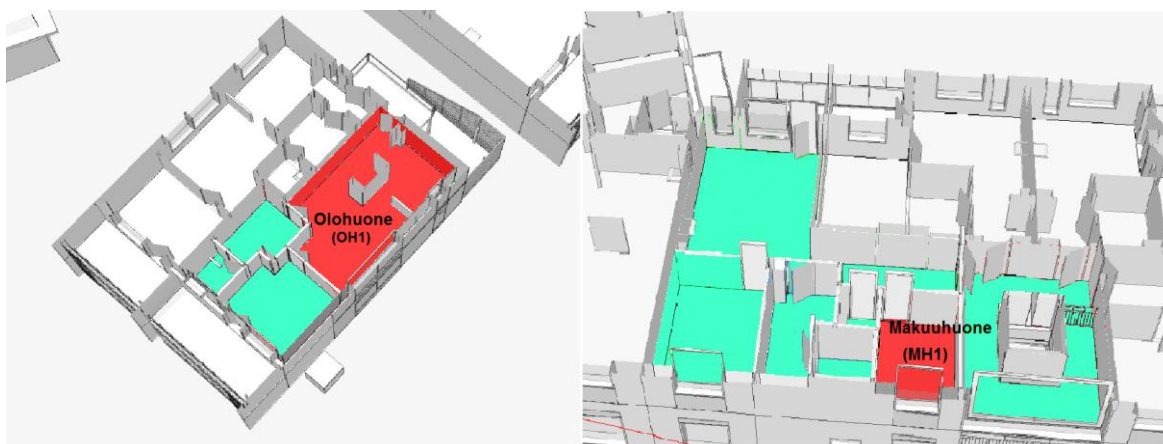


Kuvio 17. Eri tilatyypin jäähdytysrajan ylittävät astetuntimäärät.

Tarkasteluun valittiin olohuone (OH1) asunnosta E52 ja makuuhuone (MH1) asunnosta C33. Tilakohtaisessa tarkastelussa on otettava huomioon myös tilaa

ympäröivät muut tilat ja niiden lämpöolot, sillä niillä voi olla merkitystä lopputulokseen (D3 laskentaopas 2012, 10).

Tarkasteltavan makuuhuoneen 1 vieressä sijaitsevan porraskäytävän lämpötila voi nousta kesäaikana korkealle, jopa 50 asteeseen, johtuen sen suuresta lasipinnasta. Tämä on otettava tarkastelussa huomioon, sillä se nostaa makuuhuoneen 1 lämpötiloja joissain tapauksissa hyvinkin merkittävästi. Mikäli porrashuoneen yli lämpeneminen estetään yhtä tehokkaasti, kuin tarkastellussa kohteessa on toteutettu, voidaan sillä vähentää jäähdytysrajan ylittäviä astetunteja tarkastelun makuuhuoneessa jopa 40 %. Tarkasteltava olohuone 1 on avointa tilaa saman huoneiston eteisen ja keittiön kanssa, joten tämä alue otetaan tarkastelussa huomioon yhtenä tilana. Kuviossa 18 on esitetty tarkasteltavat tilat punaisella värillä ja simuloinnissa huomioitavat viereiset tilat vaaleanvihreällä.



Kuvio 18. Tarkasteluun valittu olohuone ja sitä ympäröivät tilat. Tarkasteluun valittu makuuhuone ja sitä ympäröivät tilat.

6.4 Vertailuratkaisu

Vertailuratkaisulla tarkoitetaan perustapausta, johon simuloituja auringonsuojausmenetelmiä verrataan. Tutkimuksessa vertailuratkaisuna käytetään edellä valittuja huoneita, joissa ei ole minkäänlaista aurinkosuojausta. Vertailussa käytettävä ratkaisu ei edusta rakennuksen todellista tilannetta, vaan rakennusosien ominaisuuksina on käytetty tämän päivän rakennusmääräysten vähimmäisvaatimuksia vastaavia arvoja. Ikkunoiden g-arvona on käytetty tyypillistä nykyaikaisen selektiivila-

sin g-arvoa 0,55. Vertailuratkaisun laskelmissa ei ole myöskään huomioitu porraskäytävän yllälämpenemisen estäviä toimenpiteitä.

Vertailussa tarkasteltavia arvoja ovat huoneiston maksimilämpötila, jäähdytysrajan (27 °C) ylittävät astetunnit sekä standardin SFS-EN-ISO 7730 mukainen PPD-arvo, joka osoittaa lämpöoloihin tyytymättömien henkilöiden prosentuaalisen osuuden. Vertailuratkaisun lämpöolot on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Vertailuratkaisun lämpöolot.

Tarkasteltavat tilat	Maksimi lämpötila °C	Asetunnit °Ch	Max PPD %
Olohuone	41,4	10870	100,0
Makuuhuone	41,7	13400	100,0

6.5 Toimenpidevaihtoehdot

Tarkasteltavien tilojen lämpöoloihin voi vaikuttaa monin erilaisin passiivisin keinoin. Tässä kappaleessa on tarkasteltavana kahdeksan eri menetelmää, joiden tehokkuutta tutkitaan yksitellen vertailuratkaisuun verrattuna. (Taulukko 9.)

Taulukko 9. Tutkitut yllälämpenemisen hallintakeinot.

Tutkitut lämmönhallinnan keinot
1. g-arvo = 0,38
2. g-arvo = 0,20
3. Ikkunan sisäänveto 170mm
4. Verhot sisäpuolella
5. Sälekaihtimet sisäpuolella
6. Sälekaihtimet lasien välissä
7. Screenkaihdin lasien välissä
8. Lippa 800mm
9. Lippa 1000mm
10. Markiisi 500mm x 800mm
11. Ilmanvaihdon tehostus 30%

6.5.1 Lasitukseen vaikuttaminen

Taulukosta 10 nähdään, että ikkunan g-arvon pienentäminen 0,55:stä 0,38:aan vähentää jäähdytysrajan ylittäviä asetunteja keskimäärin noin 43 % ja maksimi- lämpötiloja noin 13 %. Nämä määrät eivät kuitenkaan riitä täyttämään rakennus- määräyskokoelman osien D2 2012 ja D3 2012 vaatimuksia lämpöviihtyvyydestä.

Taulukko 10. Ikkunan g-arvon parantaminen 0,38:aan.

Tarkasteltavat tilat	Maksimi lämpötila °C	Asetunnit		Max PPD		
		erotus	°Ch	erotus	%	erotus
Olohuone	36	-13 %	3902	-64 %	99,9	0 %
Makuuhuone	36,6	-12 %	6547	-51 %	100,0	0 %

Ikkunan auringonsäteilyn kokonaisläpäisykertoimen pudottaminen 0,20:een riittää alittamaan vaatimuksen vuoden maksimilämpötilasta molemmissa tarkasteltavissa tiloissa. Vaikka asetuntien määrä on vähentynyt yli 90 % molemmissa tiloissa, tämä toimenpide ei riitä yksin toteuttamaan RakMK D3:n vaatimusta, joka tarkoittaa raja-arvon ylittämistä maksimissaan 150 asetunnilla. (Taulukko 11.)

Taulukko 11. Ikkunan g-arvon parantaminen 0,20:een.

Tarkasteltavat tilat	Maksimi lämpötila °C	Asetunnit		Max PPD		
		erotus	°Ch	erotus	%	erotus
Olohuone	30,5	-26 %	452	-96 %	66,5	-34 %
Makuuhuone	31,5	-24 %	1043	-92 %	80,7	-19 %

Kun uloin ikkunalaus asennetaan sisemmäksi, lasipintaa ulompana oleva rakennuksen vaippa varjostaa ikkunaa. Tarkastelun kohteessa olevan rakennuksen ulkoseinien paksuus on 385 mm, jolloin 210 mm syvät ikkunat voidaan asentaa vähintään 170 mm sisemmäksi rakennuksen muun vaipan ulkopintaan verrattuna. Näin tehtäessä asetuntien määrä vähenee keskimäärin 25 %. Yksinään tämä ratkaisu ei vielä ole merkittävä, mutta koska ikkunoiden asentaminen lähemmäksi vaipan sisäpintaa on suhteellisen helposti toteutettavissa oleva toimenpide, sen vaikutukset kannattaa huomioida muiden toimenpiteiden ohella. (Taulukko 12.)

Taulukko 12. Ikkunan sisäänveto 170 mm.

Tarkasteltavat tilat	Maksimi lämpötila		Astetunnit		Max PPD	
	°C	erotus	°Ch	erotus	%	erotus
Olohuone	39,1	-6 %	7433	-32 %	100,0	0 %
Makuuhuone	40	-4 %	10930	-18 %	100,0	0 %

6.5.2 Sisäpuolinen suojaus

Käyttämällä lasituksen sisäpuolella tavallisia pehmeitä verhoja jäähdytysrajan ylittäviä astetunteja saadaan vähennettyä keskimäärin 49 % ja lämpötilahuippua keskimäärin 11 %. (Taulukko 13.)

Taulukko 13. Verhot sisäpuolella.

Tarkasteltavat tilat	Maksimi lämpötila		Astetunnit		Max PPD	
	°C	erotus	°Ch	erotus	%	erotus
Olohuone	36,9	-11 %	4877	-55 %	100,0	0 %
Makuuhuone	37,4	-10 %	7726	-42 %	100,0	0 %

Sälekaihtimien asennuspaikalla on suuri merkitys auringon aiheuttaman lämpökuorman hallitsemisessa. Mikäli sälekaihtimet asennetaan uloimpien lasipintojen väliin, astetunnit vähenevät olohuoneessa 95 % ja makuuhuoneessa 80 %. Lasien sisäpuolelle asennettuna sälekaihtimien vaikutus astetunteihin on vain noin 49 %. Lasien väliin asennettuna sälekaihtimet ovat riittävä ratkaisu täyttämään vaatimuksen huoneen maksimilämpötilasta, joka on 33,6 °C. Kuitenkin jäähdytysrajan ylittäviä astetunteja kertyy enemmän kuin sallittu 150 °Ch. (Taulukko 14; Taulukko 15)

Taulukko 14. Sälekaihtimet sisäpuolella.

Tarkasteltavat tilat	Maksimi lämpötila		Astetunnit		Max PPD	
	°C	erotus	°Ch	erotus	%	erotus
Olohuone	37,1	-10 %	4420	-59 %	100	0 %
Makuuhuone	38,4	-8 %	8218	-39 %	100	0 %

Taulukko 15. Sälekaihtimet uloimpien lasien välissä.

Tarkasteltavat tilat	Maksimi lämpötila °C	Astetunnit °Ch		Max PPD %		
		erotus	erotus	erotus	erotus	
Olohuone	31,1	-25 %	553	-95 %	74,2	-26 %
Makuuhuone	33,3	-20 %	2698	-80 %	95,1	-5 %

Sälekaihtimen sijasta lasien väliin voidaan asentaa myös screenkaihdin. Kuten kuvioista 19 ilmenee, on screenkaihtimen etu siinä, että sen ollessa käytössä näkymä ikkunasta ulos säilyy. Lasien väliin asennettuna kaihtimessa yhdistyy ulko- ja sisäpuolisen suojauksen edut.



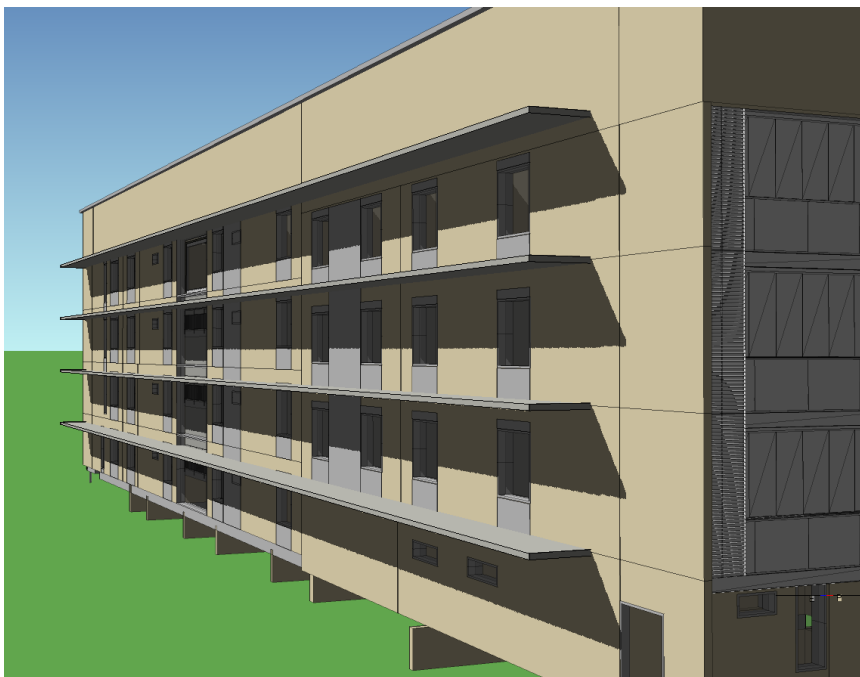
Kuvio 19. Sunseal screenkaihdin ikkunalasien väliin asennettuna. (Gardin Oy [viitattu 30.4.2014].)

Screenkaihdin antaa suuruusluokaltaan yhtä hyvän auringonsuojan, kuin suljettuna oleva sälekaihdin. Uusilla kangasmateriaaleilla on mahdollisuus päästä vieläkin parempiin arvoihin.

Taulukko 16. Screenkaihdin uloimpien lasien välissä.

Tarkasteltavat tilat	Maksimi lämpötila °C	Astetunnit °Ch		PPD %		
		erotus	erotus	erotus	erotus	
Olohuone	30,7	-26 %	485,9	-96 %	68,6	-31 %
Makuuhuone	33	-21 %	2658	-80 %	93,8	-6 %

6.5.3 Ulkopuolinen suojaus



Kuvio 20. Kiinteät varjostimet mallinnettu rakennuksen itäjulkisivulle.

Kuviossa 20 esitetyllä tavalla ikkunoiden yläpuolelle asennettavaa kiinteää varjostinta tutkittiin kahtena eri pituutena. Pituudella tarkoitetaan tässä tapauksessa lipan ulkonemaa vaakasuoraan seinästä poispäin. Asetunneissa 1000 mm:n lippa osoittautui keskimäärin noin 9 prosenttiyksikköä 800 mm:n lippaa tehokkaammaksi ja maksimilämpötila aleni pidempää varjostinta käytettäessä noin 14 prosenttiyksikköä enemmän lyhyempään varjostimeen verrattuna. (Taulukko 17; Taulukko 18.)

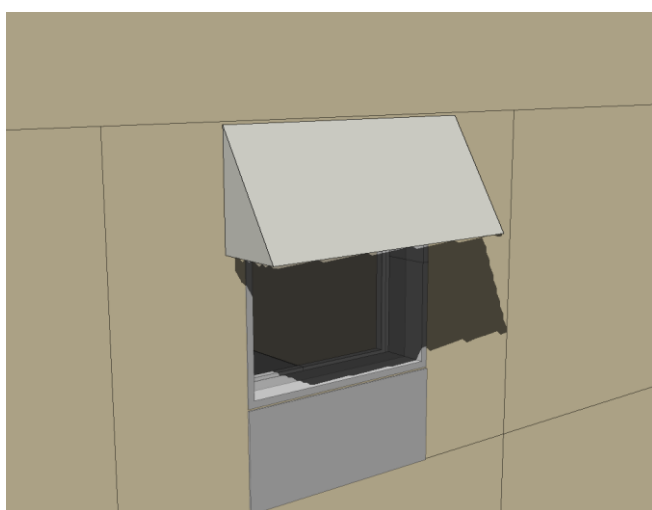
Taulukko 17. Kiinteä varjolippa 800 mm.

Tarkasteltavat tilat	Maksimi lämpötila °C	Asetunnit °Ch		PPD %		
		erotus	erotus	erotus	erotus	
Olohuone	35	-15 %	3082	-72 %	99,4	-1 %
Makuuhuone	37,7	-10 %	7716	-42 %	100,0	0 %

Taulukko 18. Kiinteä varjolippa 1000 mm.

Tarkasteltavat tilat	Maksimi lämpötila °C		Astetunnit °Ch		PPD %	
		erotus		erotus		erotus
Olohuone	33,6	-19 %	2053	-81 %	96,4	-4 %
Makuuhuone	37	-11 %	6760	-50 %	100,0	0 %

Vertailussa simuloitu markiisi on ikkunan levyinen, sen syvyys on 500 mm ja korkeus on 800 mm kuvion 21 mukaisesti. Markiisin käyttö on tuuliohjattu siten, että yli 12 m/s:n tuulella markiisi nousee automaattisesti.



Kuvio 21. Simuloitu markiisi.

Markiisi osoittautui vertailun tehokkaimmaksi yksittäiseksi auringonsuojakeinoksi, mutta sen vaatima huollontarve sekä ulkonäkö voivat tehdä siitä vähemmän houkuttelevan vaihtoehdon asuinkerrostalossa. (Taulukko 19.)

Taulukko 19. Markiisi 500 x 800mm.

Tarkasteltavat tilat	Maksimi lämpötila °C		Astetunnit °Ch		PPD %	
		erotus		erotus		erotus
Olohuone	30,3	-27 %	414,3	-96 %	63,21	-37 %
Makuuhuone	32,1	-23 %	1696	-87 %	87,3	-13 %

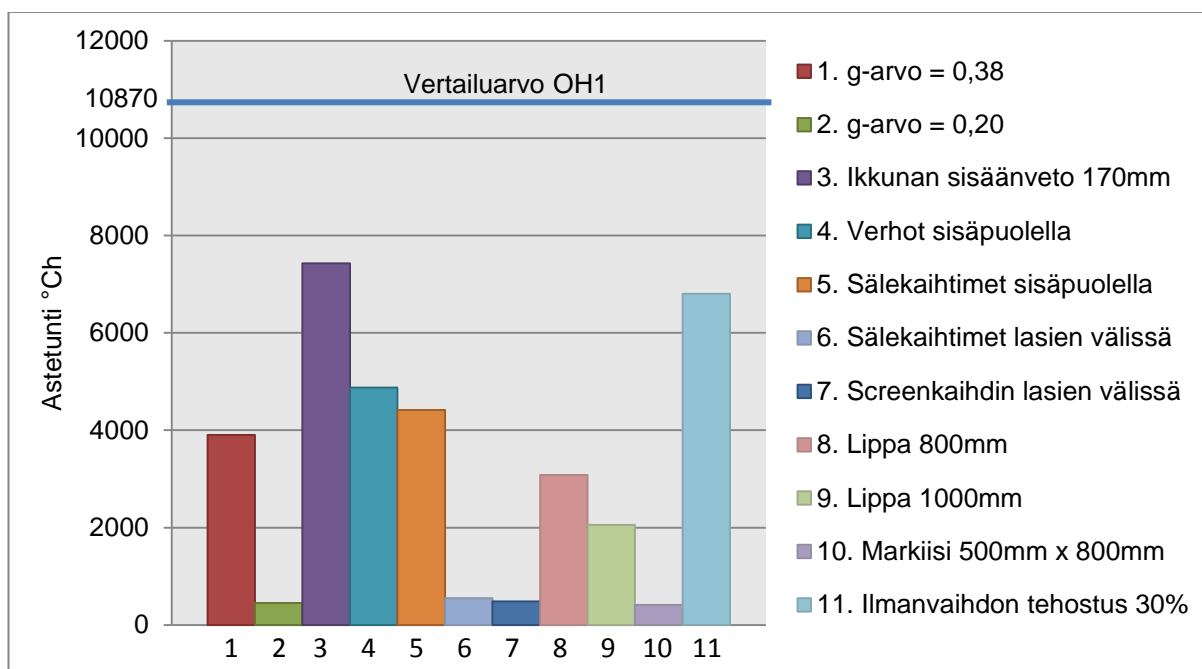
6.5.4 Ilmanvaihdon tehostus

Tehostamalla ilmanvaihtoa 30 % kesäolosuhteissa saadaan pienennettyä jäähdytysrajan ylittävää astetuntimäärää keskimäärin 30 % (Taulukko 20).

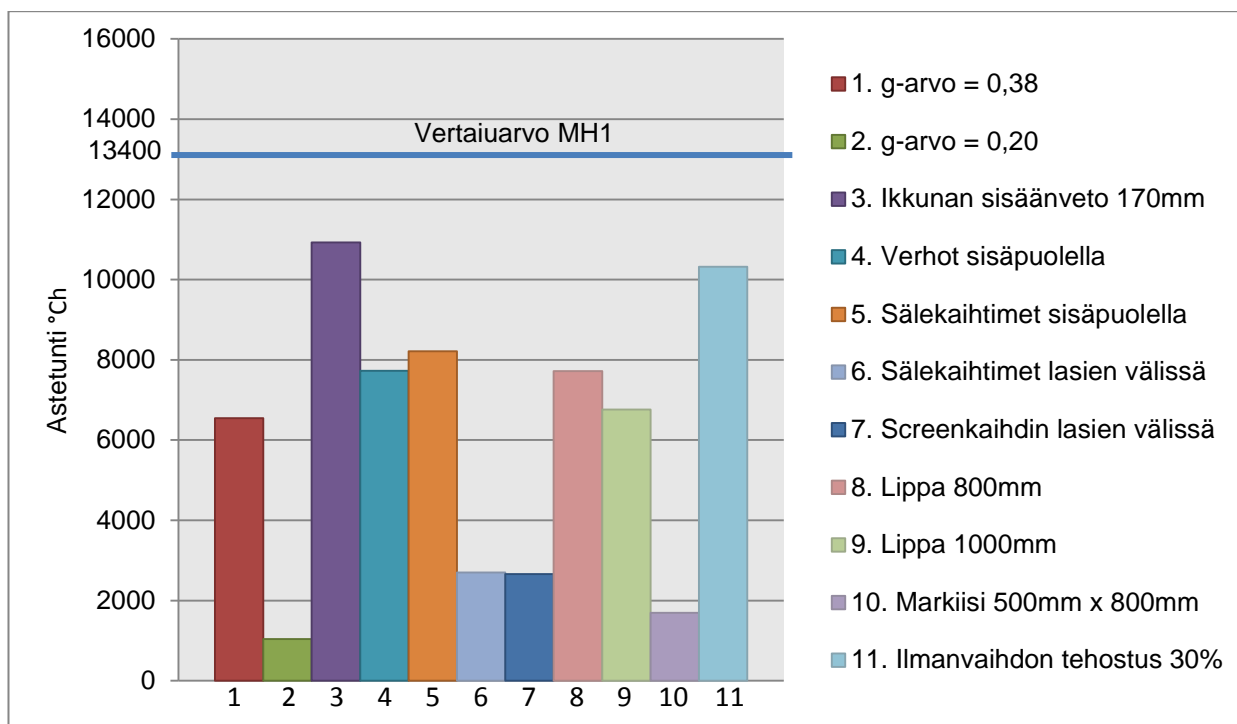
Taulukko 20. Ilmanvaihdon tehostus 30 %.

Tarkasteltavat tilat	Maksimi lämpötila °C	Astetunnit °Ch		PPD %		
		erotus	erotus	erotus	erotus	
Olohuone	39,3	-5 %	6804	-37 %	100,0	0 %
Makuuhuone	40,2	-4 %	10320	-23 %	100,0	0 %

6.5.5 Yksittäisten ratkaisujen vertailu



Kuvio 22. Eri auringonsuojausratkaisujen vaikutus olohuoneen astetuntimääriin.



Kuvio 23. Eri auringonsuojausratkaisujen vaikutus makuuhuoneen astetuntimääriin.

Kuviosta 22 ja kuviosta 23 voidaan tulkita, että molempien huoneiden lämpöoloihin neljä eniten vaikuttavaa toimenpidettä ovat ikkunalasin g-arvon laskeminen 0,20:n tasolle, sälekaihtimien asentaminen uloimpien lasien väliin, markiisi sekä screenkaihtimen asentaminen lasien väliin. Vähiten lämpöoloihin jäähdyttävästi vaikuttaneet toimenpiteet ovat ikkunan sientäminen sekä ilmanvaihdon tehostaminen 30 %:lla.

6.6 Toimenpiteiden yhteisvaikutukset

Kappaleessa 6.4 tutkituista toimenpiteistä muodostettiin taulukon 21 mukaisesti viisi erilaista yhdistelmää. Jokaisesta yhdistelmästä tehtiin uusi simulointi, jossa käytettiin kyseisiä auringonsuojausmenetelmiä.

Taulukko 21. Huoneiden lämpötilanhallintaan vaikuttavien ratkaisujen yhteistarkastelu.

Simulaatio no:	1.	2.	3.	4.	5.	6.
g-arvo = 0,38		x			x	x
g-arvo = 0,20			x	x		
Ikkunan sisäänveto 170 mm						
Verhot sisäpuolella						
Sälekaihtimet sisäpuolella		x				
Sälekaihtimet lasien välissä	x			x		x
Screenkaihdin lasien välissä					x	
Lippa 800 mm						
Lippa 1000 mm			x			
Markiisi 500 mm x 800 mm		x		x		
Ilmanvaihdon tehostus 30 %	x		x			x

Ensimmäisen simuloinnin tarkastellut toimenpiteet olivat ikkunan väliin asennetut sälekaihtimet, sekä ilmanvaihdon tehostaminen 30 %. Nämä toimenpiteet osoittautuivat riittäviksi tarkastelun olohuoneessa, mutta makuuhuoneen astetunnit nousivat yli 600:aan.

Toisessa simuloinnissa ikkunan g-arvona käytettiin arvoa 0,38, lasituksen sisäpuolelle lisättiin sälekaihtimet ja ulkopuolelle markiisi. Vertailun olohuoneessa ratkaisu on riittävä määräysten täyttämiseksi, mutta makuuhuoneessa astetunnit kohoavat noin 250:een.

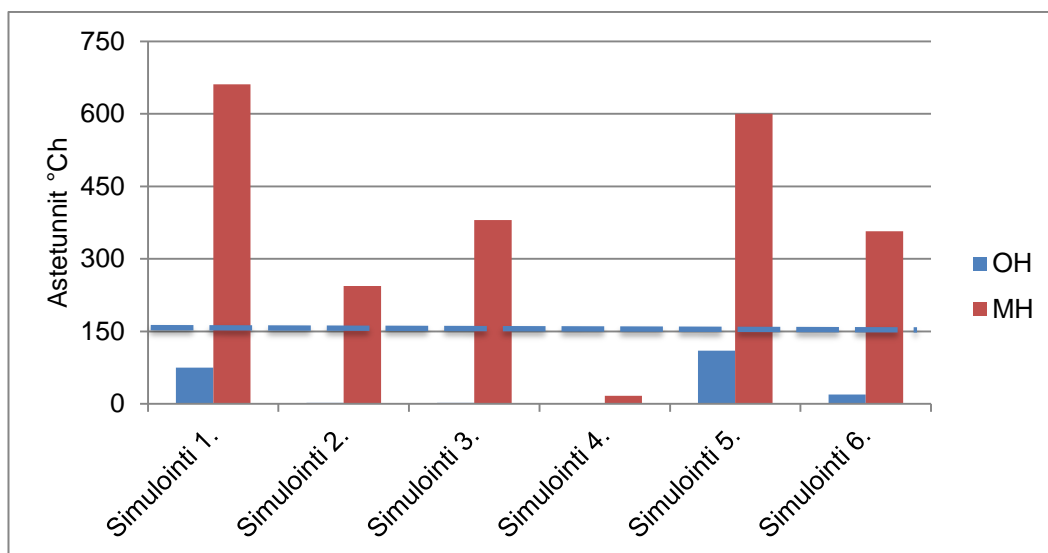
Kolmannen simuloinnin toimenpiteitä olivat ikkunan g-arvon parantaminen 0,20:een, ilmanvaihdon tehostaminen 30 % sekä rakenteellisen 1000 mm syvän varjostinlipan rakentaminen. Tämä tarkastelu osoittautui riittäväksi etelän suuntaisessa olohuoneessa. Varjolippa ei tuonut riittävästi suojaa itäjulkisivun makuuhuoneeseen matalalta paistavalta auringolta ja astetunnit nousivat 380:een.

Neljännän simuloinnin toimenpiteet osoittautuivat riittäviksi toteuttamaan määräystenmukaisuuden rajan selvästi molemmissa tarkasteltavissa huoneissa. Olohuoneessa huonelämpötila ei noussut ollenkaan tarkastellun jäähdytysrajan yläpuolelle, vaan tilan maksimilämpötila tarkastelujaksolla oli 26,3 °C. Makuuhuoneen lämpötila ylitti tarkastelussa jäähdytysrajan vain 17 astetunnilla.

Viidennen simuloinnin tulokset osoittavat, että screenkaihdin ja ikkunalasitus jonka g-arvo on 0,38 ovat yhdessä riittävä auringonsuojauskeino tarkastelun olohuoneessa. Makuuhuoneessa lämpötila ylittää jäähdytysraja-arvon 436 astetunnilla.

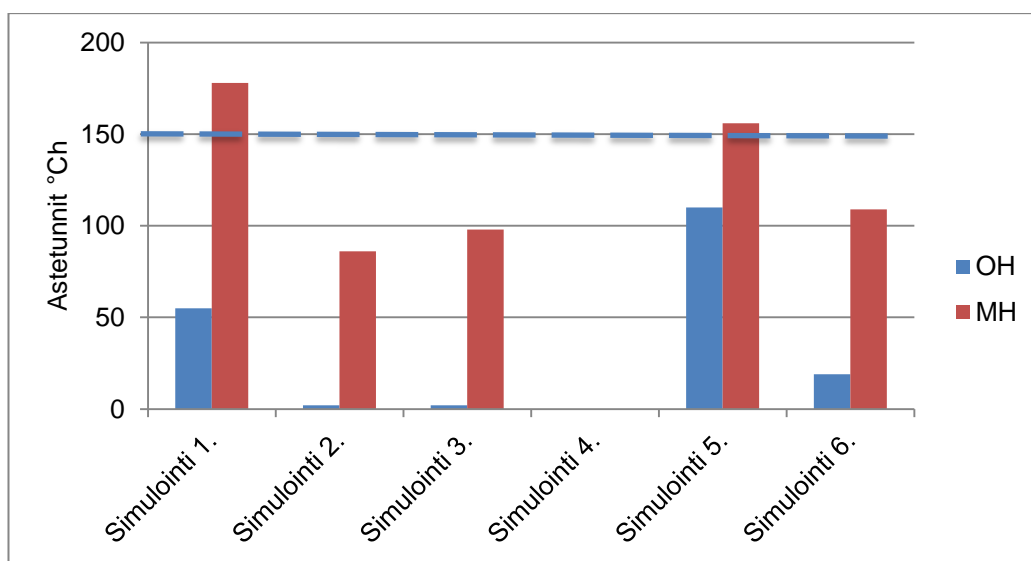
Kuudennessa simuloinnissa tarkasteltiin tapausta jossa ikkunoiden g-arvo on 0,38, ikkunalasien väliin asennettu sälekaihdin ja ilmanvaihtoa tehostettu 30 %. Tämä toimenpide riittää toteuttamaan määräysten vaatimustason tarkastelun olohuoneessa. Makuuhuoneessa raja-arvo ylittyy 357 astetunnilla.

Kuviosta 24 nähdään, että kaikki tarkastelussa olleet toimenpiteiden yhteisvaikutukset olivat riittäviä toteuttamaan määräystenmukaisuuden tarkastelun olohuoneessa. Tarkastelussa makuuhuoneen kesäajan huonelämpötilavaatimus toteutui ainoastaan simuloinnissa 4.



Kuvio 24. Toimenpidevaihtoehtojen yhteisvaikutukset.

Edellisessä tarkastelussa makuuhuoneiden suuret astetuntimäärät johtuvat osaltaan seinän takana olevasta porrashuoneesta, jonka lämpö nousee kesäisin erittäin korkeaksi. Kun sama tarkastelu tehdään siten, että porrashuoneen lämpötilan nouseminen estetään vaikuttaa se huomattavasti myös makuuhuoneen lämpötiloihin. Porrashuoneen lämpötilaa voidaan hallita tehostetulla tuuletuksella joka voidaan toteuttaa esimerkiksi automaattisesti avautuvilla ja sulkeutuvilla porrashuoneen ikkunoilla, siten kuin referenssikohteessa As Oy Järvenpään Viljassa on toteutettu. Kuviosta 25. nähdään taulukon 21. mukaisten simulaatioiden tulokset silloin, kun myös porrashuoneen jäähditys on otettu huomioon.



Kuvio 25. Toimenpidevaihtoehtojen yhteisvaikutukset, kun porrashuoneen ylläampinen on estetty.

Kuviosta voidaan havaita, että kaikissa eri tapauksissa porrashuoneen astetunnit jäävät alle 200. Kaksi tarkastelluista tapauksista ylittää rakennusmääräysten antaman raja-arvon hieman. On siis selvää, että viereisten tilojen lämpöolosuhteilla voi olla suuri merkitys tarkasteltavan tilan olosuhteisiin ja se tulee ottaa tarkastelussa huomioon.

7 KUSTANNUSVERTAILU

7.1 Huonelämpötilan hallintakeinojen kustannukset

Taulukko 22. Eri parannustoimenpiteiden laskennalliset lisäinvestointiustannukset tarkastelun olohuoneeseen.

Investointikustannukset OH	
Vertailuratkaisu	+0 €
Ikkunan g-arvo = 0,38	+100 €
Ikkunan g-arvo = 0,20	+200 €
Ikkunan sisäänveto	+0 €
Verhot sisäpuolella	+75 €
Sälekaihtimet sisäpuolella	+80 €
Sälekaihtimet lasien välissä	+70 €
Varjostinlippa 800mm	+600 €
Varjostinlippa 1000mm	+800 €
Markiisi 500mm x 800 mm	+4000 €
Ilmanvaihdon tehostus	+0 €
Screenkaihdin lasien välissä	+136 €
Jäähdytysjärjestelmän rakentaminen + tilakohtainen puhallinkonvektori	+2243 €

Taulukossa 22 ja taulukossa 23 on esitetty eri lisäinvestointien suuruudet tarkastelussa olleeseen olohuoneeseen sekä makuuhuoneeseen. Summat ovat tilakohtaisia ja tarkoittavat sitä, kun uudisrakennuksen auringonsuojausjärjestelmää parannetaan vertailuratkaisuun nähden. Koneellisen jäähdytyksen sekä rakenteellisten vaakavarjostinlippojen hinnat on laskettu koko rakennukselle ja niiden osuus on jaettu neliöperusteisesti kyseisille tiloille.

Taulukko 23. Eri parannustoimenpiteiden laskennalliset lisäinvestointikustannukset tarkastelun makuuhuoneeseen.

Investointikustannukset MH	
Vertailuratkaisu	+0 €
Ikkunan g-arvo = 0,38	+50 €
Ikkunan g-arvo = 0,20	+100 €
Ikkunan sisäänveto	+0 €
Verhot sisäpuolella	+100 €
Sälekaihtimet sisäpuolella	+150 €
Sälekaihtimet lasien välissä	+150 €
Varjostinlippa 800mm	+400 €
Varjostinlippa 1000mm	+600 €
Markiisi 500mm x 800 mm	+1500 €
Ilmanvaihdon tehostus	+0 €
Screenkaihdin lasien välissä	+395 €
Jäähdytysjärjestelmän rakentaminen + tilakohtainen puhallinkonvektori	+1529 €

7.2 Vertailu

Tavoiteltaessa parasta sisäilmastoluokan tasoa S1, eli yksilöllistä sisäilmastoa, tulee huoneiston kesäaikaisen maksimilämpötilan olla alle 26 °C ja huoneen lämpötila tulee olla käyttäjän itse säädettävissä. Tässä vertaillaan auringonsuojauksen investointikustannuksia ja sen tuomaa vuotuista energiansäästöä jäähdytysenergian tarpeesta. Vertailu tehdään jo aiemmin tarkastelussa olleille olohuoneelle ja makuuhuoneelle. Molemmista tiloista laskennassa alkutilanteena käytetään kappaleen 6.3 mukaista vertailuarvoa, ja parannusehdotuksena kappaleen 6.5 simuloitua 3. Passiivisena auringonsuojakeinona tilanteessa on pienen g-arvon ikkunalasit, joiden säteilyn kokonaisläpäisykerroin on 0,20 sekä uloimpien lasien väliin asennetut sälekaihtimet. Sähköenergian kokonaishintana laskelmissa käytetään 0,18 €/kWh. Taulukossa 24 on esitetty IDA-ICE-ohjelmistolla simuloitua tilakohtaisia jäähdytyksen tuottamat ostoenergiatarpeet sekä vuotuiset energiakustannukset.

Taulukko 24. Jäähdyksen tarvitsema vuotuinen ostoenergia sekä hinta tarkastelun makuuhuoneessa sekä olohuoneessa.

	Ei aurinkosuojausta	Passiivinen aurinkosuojaus
Makuuhuone	117 kWh / 21,1 €	5 kWh / 1,0 €
Olohuone	249 kWh / 44,8 €	9 kWh / 1,6 €

Passiivisten auringonsuojaustoimenpiteiden investointien hinnat voidaan laskea taulukoiden 20 ja 21 hintojen mukaan. Investointi olohuoneessa on 340 € ja investointi makuuhuoneessa on 170 €. Näillä hinnoilla laskettuna passiivisen auringonsuojauksen takaisinmaksuaika on noin 8 vuotta. Tämän lisäksi on huomioitava viihtyvyyden lisääntyminen huoneissa, sekä jäähdytysjärjestelmän investoinnin pieneneminen, mikäli koko rakennuksen passiivista auringonsuojausta parannetaan.

8 YHTEENVETO

Kesäaikaisten huonelämpötilojen tarkastelu aloitettiin määräysten ja muiden ohjeiden antamien raja-arvojen tutkinnalla. Täytyi myös selvittää, minkälaisia lähtöarvoja laskennassa tulee käyttää missäkin eri tarkastelutilanteessa. Tarkastelukohteenä käytettiin Järvenpään rakennettua todellista kerrostalokohdetta, josta tehtyyn IFC-malliin perustuen simuloitiin lämpöoloiltaan kriittisimpien tilojen sisäilmastoa. Simuloinnissa tehtyyn alkutilanteeseen vertailtiin erilaisten passiivisten auringonsuojajärjestelmien tehokkuutta.

Lämpökuormiltaan suurimman tilan valitseminen voidaan rakennusmääräyskoelman D3 mukaan arvioida. Yleisesti valitaan sellainen tila, jossa on ikkunapintoja etelä- tai länsijulkisivulle. Lämpöoloiltaan selkeästi haasteellisin tila tarkastelussani oli itään päin oleva pieni makuuhuone, jonka viereinen tila on porrashuone, jossa on suuri lasipinta. Porrashuoneen lämpötila voi nousta kesäisin yli 50 asteeseen, ja sillä on suuri vaikutus viereisiin tiloihin. On siis selvää, että kriittisimmän tilan valinnassa tulee kiinnittää erityisen paljon huomiota myös tarkasteltavan tilan kokoon sekä sitä ympäröiviin tiloihin ja niiden olosuhteisiin.

Ympäristöministeriön vuonna 2012 antama uusi määräys kesäaikaista huonelämpötilasta sekä sen todistamisesta laskennallisoin keinoin vaikuttaa erittäin tarpeelliselta. Mikäli rakennuksen suunnittelussa ei otettaisi kesäaikaista lämpötilanhallintaa huomioon, huonelämpötilat pysyisivät yli 40 °C:n pitkiäkin ajanjaksoja kesän aikana. Määräyksellä taataan sisätilojen kohtuullinen lämpöviihtyvyys. Tavoiteltaessa erittäin hyvää lämpöviihtyvyyden tasoa, tulee passiiviseen auringonsuojaukseen kiinnittää vielä enemmän huomiota. Oikein suunniteltuna, toteutettuna ja käytettynä, passiivisella auringonsuojauksella voidaan saavuttaa säästöjä energiakustannuksissa jäähdytyskaudella ilman että saatua hyötyä menetetään lämmityskaudella.

LÄHTEET

- As Oy Järvenpään Vainio, ennakkomarkkinointiesite. Ei päiväystä. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.3.2014]. Saatavana: http://www.asunnot.fi/data/media/a71fd0fdf2811463bdb8293b0b2c79d2_brochure.pdf
- Beck, W., Dolmans, D., Dutoo, G., Hall, A. & Seppänen, O. 2011. Aurinkosuojaus. Belgia: Rehva.
- D3 laskentaopas. 2012. Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen. [Verkkajulkaisu]. Ympäristöministeriö, [Viitattu 18.3.2014]. Saatavana: www.ymparisto.fi/download/noname/%7B7B8D0893-4715-4FD1-B685-D2B71D6A6559%7D/31274
- Euroopan unionin virallinen lehti. 2012. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/27/EU energiatehokkuudesta. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 17.3.2014] Saatavana: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:FI:PDF>
- Gardin Oy. Ei päiväystä. [www-sivu]. [Viitattu 30.4.2014]. Saatavana: <http://www.gardin.fi/galleriat/sunseal-kaihtimet>
- Hemmilä, K., & Hemonen, I. 2006. Ikkunoiden energialuokituksen pilotointi. Espoo: VTT. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2.4.2014]. Saatavana: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2356.pdf>
- Jylhä, K. ym. 2011. Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastomuutoksen vaikutuksista. Helsinki: Sitra. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 20.3.2014]. Saatavana: <http://www.sitra.fi/julkaisut/Selvityksi%C3%A4-sarja/Selvityksia53.pdf>
- LVI 30-10416. 2007. Kesäaikaisten lämpötilojen hallinta asuinkerrostaloissa. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto
- Nolaenergia. Ei päiväystä. [www-sivu]. [Viitattu 17.3.2014]. Saatavana: <http://www.nolaenergia.fi/jarvenpaantalo.php>
- NorthPass. 2010. Principles of low-energy houses applicable in North European countries and their applicability throughout the EU. . [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 21.3.2014]. Saatavana: <http://northpass.ivl.se/download/18.50a499dd132037d524e80004863/North>
- Puhakka E. ym.1996. Terveellinen sisäilma. Helsinki: Suomen sisäilmaston mittauspalvelu Oy

- RakMK D2. 2012. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Suomen rakentamismääräyskokoelma.
- RakMK D3. 2010. Rakennusten energiatehokkuus. Suomen rakentamismääräyskokoelma.
- RakMK D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Suomen rakentamismääräyskokoelma.
- RakMK D5 2012. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Suomen rakentamismääräyskokoelma.
- Seppänen, O. ym.2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Espoo: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- Seppänen, O. 1996 Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Espoo: Suomen LVI-yhdistysten Liitto.
- SFS-EN 15251. 2007. Sisäympäristön lähtötiedot rakennusten energiatehokkuuden suunnitteluun ja arviointiin ottaen huomioon ilman laatu, lämpöolot, valaistus ja äänitekniset ominaisuudet. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.
- SFS-EN-ISO 7730. 2006. Lämpöolojen ergonomia. Lämpömukavuuden analyttinen määrittäminen ja tulkinta käyttäen laskettuja PMV- ja PPD-indeksejä sekä paikallista lämpömukavuutta. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.
- Sisäilmastoluokitus. 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Espoo: Rakennustietosäätiö.
- Sisäilmayhdistys. Ei päiväystä. [www-sivu]. [Viitattu 19.4.2014]. Saatavana: <http://www.sisailmayhdistys.fi/sisailmastoluokitus/>
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 31.10.2013. [www-sivu]. [Viitattu 17.03.2014]. Saatavana: https://www.tem.fi/energia/eu_n_energiayhteistyö.