



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Henri Kaakinen

Passiivisten jäähdytysmenetelmien vaikutukset pientalon sisäolosuhteisiin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

11.5.2020

Tekijä Otsikko	Henri Kaakinen Passiivisten jäähdytysmenetelmien vaikutukset pientalon sisäolosuhteisiin
Sivumäärä Aika	61 sivua 11.5.2020
Tutkinto	insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	LVI-tekniikka
Ohjaajat	yliopettaja Aki Valkeapää
<p>Energiatehokkuusmääräysten kiristyessä ja rakennusten jäähdytystarpeen lisääntyessä kiinteistöjen sähköenergiankulutuksen vähentäminen on noussut yhä merkittävämpään rooliin. Pääosa rakennusten aiheuttamista ilmaston lämpenemistä kiihdyttävistä päästöistä syntyy rakennuksen käytön aikana. Passiivisella jäähdyttämällä voidaan merkittävästi vähentää rakennuksen jäähdytyksen tarvetta ja sitä kautta sähköenergiankulutusta.</p> <p>Opinnäytetyössä tarkasteltiin passiivisten jäähdytysmenetelmien vaikutuksia pientalon sisäolosuhteisiin ja erityisesti sisäilman maksimilämpötilaan. Opinnäytetyössä käsitellään yleisesti passiivista jäähdyttämistä ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Syvemmän tarkastelun kohteeksi on valittu aurinkosuojauksen-, ikkunajärjestelmien- sekä rakennuksen ilmanvaihdon vaikutukset pientalon sisäolosuhteisiin.</p> <p>Opinnäytetyössä tarkasteltiin sisäolosuhteisiin vaikuttavia tekijöitä dynaamisen olosuhdesimuloinnin avulla. Tutkittavana kohteena oli Madeiralla sijaitseva nollaenergiapientalo (49,5 m²). Valittujen passiivisten jäähdytysmenetelmien vaikutuksia tarkasteltiin simuloinnin avulla menetelmä kerrallaan ja simuloitiin lopuksi yhdistelmä, jossa kaikki valitut passiiviset jäähdytysmenetelmät olivat käytössä.</p> <p>Lähtötilanteessa sisäolosuhdesimulointi toteutettiin siten, että rakennuksessa ei ollut lainkaan käytössä valittuja passiivisia jäähdytysmuotoja. Tässä tapauksessa sisätilojen maksimilämpötila nousi 41,5 asteeseen. Simulointitilanteessa, jossa kaikki valitut passiiviset jäähdytysmenetelmät olivat käytössä, nousi sisätilojen maksimilämpötila 28,9 asteeseen. Opinnäytetyössä esiteltävillä menetelmillä saatiin sisätilojen maksilämpötilaa laskettua 12,6:lla asteella. Ilmanvaihdolla oli tähän selvästi suurin vaikutus.</p> <p>Valituilla passiivisilla jäähdytysmenetelmillä oli merkittävä vaikutus sisätilojen maksilämpötilaan, mutta lämpöviihtyvyyden kannalta 25:n asteen tavoiteltu sisälämpötila ei toteutunut. Jotta halutut sisäolosuhteet toteutuvat, tulee hyödyntää myös aktiivista jäähdyttämistä. Ilmalämpöpumppujärjestelmä on kohteeseen sopivin ratkaisu, koska valitun järjestelmän tulee pystyä myös lämmittämään sisätiloja viileämpinä ajanjaksoina.</p>	
Avainsanat	passiivinen jäähdytys, aurinkosuojaus, luonnollinen ilmanvaihto, ikkunajärjestelmät, dynaaminen simulointi, pientalo

Author Title Number of Pages Date	Henri Kaakinen Effects of Passive Cooling Methods on Indoor Climate in Single-family House 61 pages 11 May 2020
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Engineering
Instructor	Aki Valkeapää, Principal Lecturer
<p>The purpose of this master's thesis was to examine the effects of passive cooling methods on the indoor climate of a small single-family house in Madeira, especially by establishing the effects of the cooling methods on the maximum indoor air temperature.</p> <p>The thesis introduced different passive cooling methods and key factors that have an effect on the success of passive cooling. The effects of solar shading, window systems and natural ventilation on the indoor climate were studied further by dynamic simulations carried out, first, for each of the systems separately, and then, in a combination with all of the listed systems.</p> <p>The first indoor climate simulation was carried out with no passive cooling methods. In this case, the maximum indoor temperature rose to 41.5 °C. In a simulation where all selected passive cooling methods were in use, the maximum indoor temperature rose to 28.9 °C. The presented passive cooling methods reduced the maximum indoor temperature by 12.6 °C. The system with the biggest impact on the indoor temperature was natural ventilation.</p> <p>The thesis showed that passive cooling methods have a significant effect on the maximum indoor temperature. The thesis can be utilized when selecting passive cooling methods for single-family houses.</p>	
Keywords	passive cooling, solar shading, natural ventilation, window systems, dynamic simulation, single-family house

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Auringon säteily ja lämpö	3
2.1	Auringon säteily	3
2.2	Aurinkokulmat	4
2.3	Auringon säteilyn käyttäytyminen	4
2.4	Lämmön siirtyminen	5
2.5	Lämpöviihtyvyys	6
2.6	Operatiivinen lämpötila	7
3	Passiiviset jäähdytysmenetelmät	8
3.1	Rakennuksen maantieteellinen ja paikallinen sijainti	8
3.2	Rakennuksen sijainti tontilla ja ilmansuunta	9
3.3	Rakennuksen geometria ja arkkitehtoniset ratkaisut	10
3.4	Rakennuksen termiset massat	12
3.5	Rakennuksen vaipan ominaisuudet	13
3.6	Ulkopuoliset varjostukset ja aurinkosuojaus	14
3.7	Ikkunoiden ominaisuudet	15
3.8	Luonnollinen ilmanvaihto	16
4	Aurinkosuojaus	18
4.1	Aurinkosuojan sijainnin merkitys	18
4.2	Ikkunoiden ulko- ja sisäpuoliset aurinkosuojausmenetelmät	20
4.3	Aurinkosuojan valinta	21
4.4	Rakennukseen valitut liikuteltavat aurinkosuojaukset	22
4.5	Aurinkosuojauksen ohjaus	23
5	Ikkunajärjestelmät	25
5.1	Päivänvalo	26
5.2	Aurinkosuojalasit	27
5.3	Suojakalvot	27
5.4	Vakio kaksilasi-ikkuna	28

5.5	Matalaemissiivinen Low-e -lasi	28
5.6	Selektiivilasit	28
5.7	Sähköinen älylasi	29
5.8	Tuuletusikkuna	30
6	Rakennuksen ilmanvaihto	31
6.1	Sisäilman laatu	32
6.2	Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta	33
6.3	Konvektion vaikutus ilmanvaihtoon	35
6.4	Tuulen vaikutus ilmanvaihtoon	36
6.5	Auringonsäteilyn vaikutus ilmanvaihtoon	37
6.6	Ilmanvaihdon tehostaminen	38
6.7	Ikkuna- ja ovituuletus	41
6.8	Yötuuletus	41
7	Dynaaminen sisälämpötilojen tarkastelu	42
7.1	Tarkastelussa olevan rakennuksen esittely	42
7.2	Rakennuksen sisäiset lämpökuormat	43
7.3	Rakenteiden määrittäminen	44
7.4	Rakennuksen sisälämpötilat ilman aurinkosuojausratkaisuja	46
7.5	Ilmanvaihdon vaikutukset sisälämpötiloihin	48
7.6	Rakennuksen geometrysten muutosten vaikutukset sisälämpötiloihin	49
7.7	Ulkopuolisten aurinkosuojuotuotteiden vaikutukset sisälämpötiloihin	51
7.8	Sisäpuolisten aurinkosuojuotuotteiden vaikutukset sisälämpötiloihin	52
7.9	Ikkunalasituksen vaikutukset sisälämpötiloihin	53
7.10	Passiivisten jäähdytysmenetelmien yhteisvaikutukset	55
7.11	Koneellisen jäähdytyksen tarve	56
8	Yhteenveto	58
	Lähteet	59

1 Johdanto

Opinnäytetyöni on osa laajempaa majoitustoiminnan suunnittelu- ja kehittämisprojektia, jossa pyritään rakentamaan kestävä kehityksen mukaisia rakennuskokonaisuuksia. Tarkastelun kohteena oleva pientalo on suunniteltu vapaa-ajan toimintaa ajatellen turisteille lyhytaikaiseen vuokrauskäyttöön. Pientalo on osa laajempaa rakennuskokonaisuutta: samanlaisia pientaloja on tarkoitus rakentaa vaiheittain tontille 4–8 kappaletta ja pientalojen lisäksi tontille rakennetaan suurempi huoltorakennus, johon pääosa talotekniikasta ja aurinkoenergian aktiivisesta tuotannosta on keskitetty.

Rakennuskohde sijaitsee Madeiralla, joka on Portugalille kuuluva itsehallinnollinen saariryhmä Pohjois-Atlantilla. Madeiran kesäkauden keskilämpötila on 21–27 astetta ja päivälämpötilat voivat kohota yli 30 asteeseen. Opinnäytetyön keskeinen tarkastelun kohde on rakennuksen sisäolosuhteiden, ja erityisesti sisätilojen maksimilämpötilan hallitseminen passiivisilla jäähdytysjärjestelmillä.

Rakennuskohde on sähköverkon ulottumattomissa haja-asutusalueella, jossa kaikki rakennuksen käyttämä energia tehdään aurinkoenergian avulla. Työn tavoitteena oli suunnitella omavarainen nollaenergiarakennus, joka huomioi tehokkaasti aurinkoenergian hyödyntämisen sekä passiivisesti, että aktiivisesti. Rakennuksen koko, muoto ja rakenteet on suunniteltu mahdollistamaan aktiivisen aurinkoenergian keräämisen sekä passiivisten jäähdytysmenetelmien hyödyntämisen, kuten tehokkaan aurinkosuojauksen. Keskeisinä rakennuksen suunnitteluperiaatteina on käytetty viihtyvyyttä, yksinkertaisuutta, varmatoimisuutta sekä energiatehokkuutta.

Energiatehokas rakentaminen ja kiinteistöjen energiankulutuksen vähentäminen ovat ilmastomuutoksen kannalta merkittävässä roolissa. Rakennukset Euroopassa vastaavat kokonaisenergian kulutuksesta yli 40 %:n osuutta. Rakennusten, ja erityisesti pientalojen, ympäristövaikutuksista noin 80–90 % syntyy rakennuksen käytön aikana, joten käytön aikainen energiankulutus on rakennuksista syntyvien päästöjen suurin aiheuttaja. (Aurinkosuojauksen hyödyntäminen 2020.)

Nykyaikainen rakentaminen suosii pientaloissa ja liikekiinteistöissä suuria lasipintoja, jotka osaltaan lisäävät rakennusten jäähdytyksen tarvetta ja siten sähköenergian

kulutusta. Lisäksi nykyaikaiset rakenneratkaisut, kuten matalaenergia- ja passiivitalot, vähentävät merkittävästi lämmityksen tarvetta, mutta samalla sisätilojen yllämpeneminen lisääntyy.

Energiatehokkuusmääräysten kiristyessä kiinteistöjen jäähdytysenergian kulutuksen vähentäminen onkin noussut yhä merkittävämpään rooliin. Tehokkaalla aurinkosuojauksella rakennuksen jäähdytysenergian kulutusta voidaan vähentää jopa 89 %:lla, minkä valossa passiiviset jäähdytysmenetelmät voivat osaltaan tuoda ratkaisun ongelmaan. (Aurinkosuojauksen hyödyntäminen 2020.)

Passiivisten jäähdytysmenetelmien huomioiminen suunnittelun alkuvaiheessa mahdollistaisi alhaisemman energian kulutuksen rakennuksen käytön aikana. Usein passiivisten jäähdytysmenetelmien tarkastelu toteutuu kuitenkin vasta energiaselvityksen laadinnan yhteydessä. Passiivisten jäähdytysmenetelmien huomioiminen vasta tässä vaiheessa rakennushanketta rajaa pois merkittävän osan toimivista ja kustannustehokkaista ratkaisuista.

Opinnäytetyöni pääasiallisena tavoitteena oli tutkia ja valita suunniteltuun pientaloon sopivimmat passiiviset jäähdytysmenetelmät. Näillä menetelmillä pyritään hillitsemään aurinkoenergian tuottamaa yllämpöä sekä hallitsemaan sisäolosuhteita. Lisäksi opinnäytetyössäni käsitellään luonnollista ilmanvaihtoa erityisesti huonetilojen yllämmön poistamisen näkökulmasta.

Tutkimuksessa tarkasteltiin erilaisten passiivisten jäähdytysmenetelmien vaikutuksia, hyötyjä ja optimointia dynaamisella energiasimulointiohjelmalla *IDA Indoor Climate and Energy*. Simulointi tehtiin rakennukseen vaiheittain siten, että rakennukseen lisättiin uusia passiivisia jäähdytysratkaisuja yksi kerrallaan. Työn sisällöllisen rajaamistarpeen vuoksi työssä keskityttiin pääosin kolmeen osa-alueeseen: aurinkosuojaukseen, ikkunajärjestelmiin sekä rakennuksen ilmanvaihtoon.

Opinnäytetyössä avataan lukijalle myös muita passiivisia jäähdytysmenetelmiä sekä niiden vaikutuksia rakennuksen sisäolosuhteisiin ja jäähdytystarpeeseen. Pienemmällä jäähdytystarpeella voidaan suoraan vaikuttaa rakennuksen E-lukuun ja energiatehokkuusluokkaan. Tarkoituksena on, että opinnäytetyön tuloksia ja menetelmiä voidaan soveltaa ja hyödyntää tulevaisuudessa myös muiden pientalojen suunnittelussa.

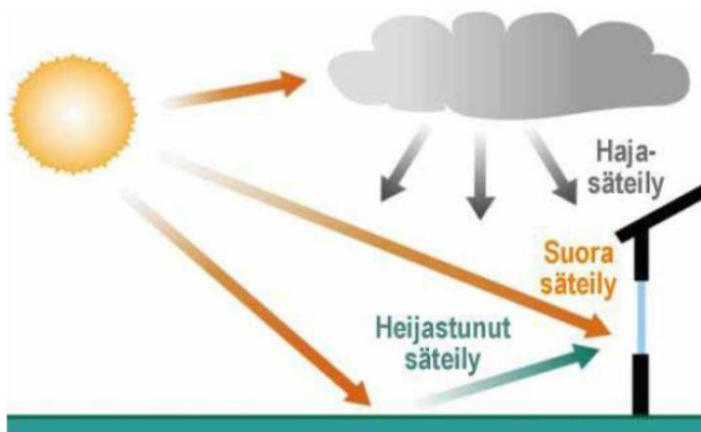
2 Auringon säteily ja lämpö

2.1 Auringon säteily

Ihmiskunnan kokonaisenergiankulutusta vastaava määrä energiaa saapuu auringosta maapallon ilmakehän yläosaan noin neljässäkymmenessäviidessä minuutissa. Ilmakehän yläosaan saapuvan kohtisuoran auringon säteilyn intensiteetti on 1366 W/m^2 . Auringon säteilyn matkatessa merenpinnan tasolle on säteilyn intensiteetti sironnasta ja sitoutumisesta johtuen pienempi, optimaalisissa olosuhteissa kuitenkin jopa 1000 W/m^2 . (Beck ym. 2011: 4.)

Auringon säteily on yksi merkittävimmistä lämmönlähteistä rakennuksissa. Rakennus altistuu suoralle säteilylle, hajasäteilylle ja heijastuneelle säteilylle, jotka kukin osaltaan lämmittävät rakennuksen rakenteita ja ikkunoita. Rakenteiden ja ikkunoiden läpi lämpöenergia siirtyy sisätiloihin säteilyn lisäksi johtumalla ja konvektiona. (Aurinkosuojaus 2018.)

Kuva 1 havainnollistaa auringosta tulevan säteilyn jakautumisen kolmeen säteilytyyppiin: suorasäteilyksi, hajasäteilyksi ja heijastuneeksi säteilyksi.



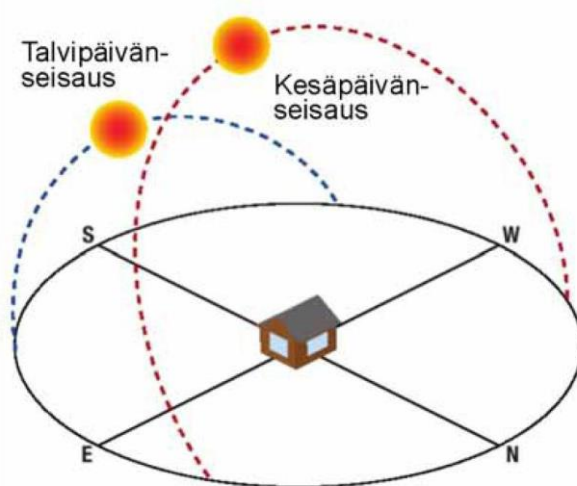
Kuva 1. Suora-, heijastunut- ja hajasäteily (Aurinkosuojaus 2018: 3.)

Ikkunarakenteista sisätiloihin pääsevään auringon säteilyn määrään vaikuttaa oleellisesti kulma, jossa auringon valo kohtaa pinnan. Säteilyn määrä vaihtelee vuodenajan ja maantieteellisen sijainnin mukaan.

2.2 Aurinkokulmat

Ikkunalasin läpäisevän auringon säteilyn määrään ja voimakkuuteen vaikuttavat aurinkokulmat. Maapallon akselin kulma $23,5^\circ$ suhteessa kiertoratasensa tasoon aiheuttaa auringon säteilyn voimakkuuden vaihtelut. Aurinkokulmat vaihtuvat vuoden jokaisen vuorokauden aikana. Rakennuksen ulkonemilla sekä aurinkosuojauksella voidaan aurinkokulmia hyödyntämällä joko estää tai päästää auringon säteitä rakennuksen rakenteisiin ja ikkunoihin. (Beck ym. 2011: 5.)

Kuvassa 2 esitetyt auringon kulkureitit vastaavat Suomen olosuhteita. Madeiralla talvipäivänseisauksen ja kesäpäivänseisauksen välinen ero on pienempi, koska Madeira sijaitsee lähempänä päiväntasaajaa. Madeiralla myös auringon säteilyn voimakkuus pysyy vahvempuna ympäri vuoden.



Kuva 2. Auringon kulkureitit talvi- ja kesäpäivänseisauksina. (Beck ym. 2011: 5.)

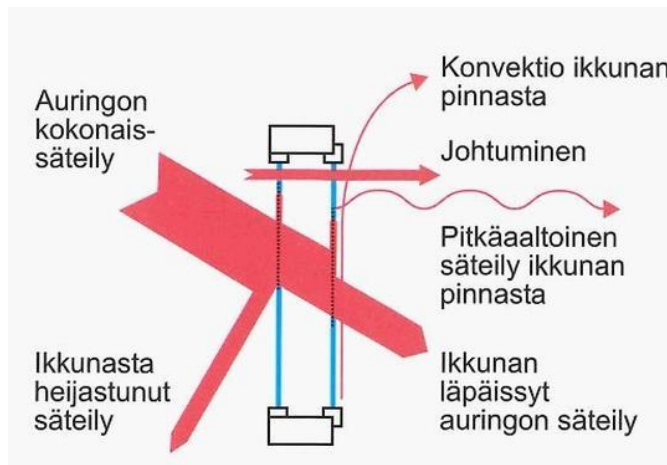
Aurinkokulmaa tulee hyödyntää siitä näkökulmasta, että auringon lämpö on sekä jäähdytyksen tarvetta kasvattavaa lämmityskuormaa, että ilmaista lämmitysenergiaa.

2.3 Auringon säteilyn käyttäytyminen

Auringonvalon saapuessa merenpinnan tasolle valon spektri on noin 53 % näkyvää valoa, 5 % ultraviolettisäteilyä ja 42 % infrapunasäteilyä. Infrapunasäteily voidaan vielä jakaa lyhyt- ja pitkäaaltoisiksi säteiksi. Pitkäaaltoinen infrapunasäteily, eli lämpösäteily, ei

läpäise ikkunalasiasia. Ainoastaan lyhytaaltainen infrapuna läpäisee tavallisen ikkunalasi-
tuksen ja pääsee näin sitoutumaan huoneen sisäpuolisiin pintoihin ja materiaaleihin. Si-
toutunut auringonsäteily nostaa huonelämpötilaa ja voi johtaa tilojen yllämpenemiseen.

Kuvassa 3 on esitetty periaate auringonsäteen käyttäytymisestä sen kohdatessa suojaa-
mattoman ikkunarakenteen. Auringon kokonaissäteilystä osa läpäisee lasipinnan, osa
heijastuu heti pois, osa puolestaan absorboituu lasirakenteisiin ja johtuu lasipinnasta si-
sätilaan siirtyäkseen konvektiona huonetilaan. (Beck ym. 2011: 5; Sandberg 2014: 429.)



Kuva 3. Ikkunan lämpövirrat auringon paistaessa ikkunaan (Sandberg 2014: 429.)

Auringon säteilyn synnyttämä lämpö siirtyy ikkunarakenteesta sisätiloihin johtumalla,
lämpösäteilynä tai konvektiona ilmavirtauksen mukana.

2.4 Lämmön siirtyminen

Lämpö on molekyylien ja atomien värähtelyliikettä. Lämmön siirtymisen kolme eri tapaa
ovat johtuminen, lämpösäteily ja konvektio. (Siikanen 2014: 40.)

Johtuminen

*Johtumisessa (konduktio) molekyylien liike-energia siirtyy molekyylistä toiseen eli tapah-
tuu lämmön virtaamista.* Lämmön siirtyminen kiinteässä tai nestemäisessä väliaineessa
tapahtuu aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan. Johtumisena siirtyvän lämpö-
tehon määrään vaikuttaa johtavan rakenteen pinta-ala, väliaineen ominaisuudet sekä

lämpötilaero. Lämmön johtumisella on suuri merkitys rakennuksen jäähdytys- ja lämmitystarpeeseen. (Siikanen 2014: 40.)

Säteily

Säteilyssä (emissio) energia siirtyy sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä valon nopeudella. Lämpösäteilyä esiintyy lyhytaaltoisena auringonsäteilynä ja pitkäaaltoisena säteilynä. Lämpösäteily ei lämmitä huonetilaa suoraan, vaan termiseen massaan absorboitunut lämpö siirtyy huonetilaan konvektion kautta. (Siikanen 2014: 40.)

Konvektio / Konvektiiviset lämpökuormat

Konvektiossa (virtaus) lämpö siirtyy kaasun tai nesteen virtauksen mukana. Konvektiota esiintyy luonnollisena ja pakotettuna. Pakotetussa konvektiossa ilman liikkeeseen vaikuttaa jokin ulkopuolinen voima kuten tuulen paine tai puhallin. Luonnollisessa konvektiossa ilman liikkeen aikaansaavat lämpötilaerojen aiheuttamat tiheyserot. Lämmennyt, tiheydeltään harvempi aine kohoaa ylöspäin.

Konvektio on kolmesta lämmönsiirtotavasta tehokkain. Lämmön hallinnan näkökulmasta huoneeseen konvektiona siirtyvää lämmön määrää tulisi pyrkiä estämään. Konvektiona huonetilaan kulkeutunut lämpö nostaa huoneen lämpötilaa ja vaikuttaa välittömästi huoneen lämpöviihtyvyyteen. (Siikanen 2014: 41; Beck ym. 2011: 21.)

2.5 Lämpöviihtyvyys

Sisätilan lämpöviihtyvyyteen vaikuttaa monta tekijää samanaikaisesti. Näitä ovat muun muassa ilman lämpötila ja lämpösäteilyn määrä, sisäilman paikallinen liike ja suhteellinen kosteus sekä ihmisen vaatetus ja kehon oma metabolia sekä aktiivisuustaso.

Lämpöviihtyvyyden näkökulmasta tarkasteltuna ihmisen fysiologiset mekanismit pyrkivät pitämään kehon lämpötilan arvossa +37 °C. Vaikka normaali kehon lämpötila on kaikilla ihmisillä sama, on kehon lämpöaistimus aina suhteellinen ja ihmiset kokevat lämpöviihtyvyyden hyvin yksilöllisesti.

Sisäolosuhteiden vaikutuksia tilan käyttäjän lämpöaistimukseen on tutkittu erilaisilla arviointimenetelmillä. Tutkimukset ja arviointimenetelmät pyrkivät huomioimaan ihmisen lämpöaistimukseen merkittävimmin vaikuttavat tekijät. (Tuomaala 2013: 2.)

Tutkimusten mukaan huonelämpötilan tulisi olla 22–24 °C, jotta lämpöviihtyvyys olisi valtaosalle ihmisistä mieluisa. Yleistä lämpöviihtyvyyttä voidaan tarkastella PPD-indeksin (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) avulla, jonka mukaan alle 6 %:n tyytymättömyys vastaa erinomaista lämpöviihtyvyyttä. Tosin sanoen, jos 94 % ihmisistä kokee sisäympäristön lämpöviihtyvyyden sopivana, on kyseessä asumisviihtyvyyden kannalta optimaaliset lämpöolosuhteet.

Teknisten ratkaisuvaihtoehtojen vaikutuksia loppukäyttäjän lämpöviihtyvyyteen tulee tarkastella aina rakennuskohtaisesti ja sellaisella menetelmällä, joka huomioi lämpöolosuhteisiin keskeisesti vaikuttavat sisäiset ja ulkoiset tekijät.

2.6 Operatiivinen lämpötila

Operatiivisella lämpötilalla tarkoitetaan kehon lämpötuntemusta, joka syntyy huonelämpötilan ja ympäröivien pintojen yhteisvaikutuksesta. Operatiivinen lämpötila lasketaan huoneilman lämpötilan ja pintojen keskimääräisten säteilylämpötilojen keskiarvona (tarkka määritelmä ja laskentamenetelmä kuvataan standardissa ISO 7730).

Lämpöolosuhteet määritellään usein ainoastaan huonelämpötilan mukaan. Koska kehon lämpöaistimus on kuitenkin aina suhteellinen, ei pelkkä huonelämpötila anna todellista kuvaa huoneen lämpöolosuhteista. Operatiivisen lämpötilan on tarkoitus ilmentää lämpöolosuhteita, joissa huomioidaan huoneilman lämpötilasta poikkeavien pintalämpötilojen vaikutus.

Rakennuksessa, jossa on suuria ikkunoita, lasituksia, kylmäsiltoja tai lämmittämättömiä ilmatiloja, voi operatiivinen lämpötila poiketa merkittävästi huoneilman lämpötilasta. Auringoisena päivänä suuret ikkunapinnat, jotka altistuvat auringon säteilylle, nostavat operatiivisen lämpötilan huomattavasti huonelämpötilaa korkeammaksi. Suuret ikkunapinnat saattavat aiheuttaa myös vetoa, jonka ihminen aistii vahvasti, vaikka sillä ei suoraan ole vaikutusta sisälämpötilaan. (Beck ym. 2011: 8.)

3 Passiiviset jäähdytysmenetelmät

Rakennuksen sisätilojen yllämpenemistä tulisi estää pääsääntöisesti passiivisia jäähdytysmenetelmiä hyödyntämällä. Rakennuksen yllämpenemiseen vaikuttavia tekijöitä on paljon, tässä osiossa käydään yleisesti läpi niistä tärkeimmät:

- rakennuksen maantieteellinen ja paikallinen sijainti
- rakennuksen sijainti tontilla ja ilmansuunta
- rakennuksen geometria ja arkkitehtoniset ratkaisut
- rakennuksen termiset massat
- rakennuksen vaipan ominaisuudet
- ulkopuoliset varjostukset ja aurinkosuojaus
- ikkunoiden ominaisuudet
- luonnollinen ilmanvaihto.

3.1 Rakennuksen maantieteellinen ja paikallinen sijainti

Maantieteellisellä ja paikallisella sijainnilla on suuri merkitys rakennuksen energiankulutukseen. Maantieteellinen sijainti määrittää ilmaston, jonka mukaan määräytyy auringonsäteilyn määrä, ja sitä kautta myös osittain jäähdytys- ja lämmitystehon tarpeet. Paikallinen sijainti pitää sisällään muuttumattomia olosuhteita, kuten maastonmuodot, korkeuserot ja ulkopuoliset varjostukset, sekä muuttuvat olosuhteet, kuten tuulen nopeus ja pienilmastolliset vaikutukset.

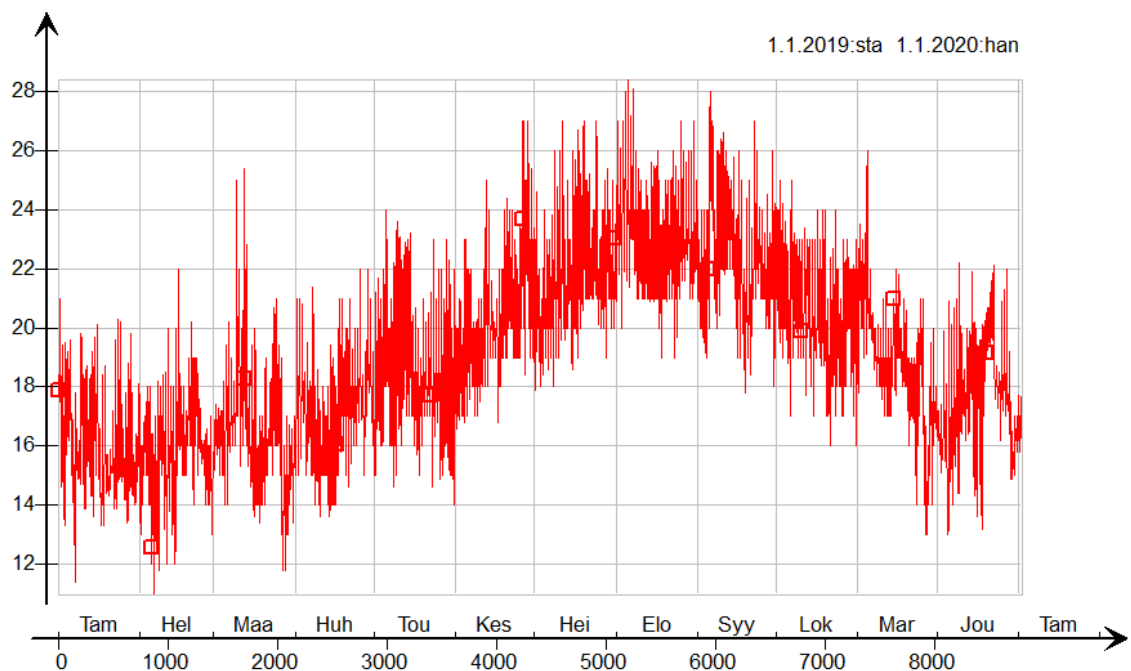
Tarkastelun alla oleva rakennus sijaitsee Funchalin läheisyydessä, joka on Portugalille kuuluvan itsehallinnollisen Madeiran saariryhmän pääkaupunki. Madeira sijaitsee Pohjois-Atlantilla 580 kilometriä Pohjois-Afrikan rannikolta luoteeseen. (Funchal 2018.)

Tarkkailun kohteena oleva rakennus sijaitsee rinnetontilla. Läntinen julkisivu on kohti Atlantin valtameren. Koska rakennus on suunnattu merta kohti ja rinteestä poispäin, ovat tuuliolosuhteet voimakkaat.

Madeira'n ilmasto

Madeira'n sijaitsee subtrooppisella ilmastovyöhykkeellä. Kesäkausi on saarella pitkä, mutta ei erityisen kuuma. Kesän ulkoilman maksimilämpötilat voivat nousta hetkellisesti 30 asteeseen, mutta pääosin kesän ulkolämpötila on 21 ja 27 asteen välissä. Madeira'n kesäkaudeksi voidaan katsoa aika toukokuun alusta lokakuun loppuun. (Madeira 2019.)

Kuvassa 4 on IDA-ICE simulointiohjelman Funchal/S.Catarina (Madeira) sijaintitietojen sisältämän säädatan kuivalämpötila vuodelta 2019. Tätä säädataa käytettiin kohteen dynaamisissa sisälämpötilojen tarkasteluissa.



Kuva 4. Funchal/S.Catarina (Madeira) vuoden 2019 kuivalämpötila (°C).

3.2 Rakennuksen sijainti tontilla ja ilmansuunta

Nollaenergiataloa suunniteltaessa tulisi ottaa huomioon mahdollisimman aikaisessa vaiheessa rakennuksen suuntaus ja sijainti auringonsäteilyn suhteen. Etelä on ilmansuunnista merkittävin, sillä auringonsäteilyn voimakkuus on sieltä käsin suurin.

Rakennuksen julkisivu, jossa sijaitsevat suuret ikkunat ja lasitukset, osoittaa länteen (270°). Läntinen julkisivu on merelle päin ja laskevan auringon aikaan auringonsäteet

pääsevät esteettömästi kohtamaan rakennuksen. Rakennuksen aurinkosuojaus keskittyy pääosin rakennuksen länsi- ja eteläisivuille, jotta sisätilat eivät pääsisi haitallisesti yllämpenemään.

Rakennus on nollaenergiatalo, joka tuottaa kaiken tarvitsemansa energian aurinkopaneelien avulla. Jotta rakennus voi tuottaa saman määrän energiaa kuin minkä se vuodessa kuluttaa, tulee rakennuksen sijaita tontilla mahdollisimman aurinkoisella paikalla. Vaikka aktiivisen aurinkoenergian tuotannon kannalta etelä on tärkein ilmansuunta, tapahtuu rakennuksen aktiivinen aurinkoenergian talteenotto rakennuksen kolmelta eri sivulta; idästä aamuauringon aikaan, etelästä keskipäivällä ja lännestä auringon laskiessa.

3.3 Rakennuksen geometria ja arkkitehtoniset ratkaisut

Suunniteltaessa nollaenergiataloa energiatehokkuuden näkökulmasta merkittävimmät arkkitehtoniset ratkaisut liittyvät rakennuksen muotoon ja kokoon. Rakennuksen kompakti koko ja muoto, joka huomioi aktiivisen aurinkoenergian tuotannon, luonnollisen ilmanvaihdon ja passiiviset jäähdytysmenetelmät, luovat edellytykset hyvälle energiatehokkuudelle.

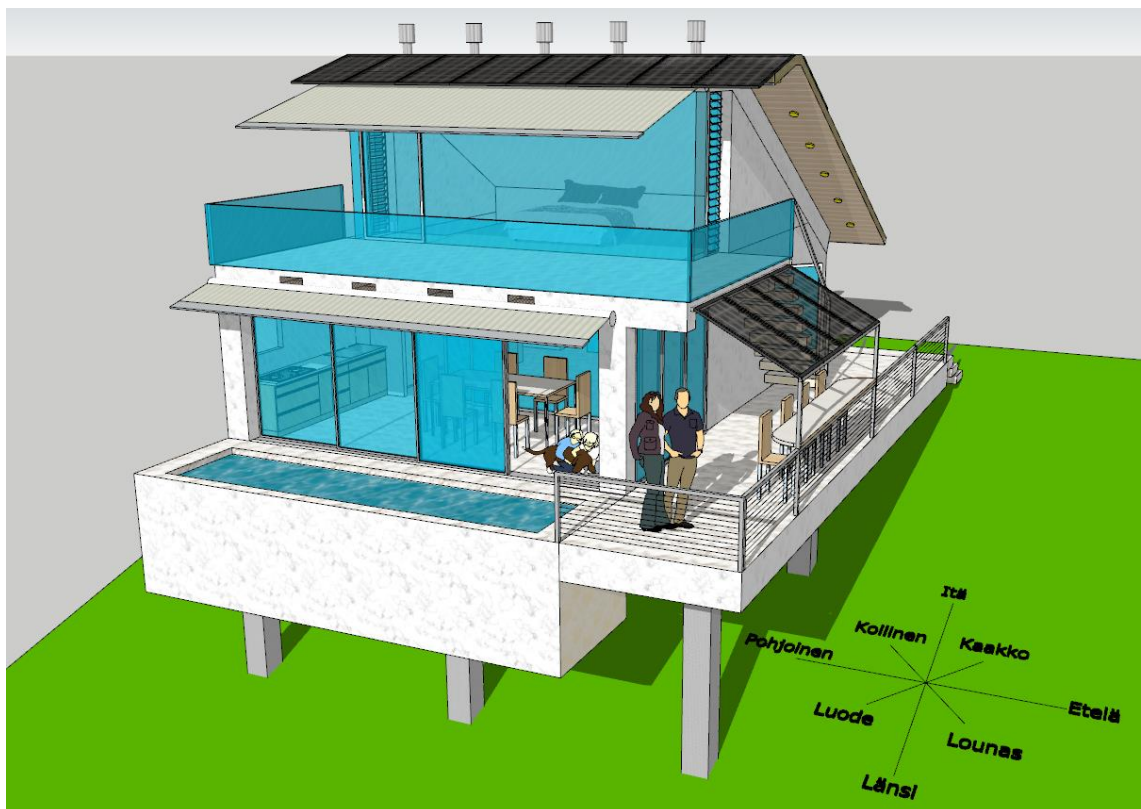
Rakennuksen suunnittelussa tulee mahdollisimman aikaisessa vaiheessa huomioida tilavaraukset, suuntaus ja sijoittelu aktiiviselle aurinkoenergian tuotannolle, niin että tuotantopotentiaali on mahdollisimman korkea. Vesikaton ja muiden katosten kulma suhteessa aurinkoon tulisi olla sellainen, että aurinkopaneelit ovat helposti asennettavissa ja säädettävissä optimaaliseen asentoon. Rakennuksen tilavarauksissa tulee huomioida aurinkoenergian tuotantoon ja -varastointiin tarvittavien laitteiden vaatima tila sekä käyttäjän turvallisuus.

Luonnollinen ilmanvaihto asettaa reunaehdoja rakennuksen muodolle ja tiloille. Sisäilmalla tulee olla riittävästi tilaa sekä huonekorkeutta nousta luonnollisen sekä pakotetun konvektion seurauksena. Tuulen vaikutukset tulee huomioida ilmanvaihtoa tehostavana ominaisuutena, ja luonnollinen tuulettaminen vaatii yhden tai useampia ikkunoita eri puolille rakennusta.

Rakennuksen muodoilla voidaan toteuttaa passiivista jäähdyttämistä hyvin tehokkaasti. Esimerkiksi räystäään pituudella ja ikkunasyvennyksillä voidaan vaikuttaa rakennuksen

sisälle pääsevän aurinkoenergian määrään ja jäähtytyksen tarpeeseen. Rakennuksen muotoa suunniteltaessa tulee huomioida vuodenaikojen mukaan vaihtuvat aurinkokulmat. Oikein suunniteltuna rakennuksen muodon avulla voidaan hyödyntää auringon ilmaista lämmitysenergiaa, tai vastaavasti estää liiallisen auringonsäteilyn pääsy rakennuksen sisälle.

Tarkastelun kohteena olevan pientalon sisätilat ovat tarkoituksenmukaisesti suunniteltu suhteellisen pieniksi. Pääasiallinen päiväsaikainen oleskelu tapahtuu ulkona terassien alueella ja parvekkeella. Rakennus on suunniteltu pääosin vapaa-ajankäyttöön, jonka yhtämittainen käyttöaika on viikosta kahteen viikkoon. Rakennuksen sisätilat vastaavat 49,5 m². Terassit ja parveke mukaan luettuina rakennuksen asuinpinta-ala on 110 m². Rakennus voidaan ajatella bungalow-tyyliseksi pientaloksi. Bungalowilla tarkoitetaan yleensä yksi- tai puolitoistakerroksista pientaloa, jossa on yksi tai useampi katettu veranta. (Bungalow 2019.)



Kuva 5. Tarkastelun kohteena oleva nollaenergiapientalo.

Rakennuksen geometriaan ja arkkitehtonisiin ratkaisuihin päätyminen vaati perehtymistä monialaiseen tietoon. Opiskelin työtä varten aiheita kuten rakennusfysiikka, rakenteelliset ominaisuudet, rakenteellinen tehokkuus sekä arkkitehtuurin yleisperiaatteita. Tämän

opinnäytetyön tarkastelun kohteena oleva rakennus on suunniteltu rakennusteknisesti nykypäivän Suomen rakennusmääräysten mukaisesti. Rakennuksen varsinaiseen muotoon ei opinnäytetyössä tehdä muutoksia. Muutoksia rakennuksen varjostaviin osiin, kuten katon räystääisiin ja ikkunoiden syvennyksiin tehdään aurinkosuojauksen näkökulmasta.

3.4 Rakennuksen termiset massat

Rakennuksen termiset massat, eli massiiviset rakenteet, jaetaan sisäisiin ja ulkoiisiin termisiin massoihin. Ulkoisia massoja ovat lämpökapasiteettia varaavat rakenteet kuten kivirakenteiset ulkoseinät ja kattorakenteet. Sisäisiksi termisiksi massoiksi lasketaan kivrakenteiset väliseinät, välipohjat kuten betonilaatat, kivilattiat sekä mahdolliset tulisijat.

Raskaat ja tiiviit, useimmiten kiviaineiset, materiaalit tasoittavat sisätilojen vuorokaudenaikaisia lämpötilan vaihteluita. Kun ulkolämpötilassa on eroa päivän ja yön välillä, voidaan rakennuksen termisiä massoja hyödyntämällä hallita sisäilman liiallista lämpenemistä. Lämpiminä jaksoina massiiviset ulkorakenteet sitovat itseensä sisältä- ja ulkopäin siirtyvää lämpöenergiaa. Rakenteiden suuren termisen kapasiteetin ansiosta merkittävä osa sisätilojen lämmöstä sitoutuu ulkorakenteisiin, minkä seurauksena lämpökuormien siirtyminen sisätiloihin hidastuu. Sisäpuolisten seinien ja lattioiden pintalämpötilat säilyvät viileämpinä suhteessa ulkoilman lämpötilaan, mikä tasaa vuorokaudenaikaisia huonelämpötilojen vaihteluita. Massiivisilla rakenteilla voidaan vaikuttaa sisäilman lämpötilaan laskevasti paljon tehokkaammin kuin kevyillä rakenteellisilla ratkaisuilla. (Kivitalojen energiatehokkuus. 2010.)

Termisten massojen hyödyntäminen vuorokaudenaikaisten lämpötilanvaihtelujen tasaisessa edellyttää ulkolämpötilojen vaihtelua. Ulkolämpötilan tulee olla yöaikaan viileämpää, kuin päiväsaikaan. Rakennuksen termisten massojen varastoimaa lämpöä poistetaan viileämpään ulkoilmaan, ja sisätiloista lämpö ohjataan ulos yötuuletusta hyödyntäen. Yön aikana sisätiloihin päästetään viileää ulkoilmaa, johon rakenteisiin sitoutunut lämpö pystyy siirtymään. Ulkoilman lämmitessä sen tiheys pienenee, se kohoaa ylöspäin ja poistuu ulos rakennuksesta. Yön aikana viilenneet massiiviset rakenteet ovat seuraavana päivänä jälleen valmiit varastoimaan lämpöä. Termisten massojen avulla myös tehostetaan luonnollista ilmanvaihtoa ja parannetaan sitä kautta sisäilman laatua.

Jotta rakennuksen termiset massat toimisivat halutulla tavalla, rakennus tulee suunnitella ja toteuttaa oikein. Ulkolämpötilojen ollessa tavoiteltuja sisälämpötiloja korkeampia, aurinkosuojauksella ja rakennuksen muodolla pyritään estämään mahdollisimman tehokkaasti auringonsäteilyn pääsy rakenteisiin. Lämmityskaudella pyritään hyödyntämään auringonsäteilyn ilmaislämmitysenergiaa mahdollisimman tehokkaasti ja tähdätään rakennuksen suunnittelussa lopputulokseen, jossa massiiviset rakenteet sitovat lämpöä itseensä mahdollisimman paljon. (Massiivisuuden hyödyntäminen 2020.)

Termisten massojen hyödyntämiseksi tulee rakennuksen suunnittelussa kiinnittää huomio useaan seikkaan samanaikaisesti: erityisesti rakennuksen aukotuksiin, vaipan tiheyteen, lämmöneristykseen ja eristyksen sijaintiin, sisätilojen järjestykseen, rakennuksen ilmansuuntaan ja sijaintiin tontilla, aurinkosuojaukseen sekä rakenteiden lämpökapasiteettiin. Myös massiivisten rakenteiden värillä on vaikutusta termisiin ominaisuuksiin ja vaaleiden pintojen suosiminen on tarkoituksenmukaista kun termisten massojen toivotaan estävän sisätilojen yllämpenemistä. Vaaleat pinnat heijastavat auringonsäteilyä tehokkaammin kuin tummat pinnat, ja sitovat näin vähemmän lämpöä itseensä. Termisten massojen huomioiminen suunnittelussa on jo hyvin tunnettua Euroopan lämpimissä osissa, ja näiden käytänteiden tulee tulla tutuiksi myös Pohjois-Euroopassa, jossa matalaenergia- ja passiivitaloja rakennetaan yhä enemmän. (Massiivisuuden hyödyntäminen 2020.)

3.5 Rakennuksen vaipan ominaisuudet

Tarkastelun kohteena oleva rakennus on ulkovaipan rakenneominaisuuksien mukaan määriteltynä teräsrunkoinen kivitalo. Kivitalot ovat oikein suunniteltuna ja toteutettuina kestäviä, pitkäikäisiä ja paloturvallisia rakennuksia, jotka myös säästävät energiaa. (Kivitalojen energiatehokkuus 2010: 6.)

Kivitalot tehdään yleensä betonista, tiilestä tai erilaisista harkoista. Betonin käyttöä puoltaa sen valmistamiseen tarvittavien raaka-aineiden hyvä saatavuus eri puolilla maailmaa. Betonin hyvin yksinkertaisen valmistusteknologian ansiosta betoni on eniten käytetty rakennusmateriaali maailmassa. Betonin rinnalla toinen hyvin yleinen rakennusmateriaali on tiili. Poltettu tiili on yksi monipuolisimmista rakennusmateriaaleista, ja sitä on käytetty rakentamisessa jo tuhansia vuosia. (Kivitalojen energiatehokkuus 2010: 6.)

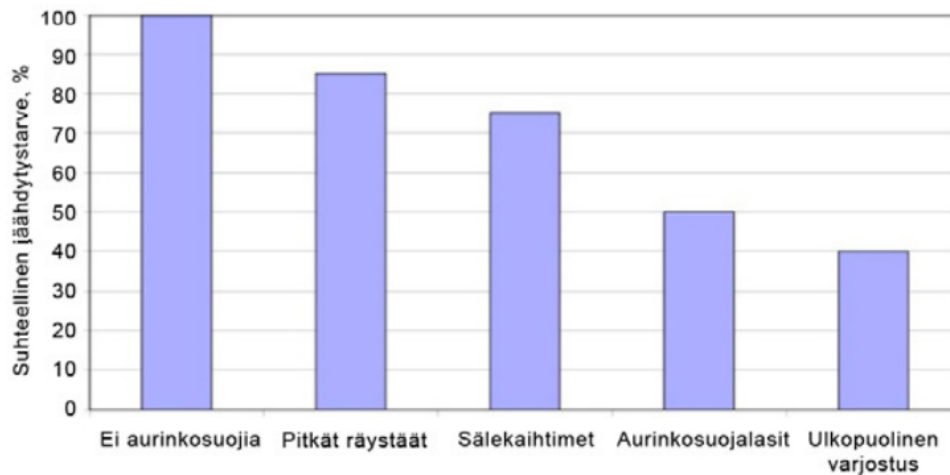
Betonilla ja tiilellä on keskimääräinen lämmönjohtokyky ja erinomaiset termiset ominaisuudet. Tämän yhdistelmän ansiosta näillä rakennusmateriaaleilla on mahdollista varastoida ja vapauttaa lämmitys- ja jäähdytysenergiaa. Lämmitys- ja jäähdytysenergian varastoinnilla voidaan vaikuttaa merkittävästi rakennuksen jäähdytys- ja lämmitystarpeeseen ja siten suoraan rakennuksen energiatehokkuuteen. Kivirakenteenteet myös vähentävät vuorokaudenaikaisten sisälämpötilojen vaihteluita ja ovat materiaaleina kestäviä sekä vähän huoltoa vaativia. (Kivitalojen energiatehokkuus 2010: 6–7.)

Tarkastelussa olevan rakennuksen ulkovaipan rakenneratkaisuiksi on valittu rakenteita, jotka ovat hyvin yleisiä lämpimässä ilmastossa. Kohteeseen pyrittiin määrittämään tavanomaisia ja yksinkertaisia rakenneratkaisuja, joissa materiaalivalintojen pääpaino on energiatehokkuudessa. Käytettäessä yleisesti tunnettuja menetelmiä ja materiaaleja, voidaan ainakin osittain vähentää työvirheiden riskiä rakennusvaiheessa sekä ylittää todennäköisesti kustannustehokkaampaan lopputulokseen.

3.6 Ulkopuoliset varjostukset ja aurinkosuojaus

Rakennuksen yllämpenemistä voidaan tehokkaasti estää ulkopuolisilla varjostuksilla ja aurinkosuojauksella. Rakennuksen geometrialla ja arkkitehtonisilla ratkaisuilla voidaan luoda kiinteitä varjostavia rakenteita ja vähentää näin jäähdytysentaruutta. Ulkopuoliossa varjostuksessa voidaan hyödyntää myös maaston muotoja ja kasvillisuutta, kuten puita, pensaita tai istutettuja viherseiniä. Luonnonmukaisia varjostusmuotoja hyödynnettäessä tulee kuitenkin huomioida puiden ja pensaiden kasvaminen. Istutettu puu kasvaa vuosikymmeniä ennen kuin sitä voi hyödyntää tehokkaana varjostuksena. Kasvaessaan puut voivat myös alkaa haitallisesti varjostaa aurinkopaneeleja huonontaa sähköenergian tuotantoa. Puut ja pensaat voivat kaatua kovassa tuulessa, tai niitä voidaan joutua kaatamaan kaatumisriskin uhatessa. Myös alueilla, joissa esiintyy säännöllisesti metsäpaloja, tulisi kasvillisuus pitää kaukana rakennuksista, mikä osaltaan hankaloittaa niiden hyödyntämistä aurinkosuojauksessa.

Kuvassa 6 on esitetty yleisesti käytettyjen passiivisten jäähdytysmuotojen tehokkuutta suhteessa rakennuksen viilennystarpeeseen. Kuvasta on selvästi havaittavissa, että tehokkain tapa ehkäistä yllämpenemistä on ulkopuolisten varjostusten hyödyntäminen. (Sepponen ym. 2013: 19.)



Kuva 6. Passiivisten ikkunoiden varjostamisen keinojen vaikutus viilennystarpeeseen. (Sepponen ym. 2013: 19.)

Ulkopuolista varjostusta voidaan toteuttaa myös useilla erilaisilla auringonsuojaratkaisuilla. Aurinkosuojausta käsitellään laajemmin luvussa 4.

3.7 Ikkunoiden ominaisuudet

Ikkunoiden tarkoitus on päästää luonnonvaloa rakennuksen sisälle ja samalla suojata sisätiloja ulkopuolisilta sääilmiöiltä. Ikkunat vähentävät sähkövalaistuksen tarvetta ja lisäävät sisätilojen viihtyvyyttä. Ikkunapinta-alan määrällä on kuitenkin suora vaikutus sisäilman lämpötiloihin, sillä parhaillakin ikkunaratkaisuilla on selvästi heikompi lämmöneristävyys tyypillisiin umpinaisiin seinärakenteisiin verrattuna.

Tavallisesti asuinrakennuksen ikkunapinta-alaksi sopii noin 15–20 % kerrosalasta. Tarkastelun kohteena olevassa rakennuksessa ikkunapinta-alaa ulkovaipan pinta-alasta on 22 %. Erityisesti pientaloissa jäähdytyksen tarve nousee merkittävästi, jos rakennuksessa on paljon tätä enemmän auringon säteilyltä suojaamattomia ikkunoita. Ikkunapinta-alaa rajoittamalla voidaan kontrolloida sisäolosuhteita ja estää tilojen yllämpeneminen, mutta aukkojen pienentäminen johtaa nopeasti valottomiin tiloihin ja sähkövalaistustarpeen lisääntymiseen. Lisäksi luonnonvalolla on tutkitusti tärkeä rooli ihmisen hyvinvoinnille ja terveydelle. Erityisesti nollaenergiatalon ikkuna-aukkojen suunnittelussa on hyvä löytää sopiva tasapaino energiatehokkuuden ja luonnonvalon määrän välillä. (Sepponen ym. 2013: 19.)

Ikkunoita käsitellään laajemmin luvussa 5 *ikkunajärjestelmät*.

3.8 Luonnollinen ilmanvaihto

Luonnollisella ilmanvaihdolla tarkoitetaan rakennuksen sisäilman vaihtumista luonnollisten fysikaalisten voimien avulla. Ilman liikuttamiseen ei tarvita silloin erillisiä sähkölaitteita, vaan ilman liikkeen aiheuttavat pääsoin konvektio, savupiippuvaikutus ja tuuli.

Yleisesti luonnollisella ilmanvaihdolla tarkoitetaan painovoimaista ilmanvaihtoa, jossa ilman liike perustuu kylmän ja lämpimän ilman välisten tiheuserojen synnyttämään paineeroon. Paine-eron synnyttämä liike vie huonetilasta poistettavan ilman ulos rakennuksesta. (Valkeapää 2019: 2.)

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän toiminta perustuu pääasiassa ulko- ja sisätilan lämpötilaeroon sekä tuulen aiheuttamaan paine-eroon. Ilmavirtaa aiheuttavaa paineeroa ei synny, jos sisä- ja ulkolämpötilan välillä ei ole lämpötilaeroa ja ulkona on tuuletonta. (Painovoimaisen ilmanvaihdon ohjeluonnos 2018: 1 ja 4.)

Tässä opinnäytetyössä luonnollisella ilmanvaihdolla tarkoitetaan luonnollisen konvektion, savupiippuvaikutuksen ja tuulen aiheuttamien painesuhteiden yhteisvaikutuksia. Ilmanvaihtoa tehostetaan pakotetun konvektion avulla sekä hyödyntämällä sähkökäyttöistä kattotuuletinta ja mekaanisia poistoilman vedonparantajia. Ilmanvaihto on kuitenkin suunniteltu toimivaksi ilman sähköisen kattotuulettimen avustusta. Kohteessa kattotuuletin on käsikäyttöinen, jolloin tilan käyttäjä voi tarpeen mukaan tehostaa ilman liikettä ja vaihtumista.

Luonnollisen ilmanvaihdon etuina on sen riippumattomuus sähköstä tai muista energialähteistä, äänettömyys, yksinkertaisuus sekä helppo huollettavuus. Luonnollinen ilmanvaihto on siten erittäin kustannustehokas ratkaisu. Se on alkuinvestoinneiltaan edullinen järjestelmä eikä käytön aikana kuluja synny sähköä käyttäen tai laitehuolloista.

Varjopuolia luonnollisessa ilmanvaihdossa on järjestelmän riippuvuus ulkoilmaolosuhteista, järjestelmän hankala säädettävyys, riittävän suodatuksen toteuttaminen sekä poistoilman lämmön talteenoton puuttuminen. Luonnollisen ilmanvaihdon rakennuksessa asukkaan tulee myös ymmärtää ilmanvaihdon peruseriaatteita käyttääkseen järjestelmää oikein. Järjestelmää tulee säätää vaihtuvien ulkoilmaolosuhteiden mukaan ja tuulettaminen ikkunoita avaamalla on tarpeellista. Luonnolliseen ilmanvaihtoon liittyy

olennaisena osana myös yötuuletus, jonka tarkoitus ja toimintaperiaate tulee tilan käyttäjän ymmärtää.

Luonnollisen ilmanvaihdon teoriaa ja rakennuksen ilmanvaihtoa käsitellään laajemmin luvussa 6 *rakennuksen ilmanvaihto*.

4 Aurinkosuojaus

Aurinkosuojuksella tarkoitetaan eri menetelmiä, joilla voidaan hallita auringon säteilyn kohdistumista rakennukseen. Toimivalla aurinkosuojuksella voidaan estää sisätilojen yllämpenemistä ja vähentää sitä kautta jäähdytyksen tarvetta. Tätä kutsutaan myös passiiviseksi jäähdyttämiseksi. Aurinkosuojuksen avulla voidaan myös lämmityskaudella vähentää rakennuksen lämmitystarvetta passiivisesti, esimerkiksi sallimalla auringonsäteilyn osuminen rakennuksen ikkunoihin ja massiivisiin ulkorakenteisiin. Aurinkosuojuksella voidaan parantaa rakennuksen sisäolosuhteita ja viihtyvyyttä sekä vähentää haitallista häikäisyä. (Beck ym. 2011: 1 ja 39.)

Oikein suunniteltu aurinkosuojausjärjestelmä takaa riittävän luonnonvalon saannin, estää tilojen yllämpenemistä ja huomioi aurinkoenergian hyödyntämisen vaihtuvien vuodenaikojen mukaisesti. Toimivalla aurinkosuojuksella voidaan vaikuttaa sisäilmalaatuun sekä taloteknisten järjestelmien mitoitukseen ja toimivuuteen.

Aurinkosuojaus käsitteenä pitää sisällään ratkaisut varjostavista maaston muodoista ja puista lähtien täysin automatisoituihin aurinkosuojausjärjestelmiin. Aurinkosuojausjärjestelmät voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: ulkopuolisiin-, sisäpuolisiin-, ja integroituihin järjestelmiin. Tässä kappaleessa keskitytään erityisesti rakennuksen ulkopuolisiin aurinkosuojausmenetelmiin. (Beck ym. 2011: 1 ja 39.)

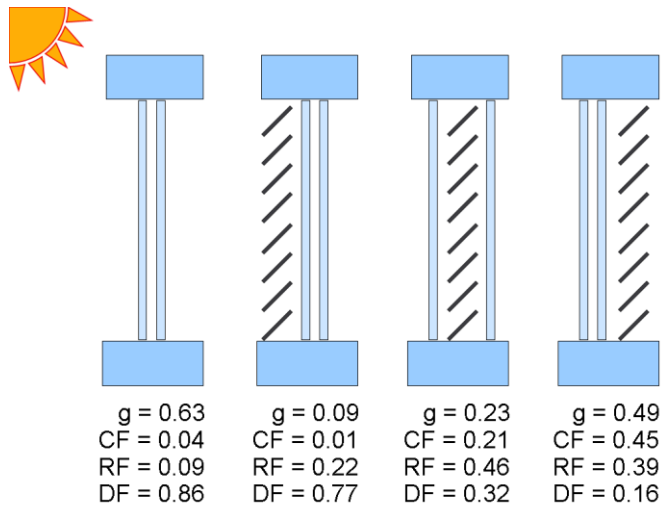
4.1 Aurinkosuojuksen sijainnin merkitys

Aurinkosuojuksen sijainnilla on suuri merkitys. Aurinkosuojaus estää sitä tehokkaammin auringonsäteilyn ikkunan läpäisyn, mitä ulompana se on ikkunaan nähden.

Aurinkosuojuksen ollessa ikkunan sisäpuolella, osa auringonsäteilystä on jo päässyt rakennuksen sisäpuolelle edistäen sisäilman yllämpenemisen riskiä.

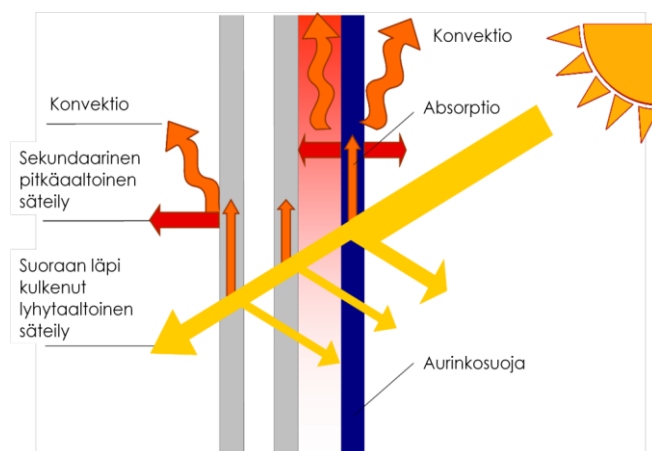
Kuvassa 7 on esitetty aurinkosuojuksen (sälekaihtimen) sijoituspaikan merkitys energiavirtojen siirtymisen kannalta ikkunalasituksen läpi. Kuvassa maininta "CF" tarkoittaa konvektiokerrointa. Konvektiokerroin on luku välillä 0 ja 1 ja se ilmaisee energian määrää, joka siirtyy huonetilaan konvektiona. Kuvassa maininta "RF" vastaa säteilyenergian osuutta, ja "DF" suoran säteilyn osuutta. Ulkopuolisella aurinkosuojuksella saavutetaan

parempi g-arvo, kuin sisäpuolista suojausta käytettäessä. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että konvektiona sisätiloihin siirtyvän lämmön määrän kannalta on suuri merkitys sillä, sijaitseeko aurinkosuojaus ikkunan ulko- vai sisäpuolella. (Beck ym. 2011: 21.)



Kuva 7. Säteily- ja konvektiiviset lämpövirrat (Beck ym. 2011: 21.)

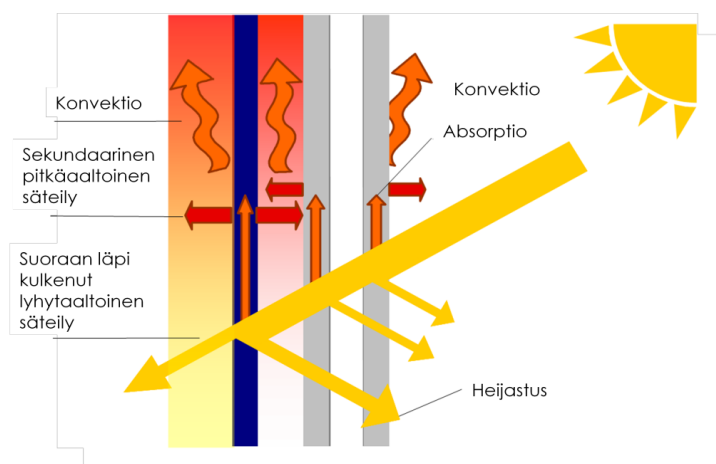
Aiemmin luvussa 2.3 *Auringonvalon spektri ja auringonsäteilyn käyttäytymien* esitettiin periaate, jota noudattamalla auringonsäde käyttäytyy kohdatessaan suojaamattoman ikkunapinnan. Kuvassa 8 on vastaavasti esitetty aurinkoenergian lämpövirtojen virtaaminen ulkopuolisen suojauksen ja kaksilaisen ikkunan muodostamien kerrosten läpi. Keltainen nuoli kuvastaa auringon lyhytaaltoista infrapunasäteilyä. Oranssit suorat nuolet kuvaavat lasin rakenteeseen absorboitunutta säteilyä, punaiset nuolet pitkäaaltoista lämpösäteilyä ja oranssit aaltomaiset nuolet kuvaavat konvektiona siirtyvää lämpöä. (Beck ym. 2011: 19.)



Kuva 8. Ulkopuolisen aurinkosuojaimen energiavirrat (Beck ym. 2011: 19.)

Aurinkosuojauksen ollessa ikkunalasituksen ulkopuolella, aurinkosuojaan absorboitunut lyhytaaltainen auringonsäteily ei suoraan siirry konvektiona ja pitkäaaltoisena säteilynä sisätiloihin. Näin auringon kokonaissäteilystä sisätiloihin siirtyvän lämmön osuus on huomattavasti pienempi, mikä osaltaan vähentää sisätilojen jäähdyttämisen tarvetta.

Kuvassa 9 on havainnollistettu tilanne, jossa aiemman kuvan (8) mukaiseen ikkunarakenteeseen aurinkosuojaus on asennettu ikkunalasituksen sisäpuolelle. Tässä tapauksessa huomattavasti suurempi osa auringon lyhytaaltoisesta infrapunasäteilystä läpäisee ikkunalasituksen ja aurinkosuojasta säteilevä lämpö siirtyy konvektiona suoraan huonetilaan. Pitkäaaltoinen infrapunasäteily ei enää läpäise ikkunaa, minkä seurauksena sisäilman lämpötila nousee. (Beck ym. 2011: 20.)



Kuva 9. Sisäpuolisen aurinkosuojaimen energiavirrat (Beck ym. 2011: 20.)

4.2 Ikkunoiden ulko- ja sisäpuoliset aurinkosuojausmenetelmät

Rakennuksen ikkunoiden aurinkosuojausmenetelmät jaetaan tyypillisesti ulkopuolisiin ja sisäpuolisiin varjostimiin. Ulkopuolisilla varjostimilla voidaan vaikuttaa lämmönsäätelyyn ja sisäpuolisilla varjostimilla valaistuksen säätöön. Koska ulkopuoliset aurinkosuojausmenetelmät ovat huomattavasti tehokkaampi tapa rajoittaa auringonsäteilyn pääsyä ikkunoiden läpi huonetilaan, ratkaisut tarkastelun kohteena olevaan rakennukseen on pääosin pyritty toteuttamaan ulkopuolisia varjostimia hyödyntäen.

Yleisimpiin ikkunoiden ulkopuolisiin aurinkosuojausmenetelmiin pientaloissa kuuluvat erilliset kiinteät tai liukuvat kaihtimet sekä säleiköt, jotka lasketaan ikkunan päälle.

Yleisesti käytössä ovat myös erilaiset markiisit ja pergolat, jotka avautuvat viistosti ikkunan suuntaan varjostaen osittain myös alle jäävän tilan. (Beck ym. 2011: 40.)

4.3 Aurinkosuojan valinta

Aurinkosuojan valinta tulisi ottaa mukaan rakennussuunnitteluun mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Usein aurinkosuojausta ryhdytään suunnittelemaan vasta kun rakennuksen geometrian, rakenteiden ja arkkitehtonisten ratkaisujen suunnittelu on edennyt pitkälle. Aurinkosuojan valintaan vaikuttaa monta tekijää, ja mitä myöhemässä vaiheessa rakennuksen suunnittelua aurinkosuoja huomioidaan, sitä enemmän on muuttujia, joihin ei voi enää helposti vaikuttaa.

Alueen ilmasto ja rakennuksen suunta tontilla määrittelevät lähtökohdat sille, kuinka paljon aurinkosuojausta tarvitaan, ja miten se tulisi sijoittaa. Soveltuvan aurinkosuojauksen valintaan vaikuttavat myös vallitsevat tuuliolot, rakennuksen korkeus, rakennuksen ominaisuudet, alueelliset tottumukset sekä rakenteiden yksityiskohdat. Aurinkosuojauksen ulkonäkö, käytön yksinkertaisuus, helppo huollettavuus, käyttäjän odotukset sekä käyttötottumukset ovat myös tärkeitä valinnan kriteerejä. (Beck ym. 2011: 43.)

Oleellinen valintaan vaikuttava kriteeri on se, sijoitetaanko aurinkosuoja rakennuksen ulko- vai sisäpuolelle. Kuten luvussa *4.1 Aurinkosuojan sijainnin merkitys* todettiin, rakennuksen passiivisen jäähdyttämisen kannalta tehokkain menetelmä on ulkopuolinen suojaus. Tehokkain menetelmä ei kuitenkaan aina tarkoita soveltuvinta menetelmää. Ulkopuolista suojausta suunniteltaessa ja sen soveltuvuutta tarkasteltaessa, tulee kiinnittää huomiota vallitseviin tuuliolosuhteisiin, helppoon käyttöön ja huollettavuuteen sekä asennusmahdollisuuksiin.

Alueilla, joilla esiintyy kovia tuulia ja myrskyjä, rajoittavat olosuhteet ulkopuolisten aurinkosuojausmenetelmien hyödyntämistä. Toisaalta oikein suunniteltuna ulkopuolinen suojaus voi suojata voimakkaiden tuulten ja ankarien sääilmiöiden aiheuttamilta vahingoilta. Esimerkiksi alueilla, joilla esiintyy säännöllisesti hurrikaaneja tai taifuuneja, voi ikkunan ulkosäleikkö estää puiden oksien tai muiden tuulen mukana lentävien kappaleiden iskeytymisen lasipintaan. Kuva 10 on Karibian Guadeloupeelta; rakennussuunnittelussa on aurinkosuojauksen lisäksi varauduttu tehokkaasti hurrikaanien varalta.



Kuva 10. Pientalon ulkopuolinen aurinkosuojaus.

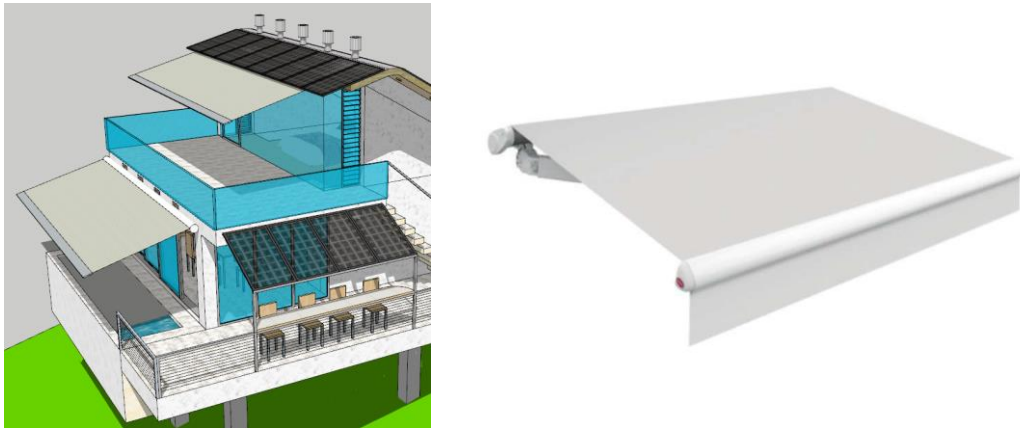
Ulkopuolista aurinkosuojausta tulee säännöllisesti huoltaa ja puhdistaa. Esimerkiksi ikkunalasituksen ulkopuolelle asennettava kiinteä säleikkö kerää nopeasti lehtiä ja muuta tuulen mukana kulkeutuvaa materiaalia. Säleikkö tulisi olla helposti huollettavissa, jotta sisätilojen visuaalinen viihtyvyys ei kärsisi. Yleisesti ulkopuolisten aurinkosuojausratkaisujen haittapuolena onkin niiden vaikutus visuaaliseen viihtyvyyteen. Ulkopuolinen säleikkö tai markiisi huonontaa näkyvyyttä ja vähentää vaikutelmaa luonnon läheisyydestä tai integroitumisesta osaksi sisätilojen tunnelmaa.

4.4 Rakennukseen valitut liikuteltavat aurinkosuojaukset

Tarkastelun kohteena olevaan rakennukseen on valittu kiinteiden varjostusten kuten leveiden räystäiden ja katosten lisäksi liikuteltavia ulkopuolisia ja sisäpuolisia aurinkosuoja. Sisäpuoliset aurinkosuojaat ovat pääosin tarkoitettu valaistuksen säätöön.

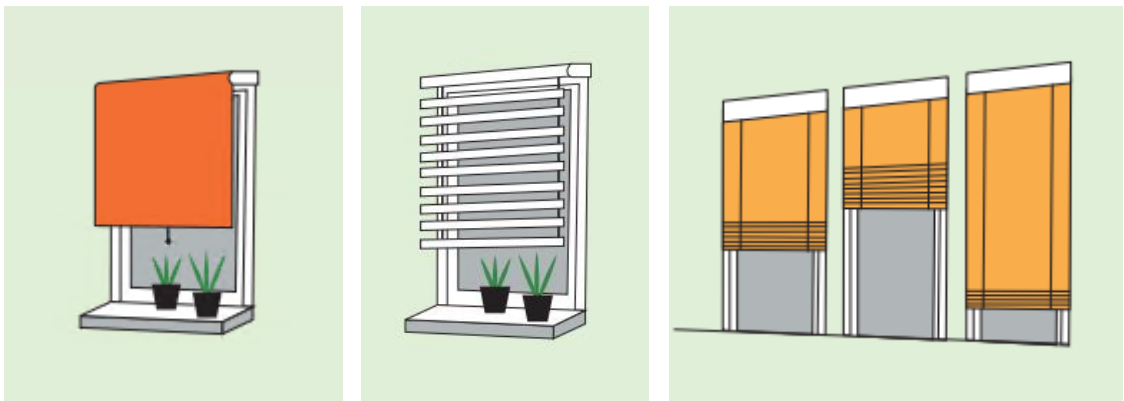
Ulkopuoliseksi aurinkosuojausksi länteen suuntautuville yläkerran suurille ikkunoille ja terrassille on valittu nivelmarkiisi. Nivelmarkiisi mahdollistaa markiisin alapuolelle esteettömän kulkumahdollisuuden. Markiisi suojaa tehokkaasti ikkunoihin kohdistuvalta auringon säteilyltä, ja suojaa myös käyttäjää auringonpaisteelta sekä kevyiltä sadekuuroilta. Markiisien käyttömekanismi toimii yleensä joko veivillä, tai motorisoituna joko seinäkytkimellä tai kaukosäätimellä. Tutkimuksen kohteena olevaan rakennukseen valittu markiisi on motorisoitu, jotta siihen voidaan liittää ohjausautomaatiikkaa. Kuvassa 11 on

havainnollistettu miten nivelmarkiisit sijoittuvat rakennuksen julkisivuun. Kuvassa 12 on esitetty tyypillinen nivelmarkiisi.



Kuva 11. Rakennuksen markiisit. Kuva 12. Artic Dim 300 nivelmarkiisi (Ulkopuoliset aurinkosuojat 2017: 1.)

Tarkastelun kohteena olevan rakennuksen ikkunoihin soveltuu sisäpuolisiksi liikuteltaviksi aurinkosuojiksi joko rullakaihtimet, sälekaihtimet tai laskoskaihtimet (Kuvat 13,14, 15). Sisäpuoliset aurinkosuojat toimivat valaistusta säätävän ominaisuuden ohella myös tehokkaina näkö- ja häikäisysojina.



Kuvat 13, 14 ja 15. Kankainen rullakaihdin, sälekaihdin ja laskoskaihdin (Aurinkosuojaus 2018: 9.)

4.5 Aurinkosuojauksen ohjaus

Oikein toteutetulla aurinkosuojauksen ohjauksella voidaan vähentää merkittävästi sisätilojen yllämpenemistä ja vähentää tai välttää kokonaan koneellisen jäähdytyksen

tarpeelta. Aurinkosuojaus on tehokkaimmillaan, kun se ohjautuu automaattisesti silloinkin, kun rakennuksen käyttäjä ei ole paikalla. Automatisoitu aurinkosuojausjärjestelmä huomioi ulko-olosuhteet ja vuorokauden ajan, ja säätyy automaattisesti vaihtuvien olosuhteiden mukaan. Aurinkosuojausjärjestelmät perustuvat yleensä tuuli-, aurinko- ja ajastinautomatiikkaan. (Ulkopuoliset aurinkosuojat 2017: 4.)

Aurinkosuojausjärjestelmää voidaan ohjata ja tehostaa erilaisilla antureilla, jotka seuraavat vaihtuvia ulko-olosuhteita. Yleisimpiä antureita ovat aurinko-, tuuli-, lämpötila- ja sadeanturit. Antureilla voidaan myös kumota aurinkosuojausjärjestelmää ulkoisilta vaurioilta. Tuuli- ja sadeantureilla voidaan määritellä aurinkosuojukselle soveltuva tuulen tai sateen enimmäismäärä, jonka ylittyessä aurinkosuoja automaattisesti vetäytyy takaisin. Antureiden rinnalla voi toimia myös yksinkertainen ajastin-toiminto, joka avaa ja sulkee aurinkosuojan tiettyyn vuorokaudenaikaan. (Beck ym. 2011: 44–46.)

Tehokkain tapa rakennuksen ulkopuolisten aurinkosuojien ohjauksessa olisi vakio-ohjaus. Tarkastelun kohteena olevassa rakennuksessa markiisit ovat myös käsihjattuja mahdollistaen käyttäjälle oma-aloitteisen säädön. Tämän seurauksena aurinkosuojausjärjestelmän optimaalista, vaihtuvien olosuhteiden mukaista säätöä ei voida pelkän markiisin avulla taata: käyttäjä voi avata aurinkosuojan niin, että lasipinnat altistuvat suoralle auringonsäteilylle, esimerkiksi silloin kun halutaan oleskella parvekkeella suorassa auringon paisteessa. Käyttäjän toimintaa ei voi ennakoita, joten ulkopuolisen aurinkosuojausjärjestelmän lisäksi tulee ikkunajärjestelmien auringonsäteilyn läpäisyä rajoittaa.

5 Ikkunajärjestelmät

Valoa läpäisevät rakenteet ja ikkunajärjestelmät ovat usein rakennuksen vaipan heikoimmin lämpöä eristävä rakenne. Ikkunoita tarvitaan tuomaan päivänvaloa sisätiloihin, jotta sisävalaistusolosuhteet ovat miellyttävät ja päiväsaikaan valaistukseen kuluva energia vähäisempää. Ikkunajärjestelmille olennainen tehtävä on myös suojata sisätiloja ja asukasta ulkopuolisilta sääoloilta. Ikkunoilla tulee olla tiettyjä perusominaisuuksia kuten tuulenpaineen kestävyys, sateenpitävyys, ilmanpitävyys, ääneneristävyys, lämmöneristävyys, säteilyominaisuudet sekä ominaisuus läpäistä näkyvää valoa.

Päivänvalon määrä sisätiloissa on täysin riippuvainen rakennuksen vaipan ikkunapinta-alasta. Erityisesti nollaenergiatalon suunnittelun alkuvaiheessa tulee tarkastella ja ennakoita lasipintojen suuruuksien vaikutuksia rakennuksen energiatehokkuuteen. Kun ikkunapinta-alat ovat selvillä, huomio tulee kiinnittää lasirakenteiden auringonsäteilyn läpäisevyyteen. Auringonsäteilyn läpäisyä on hyvä rajoittaa, huolehtimalla kuitenkin samalla riittävän luonnonvalon pääsystä sisätiloihin. Näiden kahden tavoitteen huomioiminen on olennaisessa osassa ikkunajärjestelmien vertailuissa.

Ikkunajärjestelmien ja lasitusten teknisten ominaisuuksien vertailuissa kolme tärkeintä fysikaalista suuretta ovat lämmönläpäisykerroin (U-arvo), valonläpäisykerroin (T_v) ja auringon energian kokonaisläpäisykerroin (g-arvo). (Beck ym. 2011: 16.)

Lämmönläpäisykerroin eli U-arvo (W/m^2K) kuvaa ikkunan lämmöneristyskykyä, ja *kertoo, kuinka monta wattia lämpötehoa siirtyy rakenteen läpi yhtä neliometriä kohden, kun rakenteen yli on yhden lämpötila-asteen lämpötilaero.* (Lämmöneristys 2016). Mitä pienempi ikkunan U-arvo on, sitä paremmin se eristää lämpöä.

Valonläpäisykerroin " T_v " ilmaisee ikkunan läpäisevän näkyvän valon osuuden suuruuden. T_v ilmoitetaan prosentteina tai lukuarvona välillä 0...1. Esimerkiksi luku 0,7 kertoo, että 70 % näkyvästä valosta läpäisee ikkunan. (Beck ym. 2011: 16.)

Auringon energiasäteilyn kokonaisläpäisykerroin, g-arvo, kertoo prosentteina tai lukuarvona välillä 0...1, kuinka monta prosenttia auringonsäteilystä pääsee ikkunalasin läpi huonetilaan lämpönä. Arvo 1 (100 %) tarkoittaa, ettei ikkuna rajoita säteilyenergiaa lainkaan ja arvo 0 (0 %), että säteilyenergiaa ei kulje lasin läpi lainkaan. Pieni g-arvo kertoo lasin hyvästä aurinkosuojauksesta. (Aurinkosuojaus 2018: 3.)

Viimeisten vuosikymmenten aikana ikkunajärjestelmien teknisten ominaisuuksien saralla on tehty merkittäviä innovaatioita. Suurimpia muutoksia ovat olleet monilasi-ikkunajärjestelmien kehittyminen ja niissä eri kaasujen käyttö umpitilan täyteaineena. Viimeisimpinä kuluttajien käyttöön ovat tulleet erilaiset matalaemissiiviset- ja selektiivilasit. Näiden innovaatioiden seurauksena ikkunalasitusten fysikaaliset suureet ovat parantuneet merkittävästi. (Beck ym. 2011: 16.)

Rakennuksen passiivista jäähdytystä suunniteltaessa ikkunoiden fysikaalisista suureista g-arvolla on U-arvoa suurempi merkitys. Tärkein arvo käyttäjälle ikkunalasien ominaisuuksista on kuitenkin valonläpäisykerroin ja kokemus siitä, kuinka paljon sisälle pääsee näkyvää luonnonvaloa. Pääsääntöisesti lasin g-arvon pienentyessä laskee myös näkyvän päivänvalon läpäisyn määrä. (Aurinkosuojaus 2018: 6.)

5.1 Päivänvalo

Päivänvalo on aaltoliikkeenä etenevä, auringosta lähtöisin olevan sähkömagneettisen säteilyn osa, jonka ihminen pystyy havaitsemaan. Päivänvalolla tarkoitetaan luonnonvaloa, joka koostuu suorasta auringonvalosta sekä hajavalosta, jolla ei ole vallitsevaa suuntaa, vaan se koostuu esimerkiksi taivaalta sironneesta valosta. Päivänvalo voi olla myös epäsuoraa, kuten sisäseinistä heijastuvan valon tapauksessa.

Päivänvalo on tärkeä ihmisen hyvinvoinnin ja terveyden kannalta ja luonnonvalolla on ratkaiseva rooli siinä, miten ihminen kokee ja havainnoi ympäröivää maailmaa. Näin ollen rakennuksen suunnitteluvaiheessa tulisi sisätilojen päivänvalo-olosuhteita tarkastella aina energiatehokkuuslaskelmien rinnalla. Sisätilojen luonnonvalon määrä on siksi tärkeä tekijä ikkuna-aukotusta suunniteltaessa.

Niukasti aukotetulla rakennuksella saavutetaan parempi energiatehokkuus, mutta päivänvalo-olosuhteet kärsivät ja sähkövalon tarve kasvaa. Nollaenergiataloa suunniteltaessa ei tule laiminlyödä päivänvalon fysiologisia ja psykologisia vaikutuksia rakennuksen käyttäjään. Aurinkoiseen ilmansuuntaan suuntautuvat ikkunat lisäävät aurinkosuojauksen ja jäähdytyksen tarvetta, mutta vaikuttavat merkittävästi asumisviihtyvyyteen. Päivänvalo on myös taloudellinen valaistuskeino silloin, kun sitä on tarjolla. (Beck ym. 2011: 13.)

5.2 Aurinkosuojalasit

Luvussa 3.6 *Ulkopuoliset varjostukset ja aurinkosuojausmenetelmät* todettiin, että ulkopuolisen aurinkosuojauksen jälkeen tehokkain tapa suojautua lämpösäteilyä vastaan ovat aurinkosuojalasit.

Aurinkosuojalasit toimivat tehokkaimmin ikkunajärjestelmän uloimpana lasina. Aurinkosuojalasin tarkoitus on parantaa ikkunalasin g-arvoa. Pienemmällä g-arvolla varustettu lasi päästää vähemmän auringonsäteilyä sisätiloihin. Hyvälaatuinen aurinkosuojalasi päästää näkyvän valon läpi miltei yhtä hyvin kuin tavallinenkin lasirakenne, mutta 2/3 auringon säteilyenergiasta jää ikkunan ulkopuolelle. Aurinkosuojalasin tehtävä on vähentää jäähdytyksen tarvetta sekä estää haitallista häikäisyä. (Aurinkosuojaus 2018: 6.)

Nykyaikana on valittavana kattavasti erilaisia ikkunajärjestelmiä ja aurinkosuojalaseja. Lasituksen ominaisuuksiin kuten säteilyenergian läpäisyyn voidaan vaikuttaa erilaisilla lasimateriaaleilla ja pinnoitteilla. Markkinoilla on lukuisia ikkunan pintaan asennettavia auringonsuojakalvoja, turvakalvoja, murtosuojakalvoja sekä älykalvoja. Tarkastelussa olevan rakennuksen olosuhdesimulointeihin on valittu kolme erilaista lasityyppiä: vakio kaksilasi-ikkuna, matalaemissiivinen Low-e -lasi ja selektiivilasi.

5.3 Suojakalvot

Ikkunansuojakalvoilla voidaan lisätä myös olemassa olevaan ikkunalasitukseen uusia ominaisuuksia. Ominaisuudet vaihtelevat eri käyttötarkoitusten mukaan. Auringonsuojakalvoilla torjutaan auringonsäteilyn haittavaikutuksia, turvakalvoilla voidaan estää sirpalevahinkoja ja murtosuojakalvolla puolestaan suojataan murtoalttiit lasipinnat.

Auringonsuojakalvoilla voidaan vähentää sisätilojen yllälämpenemistä, valoheijasteita ja lämpöhukkaa sekä torjua UV-säteilyn läpäisy lähes kokonaan. Auringonsuojakalvot suojaavat sisätiloja lämpösäteilyn haittavaikutuksilta heijastamalla ja absorboimalla auringonsäteilyä jopa 80 %, päästäten silti näkyvän valon sisään. Lasirakenteen ulkopinnalla torjuttu auringonlämpö estää sisätilojen yllälämpenemistä sekä vähentää merkittävästi jäähdytyksen tarvetta. (Suojakalvot 2017.)

5.4 Vakio kaksilasi-ikkuna

Vakio kaksilasi-ikkuna koostuu kahdesta lasiruudusta, joiden välissä on umpitila. Kaksilasi-ikkunan lämmöneristävyys syntyy pääosin lasien välisestä umpitilasta. Umpitila voi olla ilmatäytteinen tai täytekaasuna voidaan käyttää esimerkiksi krypton tai argonia. Vakio kaksilasi-ikkunan lämmönläpäisykerroin eli U-arvo (W/m^2K) on ilmatäytteisellä kaksilasisella ikkunalla noin kaksi kertaa parempi verrattuna yksilasisen ikkunan U-arvoon. Vakio kaksilasi-ikkunan U-arvo on luokkaa $2.9 W/m^2K$ (Beck ym. 2011: 16.)

5.5 Matalaemissiivinen Low-e -lasi

Ikkunaa, jonka ulkolasissa on matalaemissiivinen pinnoitus, kutsutaan Low-e -lasiksi. Low-e pinnoite on yleensä tinasta tai hopeasta koostuva erittäin ohut metallioksidikerros. Pinnoitteen lämpövaikutus syntyy metallioksidikerroksen matalasta emissiivisyydestä. Low-e pinnoite vaikuttaa sekä lasin optisiin-, että lämpöominaisuuksiin, ja näihin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa pinnoitteiden erilaisilla koostumuksilla.

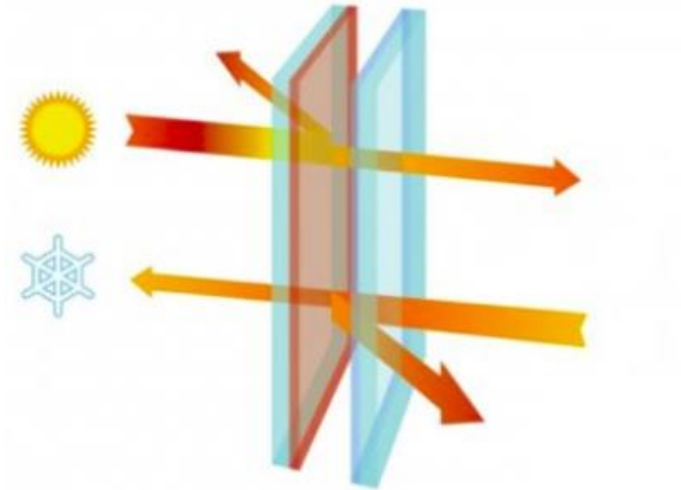
Matalaemissiivinen pinnoite vaikuttaa ikkunan U-arvoon merkittävästi. Pinnoite vähentää lämmönsäteilyä sisältä ulospäin yli 20-kertaisesti ja ilmatäytteisen kaksilasisen ikkunan U-arvo vähenee arvosta $2.9 W/m^2K$ arvoon $1,5 W/m^2K$. U-arvoa voidaan pienentää entisestään täyttämällä ikkunan umpitila argonilla. Tällaisella ikkunajärjestelmällä päästään yleensä U-arvoon $1,1 W/m^2K$ ja jopa $0,6 W/m^2K$. (Beck ym. 2011: 17.)

5.6 Selektiivilasit

Kaksilasityyppejä, joissa on ohut heijastava metallioksidipinnoite, kutsutaan selektiivilaseiksi. Termi ”selektiivi” tulee englanninkielisestä sanasta ”select” eli valita. Selektiivilasin ominaisuuksilla voidaan valita osa, joka auringon valon säteilystä pääsee lasin läpi ja mikä heijastetaan pois. Selektiivilaseille yhteisiä ominaisuuksia ovat matala g-arvo ja kohtuullinen näkyvän valon läpäisy. (Beck ym. 2011: 18.)

Auringosta tuleva lyhytaaltainen infrapunasäteily läpäisee pinnoittamattoman lasituksen, mutta selektiivilasin pinnoitteen ansiosta auringosta tuleva infrapunasäteily heijastuu lasipinnasta pois. Pinnoitteen ansiosta näkyvä valo pääsee sisälle ilman, että

auringsäteily pääsee sitoutumaan lämpönä sisäpuolisiin pintoihin ja materiaaleihin. Selktiivilasin pinnoite estää myös lämpösäteilyn kulkeutumisen sisältä ulos. Tämä on toivottavaa silloin, kun ulkolämpötila on matalampi kuin tavoiteltu sisälämpötila. Kuvassa 16 on esitetty selektiivilasin yksinkertaistettu toimintaperiaate.



Kuva 16. Selektiivilasi eli lämpölas (Selektiivilasi eli lämpölas 2020.)

5.7 Sähköinen älylasi

Sähköisellä älylasilla tarkoitetaan ikkunaa, joka muuttuu himmeästä kirkkaaksi, kun siihen johdetaan sähkövirtaa. Ikkunajärjestelmän lasielementin sisään laminoidaan älykalvo, johon johdattaessa sähköä sen sisältämät polymeerit aktivoituvat ja valo pääsee läpi. Ilman sähköä lasi on läpinäkymätön. (Älylasi 2020.)

Tarkastelussa olevan rakennuksen lasitetun terassin ja sisätilan välinen lasiseinä sisältää älyominaisuuden. Älyominaisuuden vaikutuksia ei huomioida aurinkosuojauksen kannalta. Älylasi on valittu visuaalista viihtyvyyttä ja tilojen yksityisyyttä ajatellen yhdeksi ikkunalasituksen ominaisuudeksi. Kuvissa 17 ja 18 on havainnollistettu älylasin toimintaa. Kuvassa 17 älylasiin ei johdeta sähköä, jolloin lasi on himmeä. Kuvassa 18 lasi on aktivoitu, jolloin se on läpinäkyvä.



Kuvat 17 ja 18. Himmeästä kirkkaaksi (Älylasi 2020.)

5.8 Tuuletusikkuna

Tarkastelun kohteena olevassa rakennuksessa osa ikkunoista on tuuletusikkunoita. Tuuletusikkunoiden avulla rakennuksen sisälle voidaan synnyttää suurta ilmanvaihtuvuutta. Tuuletusikkunoiden avulla voidaan tehokkaasti ohjata ulos rakennuksen sisätiloihin muodostuvaa yllämpöä, jolloin ne toimivat osana passiivista jäähdyttämistä. Tuuletusikkunat voidaan tarpeen mukaan myös kokonaan sulkea vesitiiviiksi, esimerkiksi silloin kun ulkoilman pääsyä sisätiloihin halutaan rajoittaa tai käytetään koneellista ilmastointia. Kuvassa 19 on esimerkki tuuletusikkunasta ja kuvassa 20 on havainnollistettu sen toimintaa.



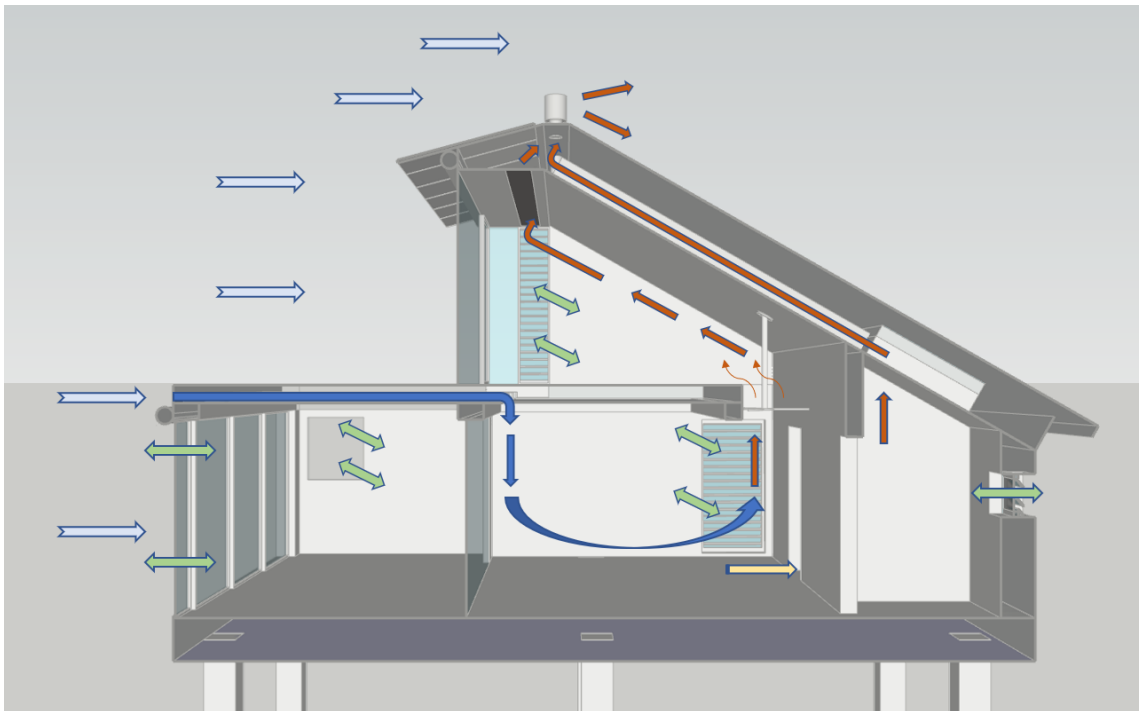
Kuvat 19 ja 20. Tuuletusikkuna (Breezeway Louvre Windows 2020.)

6 Rakennuksen ilmanvaihto

Rakennuksen sisäilman laatu ja lämpöviihtyvyys ovat suoraan sidoksissa rakennuksen ilmanvaihtoon. Ilmanvaihdon riittävyttä voidaan tarkastella sisäilman laadun tai sisäisten lämpökuormien poistamisen näkökulmasta. Tarvittavan sisäilman laadun takaaminen onnistuu pienemmälläkin ilmamäärillä, mutta sisätilojen yllämmön poistamiseen tarvitaan merkittävästi suurempaa ilmanvaihtuvuutta.

Tarkastelun kohteena olevan rakennuksen ilmanvaihtoa lähestytään kahdesta eri näkökulmasta: luonnollisena ilmanvaihtona ja tuulettamisena. Kyseisiin ilmanvaihtotapoihin vaikuttavat merkittävästi sekä ulkoiset, että sisäiset olosuhteet, kuten tuulen voimakkuus ja lämpötilaerot. Luonnollisessa ilmanvaihdossa pääosin hyödynnetään ilman nousumista luonnollisen ja pakotetun konvektion seurauksena. (Siikanen 2014: 34–35.)

Kuvassa 21 on esitetty tarkastelun kohteena olevan rakennuksen ilmanvaihdon toimintaperiaate. Vaaleat nuolet kuvaavat tuulen voimaa, siniset nuolet raitista tuloilmaa ja punaiset nuolet poistettavaa tunkkaista ilmaa. Kuvassa vihreät nuolet esittävät tuulettamista tuuletusikkunoiden avulla. Keltaisella nuolella havainnollistetaan siirtoilman suuntaa puhtaista tiloista kylpyhuoneeseen.



Kuva 21. Rakennuksen ilmanvaihdon toimintaperiaate.

Tuloilma tuodaan rakennukseen parvekkeen lattiaan asennettavien ilmanvaihtokanavien avulla. Ilmanvaihtokanavien ulkosäleiköt on suunnattu merta kohti, jolloin merituulen vaikutuksesta raitista tuloilmaa virtaa enemmän rakennuksen sisätiloihin.

Luonnollisen ilmanvaihdon rakennuksessa ilman kulkureittinä toimivat asuinhuoneet sekä katon sisään asennettavat ilmanvaihtokanavat. Rakennuksen läpi kulkeutunut ilma poistetaan katossa olevien säädettävien säleikköjen läpi kokoojakammioon, josta ilma poistetaan mekaanisia vedonparantajia hyödyntäen. Kylpyhuonetta palvelevat ilmanvaihtokanavat liitetään suoraan katolla oleviin vedon parantajiin.

Rakennuksen tuulettamisella tarkoitetaan ikkunatuuletusta, jolloin avataan yksi tai useampi tuuletusikkuna ristivedon tuottamiseksi. Myös yötuuletusta pyritään hyödyntämään siten, että rakennuksen termiseen massaansa päiväsaikaan sitoutunutta lämpöä ohjataan yön aikana ulos rakennuksesta.

Rakennuksessa, jossa hyödynnetään luonnollista ilmanvaihtoa, tulee asukkaan ymmärtää ilmanvaihdon peruseriaatteita käyttääkseen järjestelmää tehokkaasti. Painovoimaista ilmanvaihtoa säädetään pääasiassa poistoilmasäleiköillä korvausilmaventtiilien sijaan ja tuulettaminen ikkunoita tai oviaukkoja avaamalla on tarpeellista. Käyttäjän tulee myös ymmärtää tuulettamisen vaikutukset koneellisen jäähdytyksen toimintaan.

Rakennuksen ilmanvaihtoa voidaan tehostaan myös kattotuulettimella, jonka siipien pyörimissuunta ajaa ilmavirtaa ylöspäin. Ilmanvaihto on kuitenkin suunniteltu toimivaksi ilman kattotuulettimen vaikutusta.

6.1 Sisäilman laatu

Sisäilman laatuun vaikuttaa erityisesti sisätilojen ilmanvaihto, lämpöolosuhteet, kosteus- ja homevauriot sekä rakennusmateriaaleista sisäilmaan siirtyvät kemialliset päästöt, pöly ja kuidut. Sisäilman laatuun vaikuttaa myös ilman hiilidioksidipitoisuus tai muiden kemiallisten yhdisteiden tai kaasujen haitallinen esiintyminen.

Merkittävin sisäilman laatuun vaikuttava tekijä on ilmanvaihtuvuus. Toimivan ilmanvaihdon tehtävä on poistaa sisäilman laatua heikentäviä tekijöitä ja korvata käytetty ilma puhtaalla ulkoilmalla. Hyvä sisäilman laatu parantaa viihtyvyyttä, vähentää sairauksia ja lisää

aktiivisuutta sekä työtehoa. Pitkäkestoinen altistuminen huonolle sisäilmalle voi aiheuttaa monenlaista oireilua, kuten erilaisia hengityselinten tulehdustiloja, ärsytysoireita ja allergiasairauksia. Lyhyt kestoinkin altistuminen huonolle sisäilman laadulle voi aiheuttaa ikäviä oireita kuten päänsärkyä, keskittymisvaikeuksia, väsymystä sekä hengitysteiden, silmien ja ihon ärsytysoireita.

Luonnollinen ilmanvaihto perustuu vähäisiin paine-eroihin, jolloin raittiin ilman tehokas suodattaminen on haastavaa. Suodattamisen haastetta lisää myös tarpeenmukainen ikkuna- ja yötuulettaminen, joilla pyritään laskemaan sisätilojen lämpötilaa. Tuulettamisen tarve ja suodatuksen tehottomuus myös altistavat tilan käyttäjän ulkoilman pienhiukkasille. (Sisäilman vaikutukset 2008.)

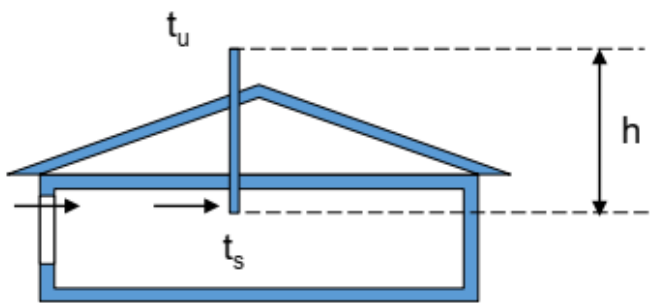
Pienhiukkasisiksi kutsutaan ilmassa olevia hiukkasia, jotka ovat halkaisijaltaan alle 2.5 mikrometriä (μm). Pienhiukkasia siirtyy ilmaan polttoaineiden palamisreaktiosta, erityisesti puun polttamisesta. Myös ilmaan päästetyt rikkidioksidi- ja typpidioksidikaasut muuntuvat nopeasti pienhiukkasiksi. Vaikka lähialueella ei varsinaisesti olisi pienhiukkasia synnyttäviä lähteitä, on niitä vääjäämättä ulkoilmassa. Pienhiukkaset kulkeutuvat ilmamassojen mukana tuhansia kilometrejä, ja poistuvat ilmasta vasta sateiden mukana. (Pienhiukkaset 2020.)

Tärkeää on, ettei sisäilmassa esiinny terveydelle haitallisissa määrin hiukkasmaisia epäpuhauksia, kemiallisia, fysikaalisia tai mikrobiologisia tekijöitä eikä epämiellyttäviä hajuja. Sisäilman laadulle on määritelty erilaisia suunnitteluarvoja, epäpuhtauksien raja-arvoja ja ehdottomia toimenpiderajoja, joita tulisi rakennushankkeessa noudattaa. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ilmanvaihtuvuuteen vaikuttavat olosuhteet muuttuvat vuoden- ja vuorokaudenaikojen mukaan, minkä johdosta raja-arvojen tarkka noudattaminen on vaikeaa, jollei mahdotonta. (Sisäilman laatu 2019.)

6.2 Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta

Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta yksittäisessä tilassa perustuu pitkälti sisä- ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon, venttiilien väliseen korkeuseroon ja venttiileiden painehäviöihin. (Valkeapää 2019: 7.)

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa käytettävissä oleva paine-ero ilman liikuttamiseen on hyvin pieni. Hyvän toimivuuden kannalta ilman tulisi päästä kulkemaan vapaasti vailla ylimääräisiä painehäviöitä. Poistoilmahormin mutkat ja vaakasiirtymät aiheuttavat painehäviöitä. Todella suuren painehäviön aiheuttaa ilman suodattaminen. Teoriassa raitis ilma kulkee hyvin puhtaan suodattimen läpi myös pienellä paine-erolla, mutta käytännössä ilman mukana kulkeutuvat pienhiukkaset ja epäpuhtaudet likaavat suodattimen nopeasti. Suodattimen likaantuessa sen aiheuttama painehäviö kasvaa nopeasti. Kuvassa 22 on esitetty painovoimaisen ilmanvaihdon kannalta hormin korkeuden tai venttiilien välisen korkeuseron merkitystä.



Kuva 22 Painovoimainen ilmanvaihto - hormikorkeus (Valkeapää 2019: 8.)

Poistoilmavirtaan vaikuttava hormivaikutus on sitä merkittävämpi, mitä suurempi korkeusero (h) on. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimivuuden lähtökohtana voidaan pitää, että poistoilmahormin yläpään ja raitisilmaventtiilin korkeusero tulisi olla vähintään 4,5 metriä. (Painovoimaisen ilmanvaihdon ohjeluonnos 2018: 6.)

Yhtälössä 1 on esitetty ilmapatsaan aiheuttaman paineen määrittämiseen soveltuva kaava. (Valkeapää 2019: 9.)

$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad (1)$$

- p on paine, Pa
- ρ on ulko- tai sisäilman tiheys, kg/m^3
- g on painovoiman kiihtyvyys (9.81 m/s^2)
- h on ilmapatsaan korkeus, m

Tarkasteltaessa lämpötilaeron aiheuttamaa paine-eroa p , toisin sanoen sen antamaa käyttövoimaa, huomataan korkeuden h olevan ainoa suure, johon rakennuksen geometrialla voidaan vaikuttaa.

Yhtälössä 2 on havainnollistettu rakennuksen korkuisen ilmapatsaan aiheuttama paine ulkona ja sisällä. Paineiden välinen erotus lasketaan yhtälön 2 mukaan. (Valkeapää 2019: 9)

$$\Delta p = (\rho_u - \rho_s) \cdot g \cdot h = \Delta \rho \cdot g \cdot h \quad (2)$$

Yhtälössä ulkoisesta paineesta p_u vähennetään sisäinen paine p_s . Tämä kerrotaan painovoimankiihtyvyydellä g ja ilmapatsaan korkeudella h niin saadaan ilmapatsaan aiheuttama paine.

Tämä paine-ero on painovoimaisen ilmanvaihdon käyttövoima lämpötilaeron vaikutuksesta. (Valkeapää 2019: 9.) Johtopäätöksenä voidaan todeta, että mitä suurempi lämpötilaero sisä- ja ulkoilman välillä, sitä paremmin ilmanvaihto toimii.

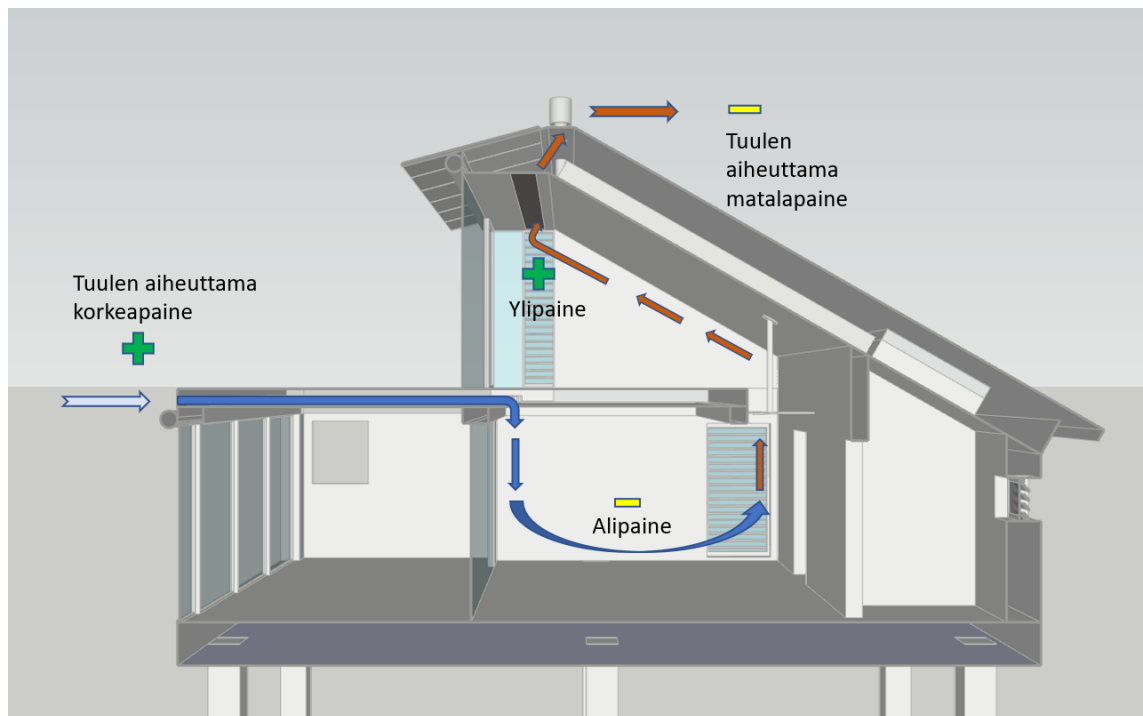
Tarkastelun kohteena oleva rakennus sijaitsee ilmastossa, jossa ei ole merkittävää eroa ulko- ja sisälämpötilojen välillä. Siksi ilmanvaihdon tulee saada käyttövoimaansa tehokkautta myös muista fysikaalisista ilmiöistä, kuten tuulen ja konvektion vaikutuksista.

6.3 Konvektion vaikutus ilmanvaihtoon

Rakennuksen ilmanvaihdon kannalta luonnollisen konvektion toiminta perustuu siihen, että huonetilassa ilma lämpenee, jolloin sen tiheys pienenee ja lämmennyt ilma pyrkii virtaamaan ylöspäin. Nouseva ilma muodostaa huoneen yläosaan ylipainetta ja huoneen alaosaan alipainetta. Huoneen yläosasta tunkkainen käytetty ilma poistuu rakennuksen katolle, ja alipaineiseen osaan virtaa viileämpää raitista ilmaa tuloilmakanavasta tai tuuletusikkunasta.

Luonnollinen konvektio synnyttää sisätiloihin ilman kiertoa, joka kuljettaa mukanaan lämpöä ja kosteutta. Konvektion avulla siirtyvän lämpötehon määrä riippuu huonetilan korkeudesta, katon jyrkkyydestä ja lämpötilaeroista. (Siikanen 2014: 34–35.) Kuvassa 23

on leikkaus tarkastelun alla olevasta rakennuksesta, jossa on havainnollistettu ilman liikuminen luonnollisen konvektion vaikutuksesta.



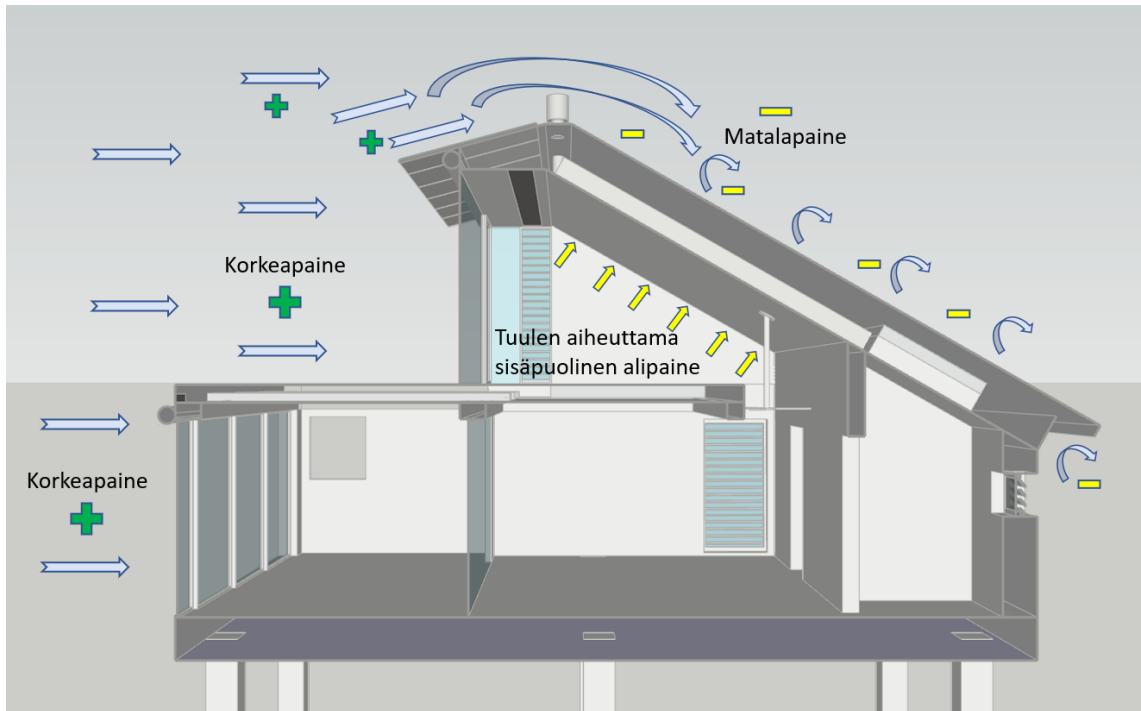
Kuva 23. Luonnollisen konvektion toimintaperiaate.

Rakennuksen sisätiloissa puhtaasti luonnollista konvektiota esiintyy harvoin. Yleensä ilman liikkeeseen vaikuttaa myös ulkopuolisia voimia. Ihmisten liikkuminen, tuulettimet ja tuuli voimistavat ilmavirtauksia. Tuulella on erityinen rooli luonnollisessa ilmanvaihdossa, koska tuuli parantaa vetoa horneissa ja auttaa painovoimaisen ilmanvaihdon käyttövoimana toimivan paine-eron muodostumisessa. Ilman liikkeessä ulkopuolisen voiman vaikutuksesta puhutaan pakotetusta konvektiosta. (Siikanen 2014: 41.)

6.4 Tuulen vaikutus ilmanvaihtoon

Tuulen vaikutukset rakennuksen ilmanvaihtoon vaihtelevat merkittävästi vuorokauden ja vuodenaikojen mukaan. Tuulen aiheuttamiin paine-eroihin huonetilassa vaikuttavat tuulen voimakkuus ja suunta sekä rakennuksen muoto ja korkeus. Myös ympäröivän maaston muodoilla ja kasvillisuudella on suuri merkitys. Maaston muotoja, puita ja muuta kasvillisuutta voidaan hyödyntää tuulen ohjaukseen tai tarvittaessa tuulensuojana. (Siikanen 2014: 37.)

Tuuli aiheuttaa rakennuksessa kuvan 24 mukaisen painekuvion, joka ei ole tuulen pyörteisyyden takia vakio. Tuulen vaikutukset ulottuvat myös rakennuksen sisälle. Rakennuksen sisäpuolella tuulen vastaisella katon lappeella esiintyy sisäpuolista alipainetta, joka voimistaa entisestään huoneen sisäistä konvektiovirtausta. (Siikanen 2014: 37.)



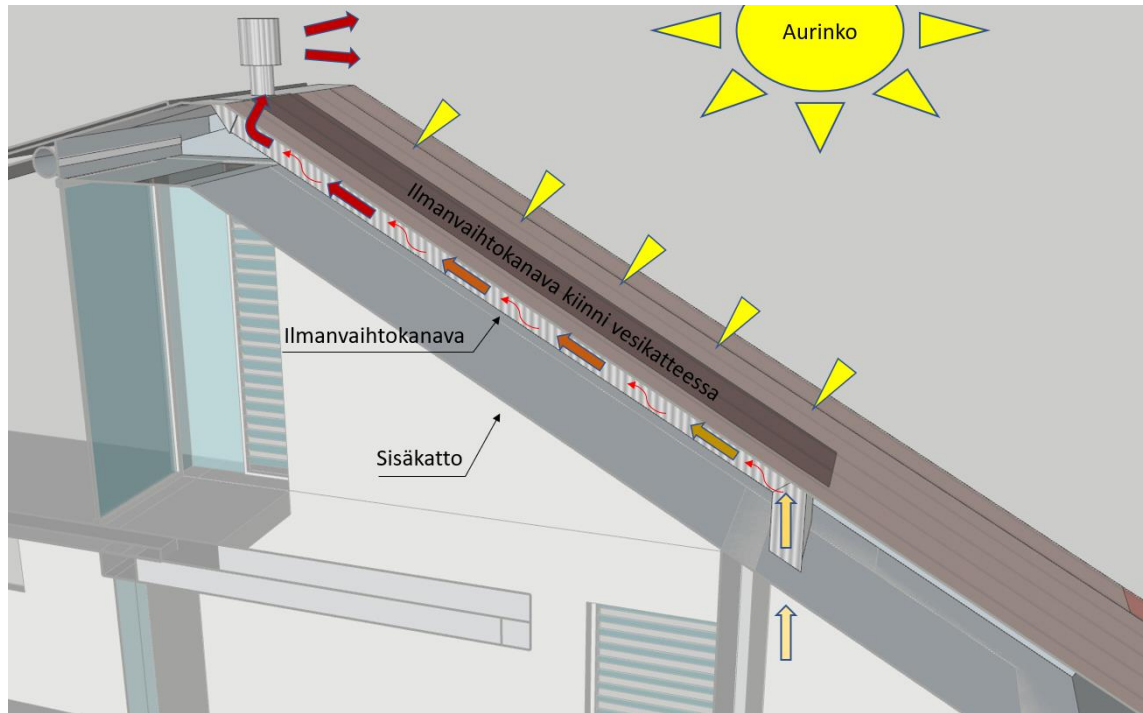
Kuva 24. Tuulen vaikutukset rakennuksen painesuhteisiin.

6.5 Auringonsäteilyn vaikutus ilmanvaihtoon

Auringonsäteilyä voidaan hyödyntää ilmanvaihdon tehostamisessa. Auringonsäteilyllä voidaan lämmittää poistoilmakanavaa, jolloin kanavan sisällä oleva ilman lämpenee ja samanaikaisesti sen tiheys pienenee ja ilma nousee ylöspäin. Auringonsäteilyn tehostava vaikutus vaihtelee ulko-olosuhteiden mukaan: pilvisellä ilmalla tehostus on mitätön, kun taas suorassa auringonpaisteessa ilma kanavassa voi lämmetä merkittävästi, jolloin ilmanvaihto tehostuu.

Tarkastelun kohteena olevassa rakennuksessa ilmanvaihdon poistokanavat, jotka palvelevat kylpyhuonetta, WC-tilaa ja vaatehuonetta, sijoitetaan rakennuksen katon sisään. Katon sisään sijoitettavat ilmanvaihtokanavat asennetaan vesikatteeseen kiinni siten, että auringonsäteily pääsee lämmittämään ilmanvaihtokanavien sisäisen ilman. Näin

auringsäteily vahvistaa ilmanvaihtokanavan sisäistä vetoa ja tukee osaltaan ilmanvaihtoa. Kuva 25 havainnollistaa auringon säteilyn vaikutusta ilmanvaihtoon.



Kuva 25. Auringonsäteilyn vaikutus ilmanvaihtoon.

Vesikatto on hyvin eristetty ilmanvaihtokanavien vieressä ja alla, sitä vastoin vesikatteen ja ilmanvaihtokanavan väliä ei tule eristää. Vesikaton materiaalin tulee olla hyvin lämpöä johtavaa, esimerkiksi konesaumattu peltikatto. Vesikaton tumma väri absorboi lämpöä paremmin kuin vaalea väri, joten vesikatto on tummempi niiltä osin, joissa ilmanvaihtokanavat kulkevat.

6.6 Ilmanvaihdon tehostaminen

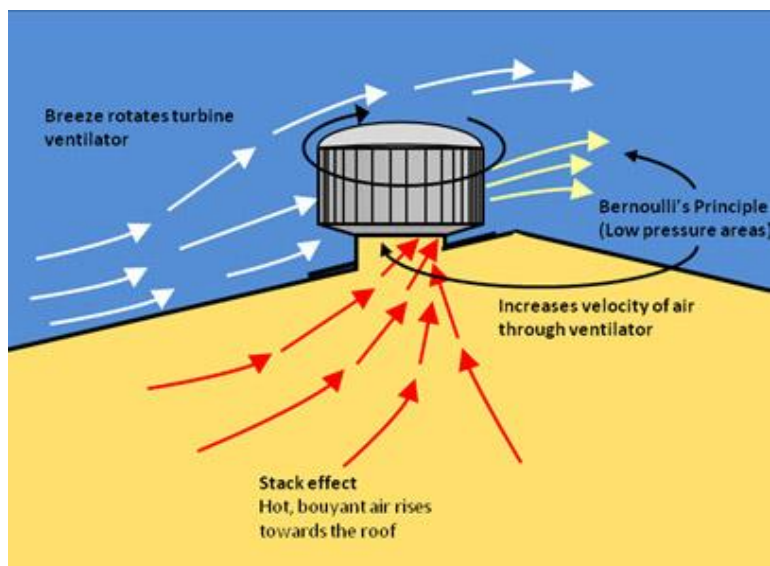
Ilmanvaihdon tehostaminen tulee huomioida osana luonnollista ilmanvaihtoa, sillä kyseinen ilmanvaihtotapa on erittäin altis ulkopuolisten olosuhteiden vaikutuksille. Ongelmia esiintyy etenkin tuulettomina, pilvisinä päivinä, kun ulko- ja sisälämpötilojen välillä ei ole merkittävää eroa. Tuulella on tehostava vaikutus luonnollisen ilmanvaihdon toimintaan, ja tuulen vaikutusta voidaan tehostaa entisestään hyödyntämällä mekaanisia vedonparantajia. Kuvassa 26 on havainnollistettu vedonparantajan toimintaperiaate sekä tyypillinen muotoilu.



Kuva 26. Turbowent vedonparantaja (Turbowent vedonparantajat 2020.)

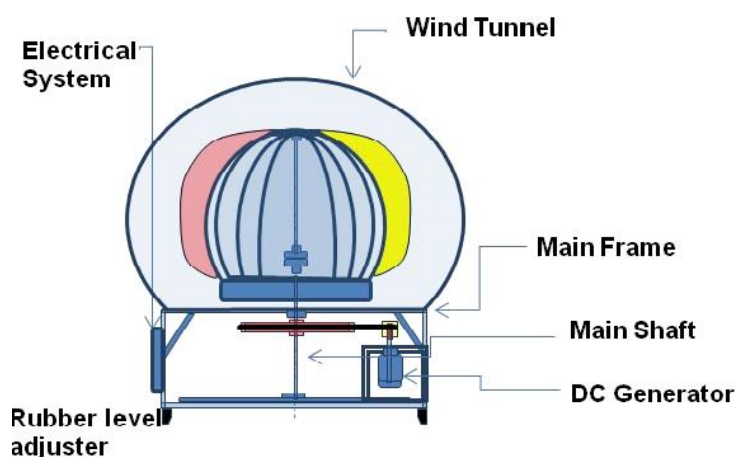
Luonnollisessa ilmanvaihdossa poistoilmahormiin tai -kanavaan voi syntyä takaisinvirtausta, kun ylhäältä suuntautuva tuuli painaa ilmaa takaisin hormiin, tai kun ulkoilma lämpötila on korkeampi kuin sisäilman lämpötila. Tuulella toimivat vedonparantajat tasoittavat tuulen suunnan ja nopeuden vaihtelujen vaikutuksia sekä estävät poistoilmajärjestelmää kääntymästä toimimaan väärinpäin. (Painovoimaisen ilmanvaihdon ohjeluonnos 2018: 11.)

Kuvassa 27 on esitetty periaate, jonka avulla vedonparantaja tuulen vaikutuksesta tehostaa rakennuksen ilmanvaihtoa. Kuvassa on esitetty savupiippuvaikutuksen ja tuulen voiman lisäksi Bernoullin lakiin pohjautuva vaikutus. Bernoullin lain mukaan: *virtauksessa nopeuden kasvaessa paine alenee.* (Bernoullin laki 2020.)



Kuva 27. Turbo ventilator (Rushikesh ym. 2016: 2.)

Rushikesh esitteli vuonna 2016 laatimassaan tutkimusartikkelissa ajatuksen vedonparantajasta, joka toimisi myös pientuulivoimalana synnyttäen tuulen voimalla sähköä. Tutkimuksessa todettiin, että sähköntuotanto vedonparantajalla olisi hyvin vähäistä, mutta teoriatasolla tuote olisi kehityskelpoinen. Ajatus on erittäin mielenkiintoinen, sillä nolla-energiataloon soveltuisi hyvin poistoilman vedonparantajat, joka myös tuottaisivat sähköä. Tällöin ilmanvaihto ei kuluttaisi sähköä, vaan tuottaisi sitä. Kuvassa 28 on esitetty peruseriaate vastaavan laitteen toiminnasta.



Kuva 28. (Rushikesh ym. 2016: 4.)

6.7 Ikkuna- ja ovituuletus

Ikkuna- ja ovituuletuksella saadaan luotua rakennuksen sisälle ristiveto, eli läpituuletus, jonka avulla voidaan tehostaa ilmanvaihtoa ja poistaa tehokkaasti sisätilojen yllilämpöä. Oikein käytettynä läpituuletus viilentää rakennuksen sisätiloja ja parantaa sisäolosuhteita sekä lämpöviihtyvyyttä. Ikkuna- ja ovituuletus on tehokkainta silloin, kun ikkunoita tai ovia voidaan avata yhtä aikaa vähintään rakennuksen kahdesta eri julkisivuista. (Painovoimaisen ilmanvaihdon ohjeluonnos 2018: 5.)

Ikkuna- ja ovituuletus perustuu tuulen liikkeen lisäksi myös sisä- ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon: ikkunan tai oven ollessa auki, syntyy sisätilaan ilmanvaihtoa ikkunan tai oven ala- ja yläosassa olevan paine-eron seurauksena. (Valkeapää 2019: 2.)

Käyttäjän tulee kuitenkin ymmärtää, milloin läpituuletus on suositeltavaa, ja milloin ikkuna- ja ovituuletuksista tulisi vähentää. Esimerkiksi ikkuna- ja ovituuletuksista ei voi hyödyntää samanaikaisesti koneellisen ilmastoinnin kanssa. Läpituulettamisen ja koneellisen ilmanvaihdon viilentävä vaikutus syntyvät hyvin erilaisista yhtälöistä.

Liikkuva ilma tehostaa ilman vaihtuvuutta ja kosteuden siirtymistä pois ihon pinnalta, jolloin ihminen pystyy paremmin haihuttamaan lämpöä. Hien haihtuminen iholta jäähdyttää ihoa lämpötilasta riippumatta. Ikkuna- ja ovituuletuksista voi hyödyntää ympäri vuorokauden, mutta viilennyksen näkökulmasta läpituuletus on tehokkainta silloin, kun ulkoilma on sisäilmaa viileämpää, kuten yöaikaan.

6.8 Yötuuletus

Yötuuletus on keskeisessä roolissa rakennuksissa, joissa on luonnollinen ilmanvaihto ja lämpökapasiteettia varaavia rakenteita. Pitämällä ikkunoita ja ovia auki yöaikaan voidaan huonetilaa viileämmällä ulkoilmalla poistaa termisten massojen varastoimaa lämpöä ja ohjata sisätilojen yllilämpöä ulos. Samalla jäähdytetään rakenteita, ja niihin varastoituu viileyttä. Yötuuletuksella valmistellaan rakennusta ottamaan vastaan seuraavan päivän lämpöenergiaa. Lämpöenergia siirtyy ensin viilenneisiin rakenteisiin, minkä johdosta sisälämpötila kohoaa viiveellä. (Kivitalojen energiatehokkuus 2010: 19.)

7 Dynaaminen sisälämpötilojen tarkastelu

Tämän opinnäytetyön dynaaminen sisälämpötilojen tarkastelu on tehty IDA Indoor Climate and Energy 4.8 -ohjelmistolla (IDA-ICE). IDA-ICE simulointeja varten on laadittu SketchUp -ohjelmistolla rakennuksen geometria, joka on lisätty IDA-ICE -ohjelmaan IFC-standardin mukaisena 3D-mallina.

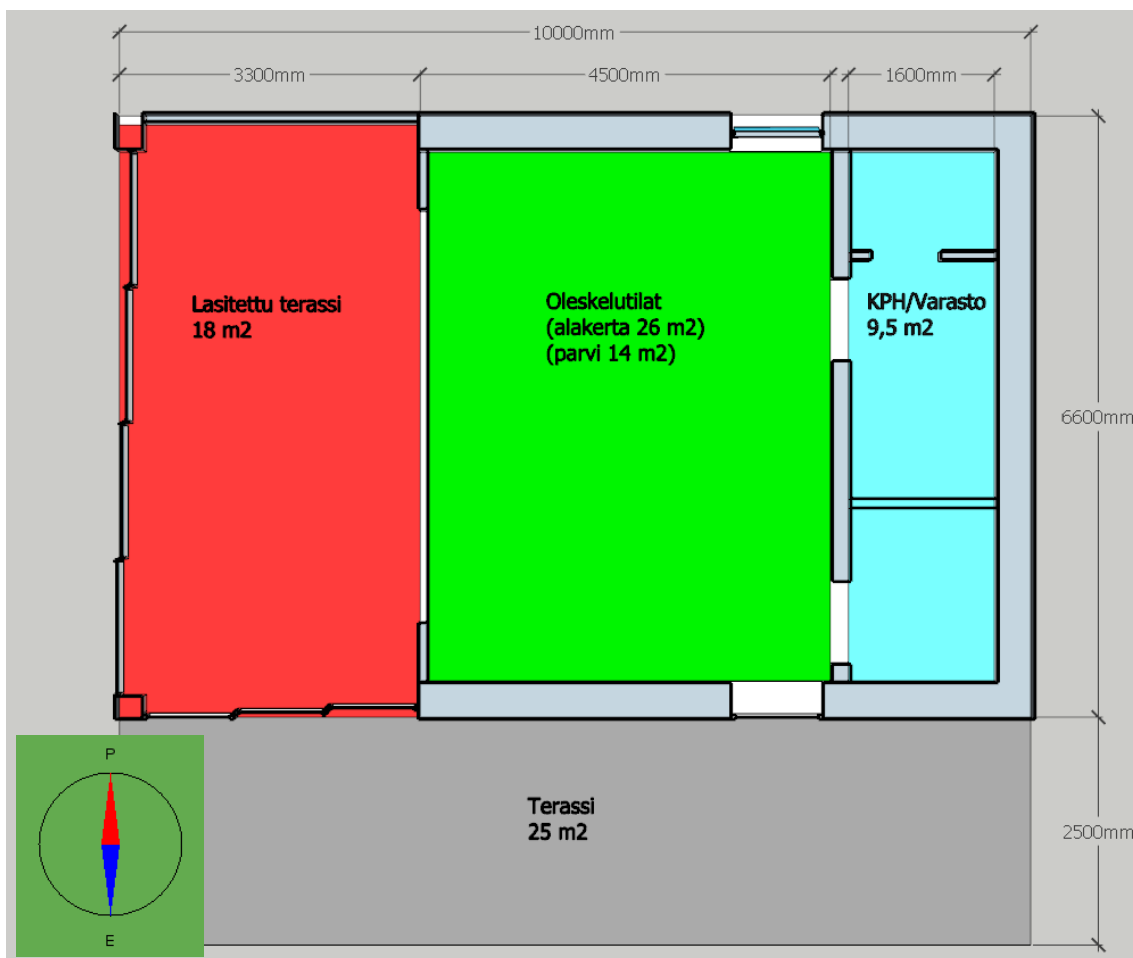
Dynaamisessa sisälämpötilojen tarkastelussa tulee huomioida kattavasti rakennuksen eri ominaisuudet. Simuloinnin tulokseen vaikuttavat erityisesti rakenteet, sisäiset ja ulkoiset lämpökuormat, kylmäsiilat, ulkovaipan ilman pitävyys sekä rakennuksen muoto. Rakennuksessa tulee olla tarkasti huomioitu myös ikkunoiden ja oviaukkojen tekniset ominaisuudet, koko ja sijainti. Myös rakennuksessa olevat parvekkeet ja räystäät tulee mallintaa tarkasti.

Simuloinneissa keskityttiin tarkkailemaan sisätilojen, etenkin oleskelutilojen, maksimilämpötilaa ja maksimaalista operatiivista lämpötilaa. Simuloinneissa käytettävä kesäkausi ulottuu toukokuun ensimmäisestä päivästä lokakuun loppuun. Tavoitelämpötilana sisätilojen maksimilämpötilaksi asetettiin 25 °C.

Rakennuksen maantieteellisen sijainnin vaikutukset huomioitiin valmista säätiedostoa hyödyntäen. Säätiedosto piti sisällään valitun ajanjakson sisältämät lämpöolot, ilman kosteuden, tuulen suunnan ja voimakkuuden sekä auringon liikkeit ja sijainnin. Olosuhdesimuloinneissa käytettiin Funchalin (Madeira) säätiedostoa vuodelta 2019.

7.1 Tarkastelussa olevan rakennuksen esittely

Tarkastelun kohteena olevan pientalon sisätilat ovat 49,5 m². Sisätilojen lisäksi rakennuksessa on pinta-alaltaan 18 m² lasitettu terassi ja sen päällä 18 m² parveke. Rakennuksen eteläsivulla on 25 m² terassi. Kuvassa 29 on esitetty pohjapiirustus, josta näkee tilojen sijainnin, muodon ja koon sekä rakennuksen sijoittumisen ilmansuuntiin nähden. Rakennus on katonharjan korkeimmasta kohdasta 5700 mm terassin lattiapintaa korkeammalla.



Kuva 29. Rakennuksen pohjapiirustus ja sijoittuminen ilmansuuntiin nähden.

Tulevia simuloitteja varten rakennus on jaettu kolmeen eri alueeseen: Lasitettu terassi, oleskelutilat ja kylpyhuone/varasto. Tilan käyttäjien sisätiloissa viettämä aika sijoittuu pääosin oleskelutiloihin, minkä vuoksi rakennuksen sisälämpötilojen simuloinneissa keskitytään erityisesti oleskelutilojen yllämenemiseen. Oleskelutila kattaa parvella olevan makuutilan sekä alakerran makuutilan/olohuoneen. Parvella oleva makuutila sijaitsee oleskelutilan keskikorkeudella.

7.2 Rakennuksen sisäiset lämpökuormat

Rakennuksen sisäiset lämpökuormat on määritelty taulukon 1 mukaan (Erillinen pientalo). Kuluttajalaitteet 3 W/m², ja valaistus 8 W/m² iltakäytöllä kello 16:00–24:00. Ihmisitä syntyvä lämpökuorma on huomioitu siten, että tiloissa oleskelee samanaikaisesti 4 henkilöä. KPH/Varastotilassa oleskelee yksi henkilö kerrallaan.

Rakennuksen yllämpenemisen mittausjakso ulottuu toukokuun ensimmäisestä päivästä lokakuun viimeiseen päivään. Tämä vastaa Madeiralla vuoden kuuminta ajanjaksoa.

Taulukko 1. Rakennuksen standardikäyttö ja sisäiset lämpökuormat (Rakennuksen energiatehokkuus 2012: 19.)

Käyttötarkoitukseluokka	Kellonaika ^d	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²	Ihmiset ^a W/m ²
		h/24h	d/7d				
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	00:00-24:00	24	7	0,6	8 ^{b,c}	3	2
Asuinkerrostalo	00:00-24:00	24	7	0,6	11 ^{b,c}	4	3
Toimistorakennus	07:00-18:00	11	5	0,65	12 ^c	12	5
Liikerakennus	08:00-21:00	13	6	1	19 ^c	1	2
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	14 ^c	4	4
Opetusrakennus ja päiväkot	08:00-16:00	8	5	0,6	18 ^c	8	14
Liikuntahalli	08:00-22:00	14	7	0,5	12 ^c	0	5
Sairaala	00:00-24:00	24	7	0,6	9 ^c	9	8

a ei sisällä kosteuteen sitoutunutta lämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6

b asuinrakennusten valaistuksen käyttöaste on 0,1

c ohjearvo uudisrakennuksille ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, pienempää valaistuksen tehoa voi käyttää, mikäli valaistustaso säilyy ja siitä esitetään erilliselvitys kohtien 3.3.3 ja 3.3.4 mukaisesti.

d ilmanvaihdon käyntiaika kohdan 3.3.7 mukaisesti

7.3 Rakenteiden määrittäminen

Rakenteiden osalta rakennus on teräsrunkoinen kivitalo. Teräsrungon osuutta ei ole huomioitu rakenteiden kerrosten määrittelyssä tai U-arvossa. Teräsrungon vaikutukset on pyritty huomioimaan kylmäsiltojen osalta. Taulukossa 2 ja 3 on listattuna rakennuksessa käytetyt rakenteet ja niiden sisältö.

Taulukko 2. Rakennuksessa olevat seinärakenteet.

Rakenne	Kuvaus	U-arvo	Yksikkö
Ulkoseinät	Tiili/betoni seinä (Betoni+eriste+tiili)	0,372	W(m ² *k)
	Kerrokset	Paksuus	
	Betoni	150	mm
	Kevyt eriste	80	mm
	Tiili	120	mm
	Yhteensä	350	mm
Sisäseinät	Väliseinä, ei eristetty (Kaksoiskipsiseinä koolauksella)	1.707	W(m ² *k)
	Kerrokset	Paksuus	
	Kipsi	26	mm
	Ilmarako	70	mm
	Kipsi	26	mm
	Yhteensä	122	mm

Taulukko 3. Rakennuksen alapohjan ja ulkokaton rakenteet.

Rakenne	Kuvaus	U-arvo	Yksikkö
Ulkokatto	Ulkokatto kevytrakenteinen (Eiriste+paneeli+kipsilevy+pelti)	0,095	W(m ² *k)
	<u>Kerrokset</u>	<u>Paksuus</u>	
	Kevyt eriste	365	mm
	Paneeli	22	mm
	Kipsi	13	mm
	Konesaumattupeltikate	50	mm
	Yhteensä	450	mm
Alapohja	Betonialapohja (Laatta+kipsi+eriste+betoni+eriste)	0,232	W(m ² *k)
	<u>Kerrokset</u>	<u>Paksuus</u>	
	Laatta	16	mm
	Lastulevy	16	mm
	Kevyt eriste	40	mm
	Beroni	200	mm
	Kevyt eriste	100	mm
	Yhteensä	372	mm

Simuloinnissa IDA-ICE huomioi rakenteiden U-arvon lisäksi eri rakennekerrosten tekniset ja termiset ominaisuudet kuten lämmönjohtavuuden, ominaislämpökapasiteetin ja tiheyden. Näiden ominaisuuksien avulla simulointi kattaa myös rakennuksen termiset massat.

Betoni ja teräs ovat hyvin lämpöä johtavia materiaaleja, joten kylmäsiltojen vaikutusten on arvioitu olevan merkittäviä. Taulukossa 4 on esitetty rakennuksen kylmäsiltojen vaikutukset. Taulukon asteikko kattaa arvot ”hyvästä” ”erittäin huonoon”. Mitä huonommin kylmäsiltoja on huomioitu, sitä enemmän lämpöä vuotaa niiden läpi. Lähtökohta suunnittelulle on, että muut rakenteet saavat vuotaa lämpöä ulkokattoa enemmän. Ulkokaton tarkoitus on suojata mahdollisimman tehokkaasti rakennuksen sisätiloja ylläampemiseltä.

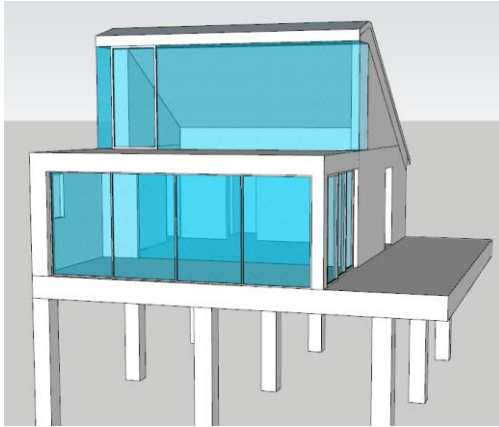
Taulukko 4. Kylmäsillat (*yhteensä viereisille tiloille.)



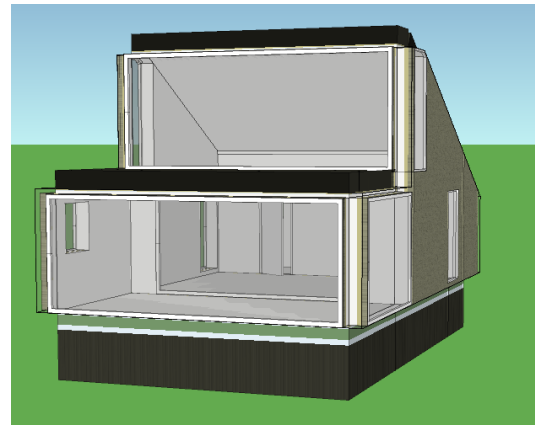
7.4 Rakennuksen sisälämpötilat ilman aurinkosuojauksratkaisuja

Kuvassa 30 ja 31 on esitetty rakennuksesta yksinkertaistettu malli, jota käytettiin sisälämpötilojen ensimmäisissä tarkasteluissa. Rakennuksessa ei tässä vaiheessa huomioidu kiinteitä varjostuksia kuten räystäitä, ikkunasyvennyksiä, aurinkosuojauksia tai ilmanvaihtoa.

Rakennuksen sisätilojen keskikohta, eli parvi toimii kahden hengen makuutilana.

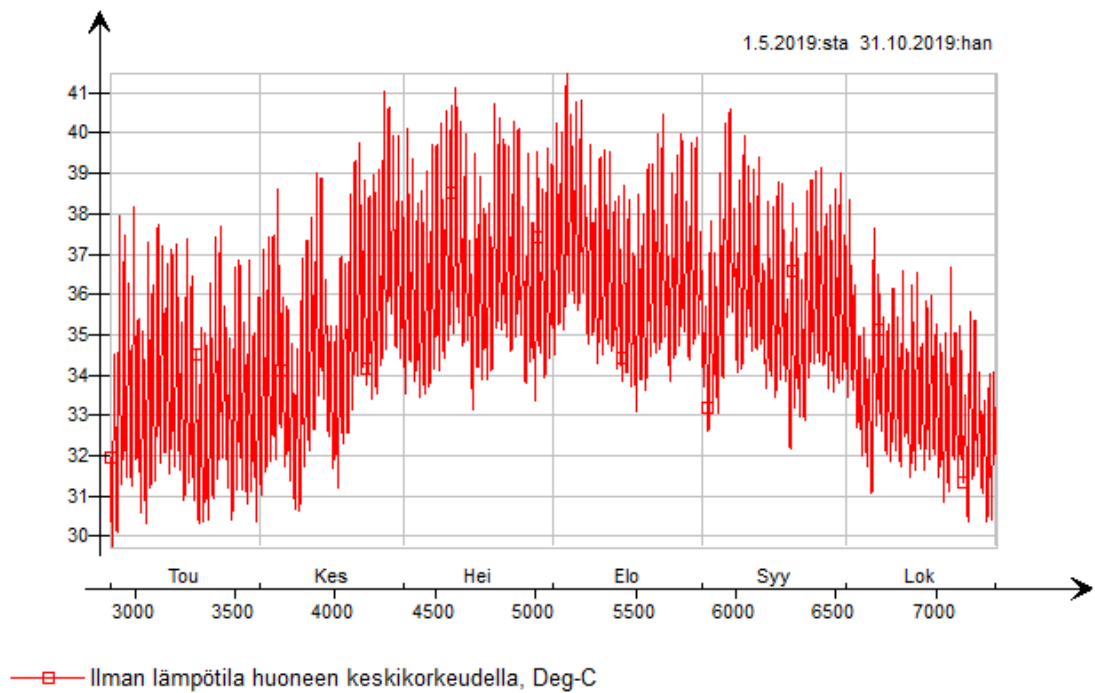


Kuvat 30. SketchUp -malli.



Kuva 31. IDA-ICE -malli.

Kuvasta 32 nähdään, kuinka korkealla sisätilojen maksimilämpötila on sisälämpötilojen tarkastelun alkutilanteessa, jossa valittuja passiivisia jäähdytysmenetelmiä ei vielä huomioitu. Sisätiloissa lämpötila nousee 41,5 asteeseen ja operatiivinen lämpötila 41,7 asteeseen.



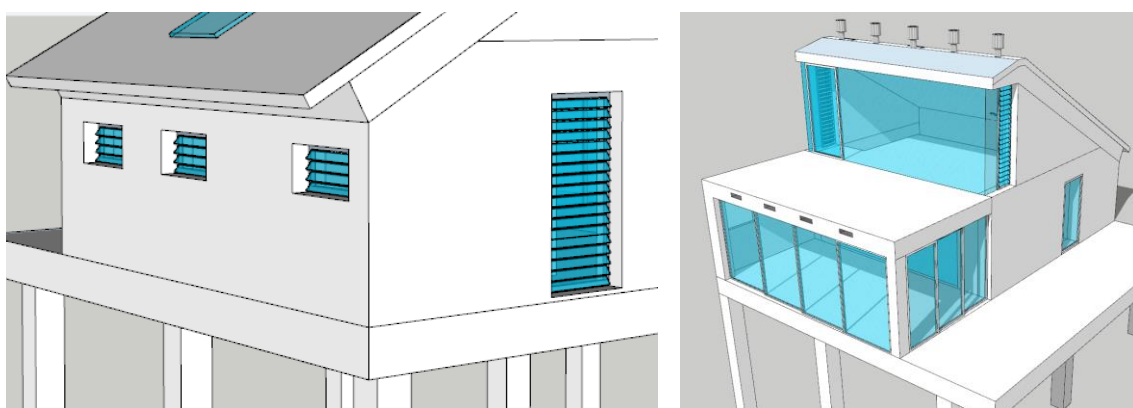
Kuva 32. Sisälämpötilojen tarkastelu lähtötilanteessa.

Arvot osoittavat, että ilman valittujen passiivisten jäähdytysmenetelmien huomioimista, kasvattavat etelän ja lännen suuret lasipinnat sisätilojen jäähdytystarvetta ja heikentävät merkittävästi lämpöihtyvyyttä. Kuvasta 32 nähdään, että tavoiteltu sisälämpötila 25 astetta ei täyty rakennuksessa edes yöaikaan. Selitys tähän on ilmanvaihdon puuttuminen.

7.5 Ilmanvaihdon vaikutukset sisälämpötiloihin

Rakennukseen on lisätty luonnollista ilmanvaihtoa varten päätelaitteet ja ilmanvaihtokanavat. Tuloilmakanavia (150 mm x 400 mm) on lisätty neljä kappaletta parvekkeen lattiarakenteeseen. Kaksi poistoilmasäleikköä (1500 mm x 300 mm) on lisätty sisätilojen katon korkeimpaan kohtaan. Lisäksi kolme poistoilmakanavaa (150 mm x 400 mm) on lisätty palvelemaan KPH/varastotilaa. Mekaanisten vedenparantajien- tai auringonsäteilyn vaikutusta ei ole huomioitu simuloinnissa.

Luonnollisen ilmanvaihdon lisäksi rakennukseen on lisätty tuuletusikkunoita, joilla mahdollistetaan sisätilojen tehokas läpituuletus. Alakerrassa tuuletusikkunoita ovat KPH/Varastotilan kaikki kolme ikkunaa (500 mm x 1000 mm) ja pohjoissivulla sijaitseva ikkuna (2100 mm x 1000 mm). Yläkerrassa tuuletusikkunat (2500 mm x 500 mm) sijaitsevat parvella, huoneen molemmissa reunoissa. Kuvissa 33 ja 34 on esitetty ikkunoiden ja ulkopuolisten ilmanvaihtolaitteiden sijainnit.

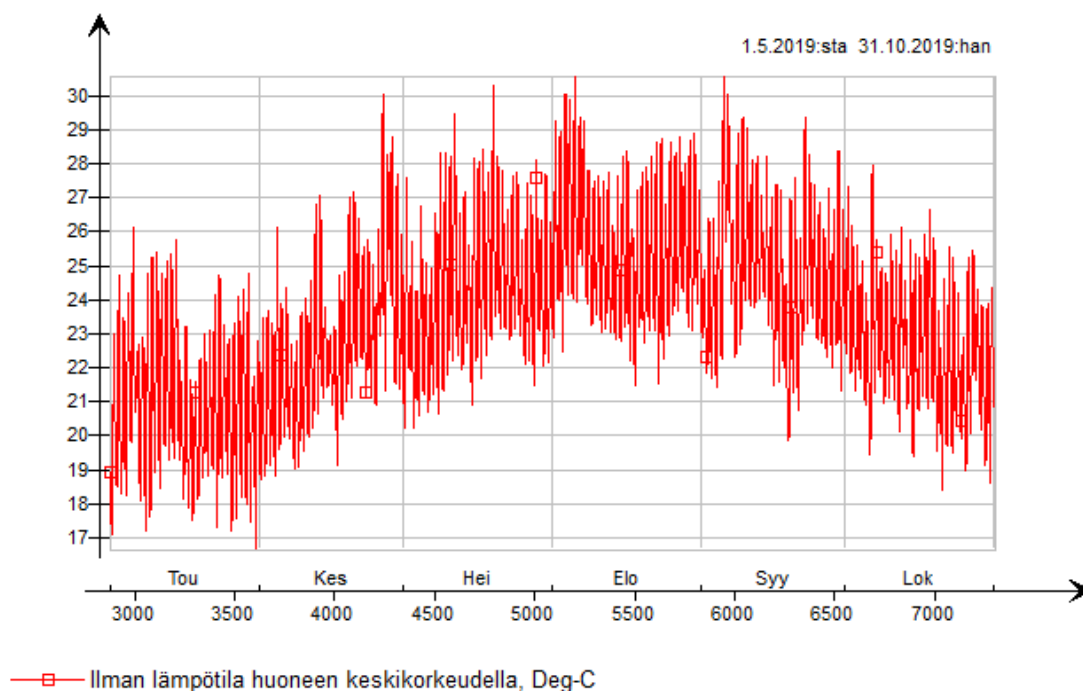


Kuvat 33 ja 34. Rakennuksen ilmanvaihto.

Rakennuksessa riittävä ilmanvaihtuvuus onnistuisi pelkän ikkunatuuletuksen avulla. Luonnollisen ilmanvaihdon päätelaitteet ja ilmanvaihtokanavat on kuitenkin lisätty rakennukseen, jotta ilma rakennuksen sisällä vaihtuu myös silloin, kun kaikki ikkunat ovat

suljettuina. Tällainen tilanne tulee vastaan sateisina päivinä ja viileämpinä ajanjaksoina sekä erityisesti silloin, kun käytetään koneellista ilmastointia.

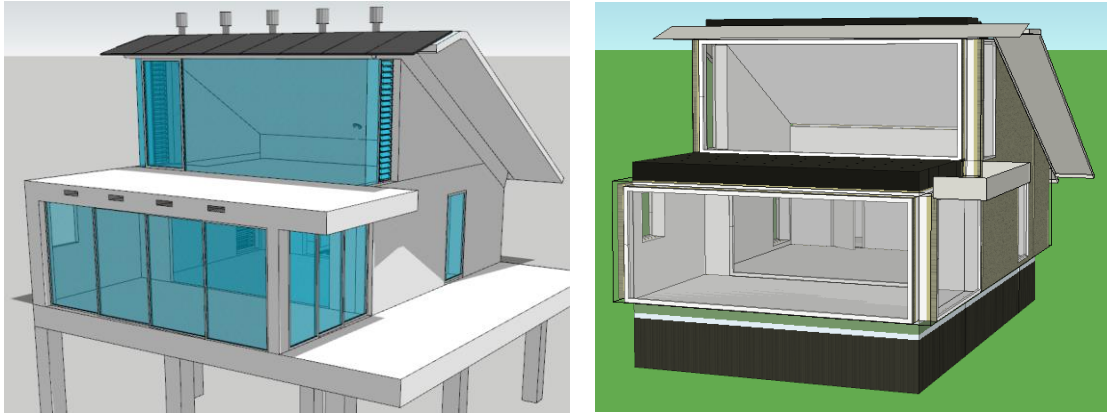
Kuvasta 35 nähdään tehokkaan ilmanvaihdon vaikutus rakennuksen sisälämpötilaan. Sisätilojen maksimilämpötila laskee 11 astetta. Ilmanvaihdon huomioimisen jälkeen rakennuksen sisätiloissa maksimilämpötila nousee 30,5 asteeseen ja operatiivinen lämpötila 31,3 asteeseen.



Kuva 35. Sisälämpötilojen tarkastelu ilmanvaihto huomioituina.

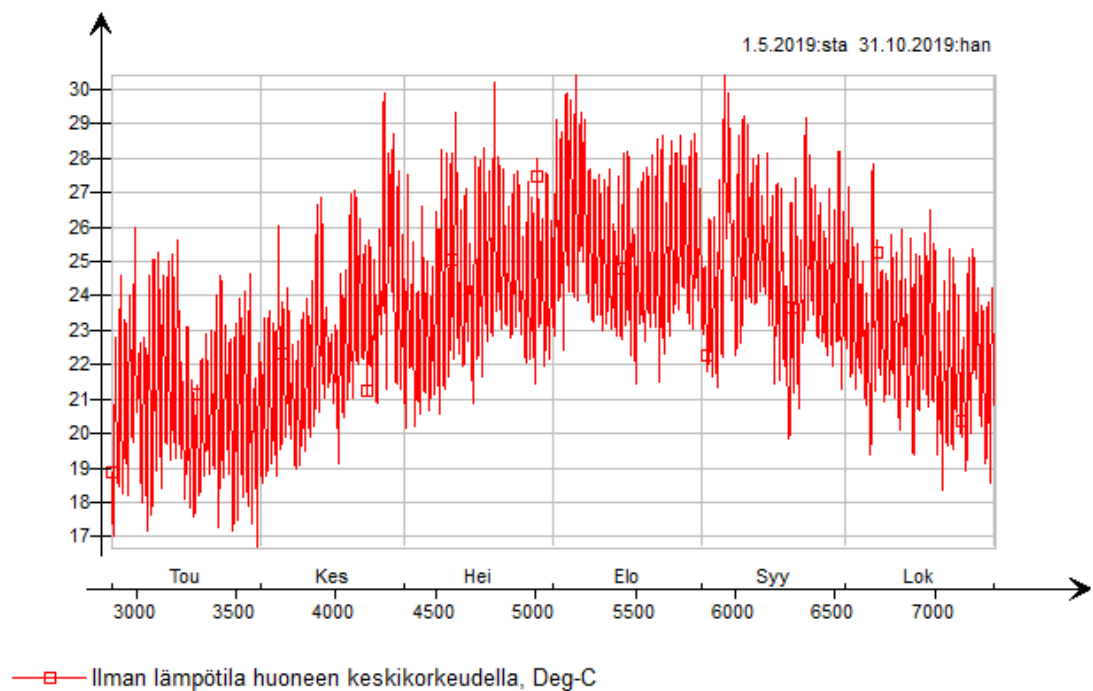
7.6 Rakennuksen geometristen muutosten vaikutukset sisälämpötiloihin

Rakennukseen on lisätty ulkoseiniä ja ikkunoita varjostavat räystäät. Räystääs eteläjulkisivulla ulottuu 1300 mm yli seinäpinnan. Parvekkeen levennyksen pituus on 1000 mm. Yläkerran länteen suuntautuvan ikkunan päälle on lisätty kiinteä, 600 mm:n varjostus. Pohjoissivulla räystääs ulottuu 400 mm yli seinälinjan. Lisäksi ikkunoita on vedetty 200 mm sisäänpäin KPH/Varastoalueella sekä alakerran pohjoisjulkisivulla. Kuvissa 36 ja 37 on esitetty rakennukseen lisätyt kiinteät aurinkovarjostukset.



Kuvat 36 ja 37. Rakennuksen kiinteät aurinkovarjostukset.

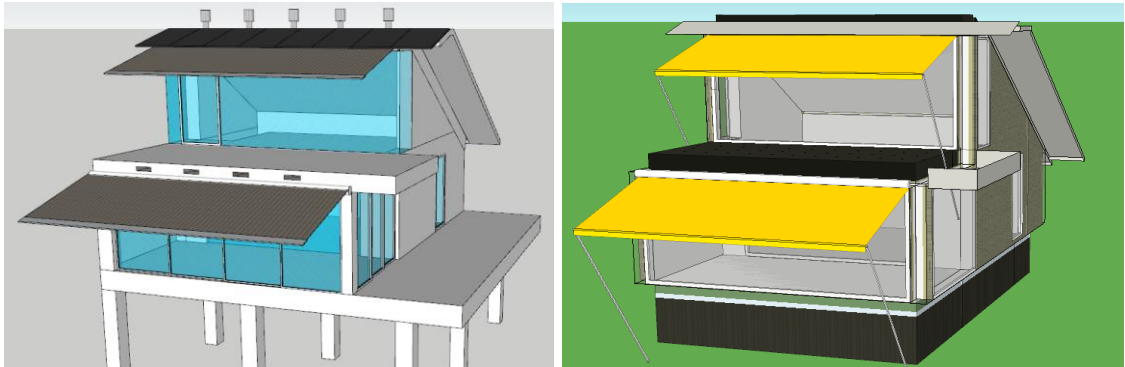
Kuvasta 38 nähdään katon muotojen ja ikkunasyvennyksien vaikutukset rakennuksen sisälämpötiloihin. Rakennuksen geometrinen muutosten jälkeen sisätilojen maksimilämpötila nousee 30,4 asteeseen ja operatiivinen lämpötila 31,1 asteeseen. Simuloinnin tulos herättää pohdintaa kiinteiden varjostusten huomioimisen onnistumisesta. IDA-ICE lämpötila-animaatioissa nähdään selvästi räystäiden varjostukset, mutta lämpötiloihin vaikutus on oletettua huomattavasti vähäisempi.



Kuva 38. Sisälämpötilojen tarkastelu ilmanvaihto ja geometriset muutokset huomioituina.

7.7 Ulkopuolisten aurinkosuojatuotteiden vaikutukset sisälämpötiloihin

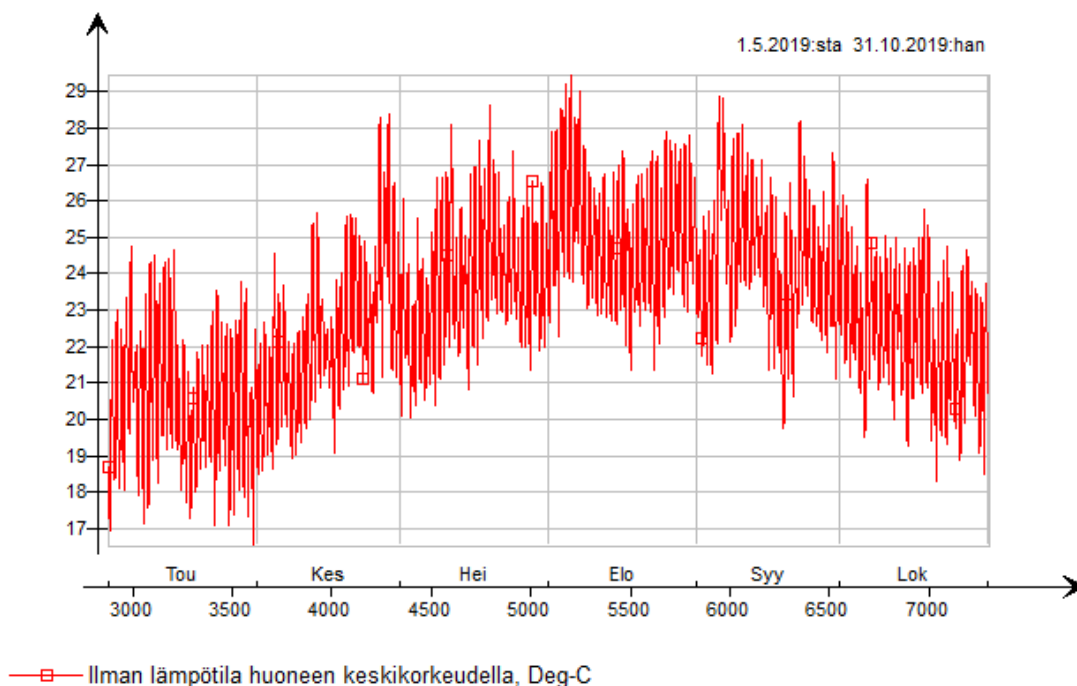
Ulkopuolisiksi liikuteltaviksi aurinkosuojatuotteiksi on valittu nivelmarkiisit. Markiisit on liisätty länsijulkisivulle yläkerran suuren ikkunan päälle ja lasitetun terassin eteen. Kuvissa 39 ja 40 on esitetty rakennukseen lisätyt ulkopuoliset aurinkosuojatuotteet.



Kuvat 39 ja 40. Rakennuksen ulkopuoliset aurinkosuojatuotteet.

Nivelmarkiisit avataan joka iltapäivä suojaamaan sisätiloja yllämpenemiseltä. Markiisit avautuvat päivittäin kello 14.00 ja ne pidetään avoinna auringonlaskuun saakka. Madeirailla auringon suora säteily kohtaa lasitetun terassin länsijulkisivun kuumimpaan vuodenaikaan elokuussa kello 14.00. Markiisit avautuvat 2,4 metriä ulospäin seinäpinnasta.

Kuvassa 41 on esitetty rakennuksen sisälämpötilat ulkopuolisten aurinkosuojatuotteiden ollessa käytössä. Sisätiloissa maksimilämpötila nousee tällöin 29,4 asteeseen ja operatiivinen lämpötila 29,8 asteeseen.



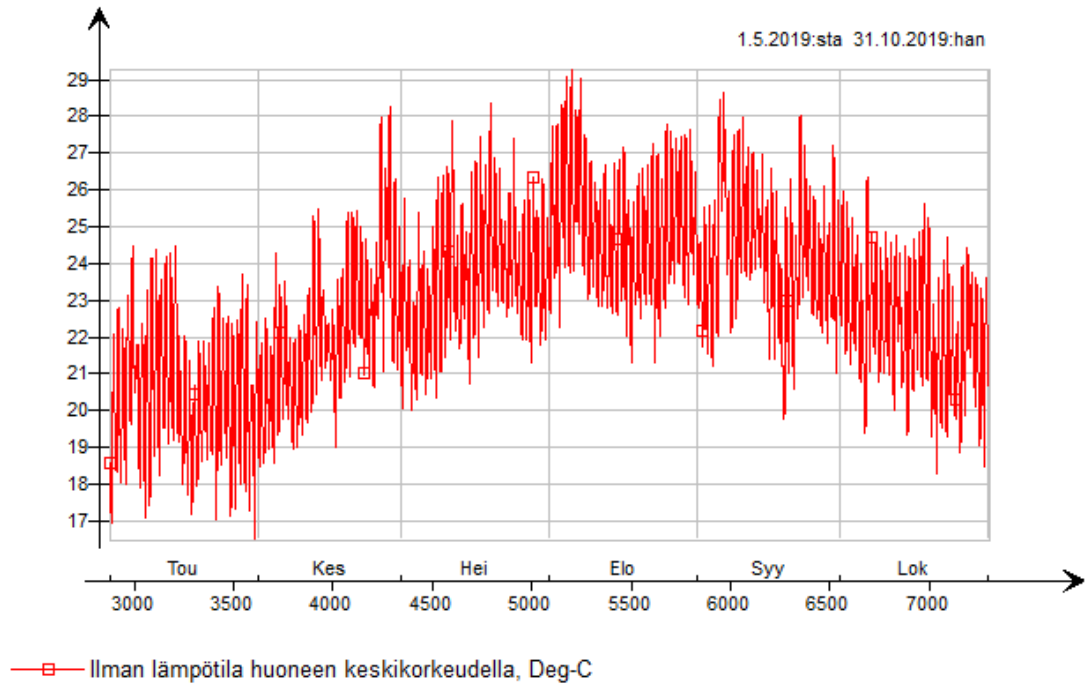
Kuva 41. Sisälämpötilojen tarkastelu ilmanvaihto, geometriset muutokset ja markiisit huomioituina.

7.8 Sisäpuolisten aurinkosuojatuotteiden vaikutukset sisälämpötiloihin

Rakennukseen on lisätty sisäpuoliset vaaleat tiiviit laskoskaihtimet yläkerran suureen ikkunaan ja sen sivuilla oleviin kapeisiin ikkunoihin.

Laskoskaihtimet suljetaan joka iltapäivä suojaamaan sisätiloja yllämpenemiseltä. Laskoskaihtimet lasketaan alas päivittäin kello 14.00 ja pidetään alhaalla aamuun asti.

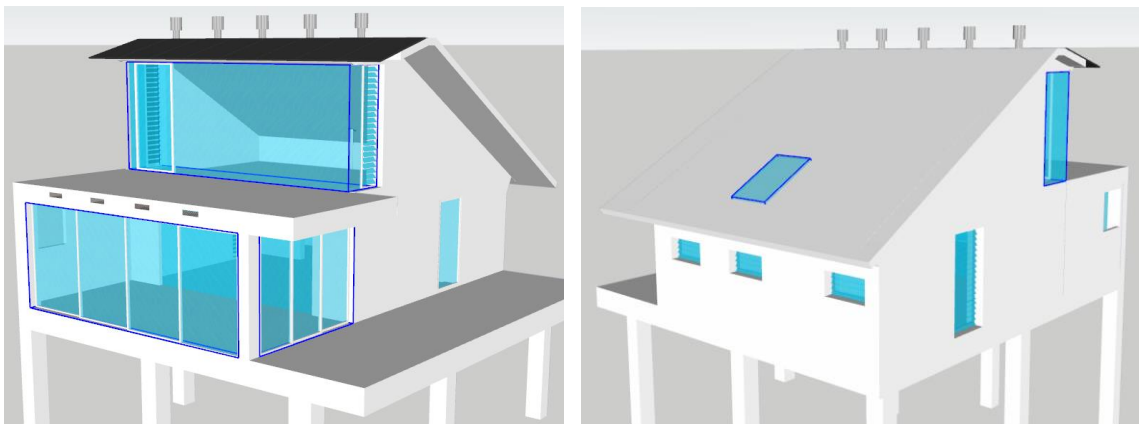
Sisäpuolisten aurinkosuojatuotteiden kanssa sisätilojen maksimilämpötila nousee 29,3 asteeseen, ja operatiivinen lämpötila 29,5 asteeseen. Sisälämpötilojen tarkastelusta nähdään selvästi, että sisäpuolisella aurinkosuojauksella on hyvin pieni vaikutus sisätilojen maksimilämpötilaan. Kaihtimien tarkoitus on antaa käyttäjälle mahdollisuus luonnon valaistuksen säätöön, ja kaihtimilla myös lisätään tilan viihtyvyyttä ja yksityisyyttä. Kuvassa 42 on esitetty sisäpuoliset aurinkosuojatuotteet mukaan lukien sisätilojen lämpötilavaihtelut.



Kuva 42. Sisälämpötilojen tarkastelu ilmanvaihto, geometriset muutokset ja aurinkosuojatuotteet huomioituina.

7.9 Ikkunalasituksen vaikutukset sisälämpötiloihin

Ikkunajärjestelmien vaikutuksia rakennuksen sisälämpötiloihin tutkittiin ikkunoiden lasitusten ominaisuuksia muuttamalla. Lasitusten vertailu kattaa yläkerran suuret ikkunat, lasitetun terassin suuret lasipinnat sekä kylpyhuoneen kattoikkunan. Kuvissa 43 ja 44 simuloinneissa käytetyt ikkunat on korostettu sinisellä reunuksella.



Kuvat 43 ja 44. Simuloinnissa huomioitavat ikkunat.

KPH/varastotilan ikkunat ovat tuuletusikkunoita, samoin kuin pohjoisella julkisivulla sijaitsevat ikkunat. Etelään suuntautuva lasiovi on kesäkuukausina kokonaisuudessaan räystään varjossa ja talvikuukausina on toivottavaa, että lasin läpi pääsee mahdollisimman paljon lämpöä.

Sisälämpötilojen tarkastelu suoritettiin valituilla ikkunajärjestelmillä siten, että ulkopuoliset aurinkosuojat (nivemarkkiisit) ovat alhaalla ja sisäpuoliset verhot ovat vedettyinä ikkunoiden eteen aikavälillä 14.00–21.00. Tarkastelu tehtiin myös siten, että molemmat aurinkosuojaukset ovat käsikäyttöisesti vedetty pois, jolloin auringonsäteily kohdistuu suoraan lasipintaan.

Vertailuun on valittu 4 eri ikkunajärjestelmää (taulukko 5). Ikkunajärjestelmät on valittu pääosin paranevan g-arvon perusteella. Kaikissa aiemmissa simuloinneissa ikkunajärjestelmät ovat olleet lähtötilanteen mukaisia, vakio kaksilasi-ikkunoita. Simuloinnissa 1 on käytetty Low e-lasia, ja simuloinneissa 2 ja 3 selektiivilasia.

Taulukko 5. Vertailuun valitut ikkunajärjestelmät.

Tilanne	Ikkunajärjestelmä	Nimi ja malli	g-arvo	Tv	U-arvo
Lähtötilanne	Vakio kaksilasi-ikkuna	2-lasinen, kirkas, 4-12-4	0,76	0,81	2,9
Simulointi 1	Low-e -lasi	Pilkington Optitherm S3 (4S(3)-15Ar-4-15Ar-S(3)4)	0,49	0,71	0,6
Simulointi 2	Selektiivilasi	Pilkington Suncool 70/40 (6C(74)-15Ar-4)	0,43	0,71	1,1
Simulointi 3	Selektiivilasi	Pilkington Suncool 50/25 (6C(50)-15Ar-4)	0,27	0,5	1,1

Taulukosta 6 nähdään eri ikkunajärjestelmien vaikutukset sisätilojen maksimilämpötiloihin ja operatiiviseen lämpötilaan. Vihreällä värillä korostettu alue on tarkastelussa olennaisin. Rakennuksen ulkopuolista ja sisäpuolista aurinkosuojaa oikein käytettynä voidaan todeta, että ikkunajärjestelmällä ei ole merkittävää roolia oleskelutilojen yllämmön hallinnassa.

Taulukko 6. Valittujen ikkunajärjestelmien maksimi sisälämpötila ja operatiivinen lämpötila.

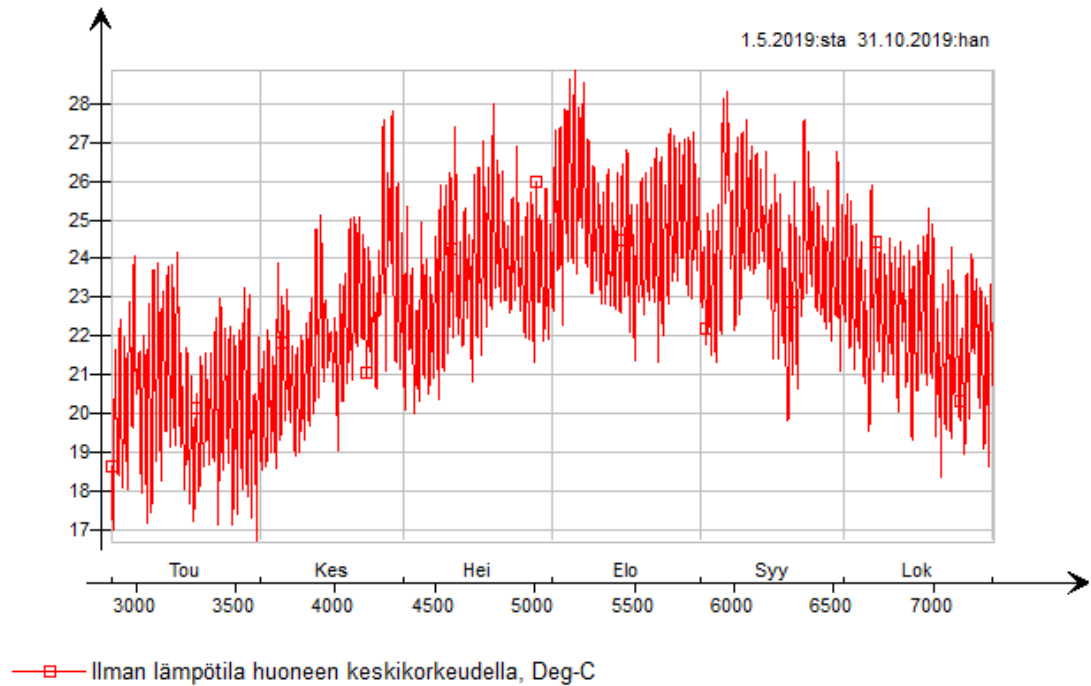
Tilanne	Maksimi sisä- / operat. lämpötila			Maksimi sisä- / operat. lämpötila		
	Terassi	Oleskelutilat	KPH	Terassi	Oleskelutilat	KPH
Lähtötilanne	30,7 / 31,1	29,3 / 29,5	28,8 / 28,9	32,9 / 34,3	30,4 / 31,2	29,1 / 29,2
Simulointi 1	30,4 / 30,9	28,9 / 29,1	28,1 / 28,2	30,5 / 31,0	29,8 / 30,3	28,5 / 28,5
Simulointi 2	30,1 / 30,5	28,8 / 28,9	28,0 / 28,0	31,4 / 32,3	29,5 / 29,9	28,3 / 28,3
Simulointi 3	29,8 / 30,1	28,5 / 28,6	27,7 / 27,6	30,5 / 31,1	29,1 / 29,4	27,9 / 27,9
	*aurinkosuojaus käytössä			ei aurinkosuojaa		
	* Ulkopuolinen aurinkosuojaus ja sisäverhot käytössä aikavälillä 14:00 - 21:00					

Rakennuksen simulointien seuraavaan vaiheeseen on valittu yläkerran suuriin ikkunoihin sekä KPH kattoikkunaan simuloinnissa 2 käytetty ikkunajärjestelmä. Simuloinnissa 3 käytetty selektiivilasi toimisi tehokkaampana aurinkosuojana yllämpenemistä vastaan, mutta ikkunan valonläpäisykerroin (T_v) on saatuun hyötyyn nähden merkittävästi heikompi. Simuloinnissa 3 käytetty lasi päästää luonnonvalosta 50 % läpi, simuloinnissa 2 käytetty lasi puolestaan 71 %.

Lasitetun terassin ikkunoiksi jatkosimulointeja varten on valittu lähtötilanteen vakio kaksi lasi-ikkunajärjestelmä, koska terassin lasiovia pidetään kokonaan avattuina ulkolämpötilojen ollessa korkeat. Terassin ikkunoilla on myös tärkeä rooli rakennuksen lämmittämisessä vuoden viileimpinä kuukausina. Terassin Ikkunajärjestelmän parempi g-arvo heikentäisi passiivisen lämmittämisen vaikutuksia.

7.10 Passiivisten jäähdytysmenetelmien yhteisvaikutukset

Simuloinnit osoittavat, että edellä mainittujen passiivisten jäähdytysmenetelmien yhteisvaikutukset ovat merkittävät. Lähtötilanteessa ilman passiivisia jäähdytysmenetelmiä ja ilmanvaihtoa sisätilojen maksimilämpötila nousi jopa 41,5 asteeseen ja operatiivinen lämpötila 41,7 asteeseen. Valittujen passiivisten jäähdytysmenetelmien avulla maksimilämpötilaa saatiin laskettua 28,9 asteeseen ja operatiivista lämpötilaa 29,1 asteeseen. Kuvassa 45 on esitetty rakennuksen sisälämpötilat silloin, kun kaikki valitut passiiviset jäähdytysmenetelmät ovat käytössä.



Kuva 45. Sisälämpötilojen tarkastelu kun kaikki valitut passiiviset jäähdytysmuodot on huomioitu.

7.11 Koneellisen jäähdytyksen tarve

Valituilla passiivisilla jäähdytysmenetelmillä sisätilojen maksimilämpötila saatiin lasketua noin 29 asteeseen. Tavoiteltu sisäilman maksimilämpötila oli 25 astetta. Voidaan todeta, että sisätilojen yllämpenemistä esiintyy erityisesti heinä-, elo- ja syyskuussa. Koska passiivisilla jäähdytysmenetelmillä ei saatu torjuttua sisätilojen yllämpenemistä riittävän tehokkaasti, tulee näiden menetelmien rinnalle lisätä aktiivinen jäähdytys. Aktiivinen jäähdytys tässä tapauksessa tarkoittaa koneellista ilmastointia.

Sisätilojen voimakas tuulettaminen ei ole vaihtoehto samanaikaisesti koneellisen ilmastoinnin käytön kanssa. Sisälämpötilojen tarkastelussa tämä on huomioitu niin, että tuuletusikkunoita avataan ulkolämpötilaan perustuen, jolloin sisäilman laatu säilyy erinomaisena.

Sisätiloissa ilmanvaihtuvuus säilyy kohtuullisena silloinkin, kun tuuletusikkunat suljetaan kokonaan. Sisäilman lämpötilaan tällä on kuitenkin suuri merkitys. Pienempi ilmanvaihtuvuus vaikuttaa suoraan siihen, kuinka tehokkaasti sisätilojen yllämpö saadaan poistettua. Sisälämpötilojen simuloinnissa tuuletusikkunoiden ollessa suljettuina ja

ilmanvaihdon toimiessa luonnollisen ilmanvaihtojärjestelmän avulla, saadaan sisätilojen maksimilämpötilaksi 32.1 astetta.

Tavoiteltu sisälämpötila maksimijäähdytystilanteessa on 25 astetta. Ilmanvaihdon toimiessa ainoastaan luonnollisen ilmanvaihtojärjestelmän avulla, saadaan sisätilojen maksimilämpötila tavoitteen mukaiseksi silloin, kun jäähdytysteho on käytettävissä 2200 W.

Jotta sisäilmanlaatu saadaan pidettyä erinomaisena myös vuoden kuumimpana päivänä, tarvitaan riittävän ilmanvaihdon takaamiseksi myös tuuletusikkunoiden osittaista käyttämistä. Ikkunatuuletus vaikuttaa merkittävästi sisätilojen jäähdytystarpeeseen. Sisälämpötilojen noustessa korkealle, myös vallitseva ulkoilman lämpötila on korkealla. Suurempi ilmanvaihtuvuus tarkoittaa myös suurempaa lämpökuormaa. Tässä tapauksessa tarvitaan jäähdytystehoa 2800 W, jotta päästään tavoiteltuun 25 asteen sisälämpötilaan.

Sisätilojen jäähdyttämistä varten tarvitaan erillinen ilmastointilaitte. Ilmastointilaitteena voidaan käyttää ilmalämpöpumppua. Ilmalämpöpumpulla saadaan myös katettua viileän jakson lämpöhäviöt, kun tavoitellaan sisälämpötilaa 21 °C. Maksimilämmitystehoa ilmalämpöpumpulta vaaditaan 1300 W.

Ilmalämpöpumppuja on saatavilla erilaisilla ominaisuuksilla ja lukuisilta eri valmistajilta. Kohteeseen sopivan ilmalämpöpumpun tulee omata vähintään 3 kW:n maksimijäähdytysteho ja 1,5 kW:n lämmitysteho.

8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja mallintaa Madeiralla sijaitseva nollaenergiapientalo ja tutkia erilaisten passiivisten jäähdytysmenetelmien vaikutuksia sen sisäolosuhteisiin. Opinnäytetyössä käytiin läpi keskeiset menetelmät ja teoriat, jotka vaikuttavat passiiviseen jäähdyttämiseen ja syvennyttiin erityisesti aurinkosuojauksen, ikkunajärjestelmien ja ilmanvaihdon vaikutusten tutkimiseen.

Valittujen passiivisten jäähdytysmuotojen vaikutuksia tarkasteltiin dynaamisella olosuhdesimuloinnilla. Simuloinneissa keskityttiin sisätilojen maksimilämpötilaan, ja tavoitteena oli pysyä vuoden kuumimpana päivänä alle 25 °C:n maksimilämpötilassa. Ilman valittuja passiivisia jäähdytysmuotoja sisätilojen maksimilämpötila nousi 41,5 asteeseen. Työssä esiteltyjen passiivisten jäähdytysmenetelmien avulla vuoden korkein sisälämpötila saatiin pidettyä 28,9 asteessa.

Dynaamiset olosuhdesimuloinnit osoittivat passiivisista jäähdytysmenetelmistä olevan merkittävä hyöty sisäilman lämpötilan hallinnassa. Koska sisätilojen yllämpenemistä ei kuitenkaan voitu kokonaan estää valituilla passiivisilla jäähdytysmenetelmillä, osoittautui myös aktiivinen jäähdytys lämpövihtyvyyden kannalta tarpeelliseksi. Talvikuukaudet edellyttävät myös erillistä lämmön lähdettä, joten ilmalämpöpumppu on kohteeseen hyvin soveltuva ratkaisu.

Opinnäytetyössä ei tutkittu kaikkien mahdollisten passiivisten jäähdytysmuotojen vaikutuksia sisätilojen maksimilämpötilaan. Seuraavaksi olisikin mielenkiintoista syventyä erilaisten rakenteellisten ratkaisujen vaikutuksiin ja tutkia syvemmin, kuinka esimerkiksi katon lisäeristämien tai maanvaraisen alapohjan vaikutukset näkyisivät maksimilämpötiloissa. Mielenkiintoista olisi myös selvittää rakennuksen vaihtoehtoisten muotojen vaikutuksia sekä nykyisen geometrian toimivuutta siinä tapauksessa, että rakennusta käännettäisiin 90 astetta siten, että terassi ja parveke osoittaisivat suoraan pohjoiseen.

Kuten johdannossa todettiin, tässä opinnäytetyössä toteutuneet tutkimukset ovat osa laajempaa majoitustoiminnan suunnittelu- ja kehittämisprojektia, jossa pyritään rakentamaan kestävä kehityksen mukaisia rakennuskokonaisuuksia. Työn tulokset ovat projektin kannalta lupaavia. Uskon, että tutkimusta syventämällä on mahdollista suunnitella nollaenergiapientalo, jonka sisäolosuhteet säilyvät erinomaisina ympäri vuoden passiivisia jäähdytysmenetelmiä hyödyntämällä.

Lähteet

Aurinkosuojauksen hyödyntäminen. 2020. Verkkoaineisto. Aurinkosuojaus Ry <https://www.aurinkosuojaus.fi/aurinkosuojauksen-hyodyntaminen/>. Luettu 22.2.2020

Aurinkosuojaus. 2018. Rakennustietosäätiö. RT 07-11300.

Beck, Wouter; Dolmas, Dick; Dutoo, Gonzague; Hall, Andreas & Seppänen, Olli. 2011. REHVA. Aurinkosuojaus. Aurinkosuojauksen suunnittelu kestävän kehityksen mukaisesti rakennuksiin. Forssa: Forssa Print 2011

Bernoullin laki. 2020. Verkkoaineisto. Wikipedia. https://fi.wikipedia.org/wiki/Bernoullin_laki. Luettu 15.3.2020

Breezeway Louvre Windows. 2020. Verkkoaineisto. Breezeway. <https://www.breezeway.com.au/> Luettu 11.4.2020

Bungalow. 2019. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Bungalow>. Luettu 13.2.2020

Funchal. 2018. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Funchal>. Luettu 19.2.2020

Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen. 2012. Verkkoaineisto. D3 laskentaopas. www.ym.fi/download/noname/%7B7B8D0893-4715-4FD1-B685-D2B71D6A6559%7D/31274. Luettu 9.2.2020

Kivitalojen energiatehokkuus. 2010. Betoniteollisuus Ry. Tampere: Suomen Rakennusmedia Oy

Lämmöneristys. 2016. Verkkoaineisto. Motiva Oy. https://www.energiatehokas-koti.fi/suunnittelu/rakennuksen_suunnittelu/lammoneristys. Luettu. 15.3.2020

Madeira. 2019. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Madeira>. Luettu 11.3.2020

Massiivisuuden hyödyntäminen. 2020. Verkkoaineisto. Kivitalo info. <https://kivitaloinfo.fi/tietoa-kivitalosta/ymparistovaikutukset/energiatehokkuus/massiivisuuden-hyodyntaminen/>. Luettu 25.1.2020.

Painovoimaisen ilmanvaihdon ohjeluonnos. 2018. Verkkoaineisto. Suomen LVI-liitto. <https://sulvi.fi/wp-content/uploads/2018/04/Painovoimaisen-ilmanvaihdon-ohjeluonnos-2018.pdf>. Luettu. 23.2.2020

Pienhiukkaset. 2020. Verkkoaineisto. Ilmatieteenlaitos. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/pienhiukkaset-ilmansaasteena>. Luettu 22.2.2020

Rakennuksen energiatehokkuus. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma D3. Määräykset ja ohjeet. Helsinki: Ympäristöministeriö

Rushikesh, Shinde; Vaibhav, Lavhale; Ashwin, Nair; Shubham, Pawar & Ritesh, Mahajan. 2016. Generation of Electric Power using Turbo Ventilators. Marathwada Mitra Mandal's Institute of Technology Lohgaon. India: International Journal of Current Engineering and Technology.

Sandberg, Esa. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointiteknikka osa 2. Toimittanut Sandberg E. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Sepponen, Mari; Nieminen Jyri; Tuominen, Pekka; Kouhia, Ilpo; Shemeikka, Jari; Viikari, Meri; Hemmilä, Kari & Nykänen, Veijo. 2013. Lähes nollaenergiatilan suunnitteluohjeet. Asumisen rahoittamis- ja kehittämiskeskus. Helsinki: Edita Prima Oy.

Selektiivilasi eli lämpölasia. 2020. Verkkoaineisto. Suomen Lasiposti Oy. <https://www.lasiposti.fi/rakentajan-lasiopas/selektiivilasi-eli-lampolasi/>. Luettu 3.3.2020

Siikanen, Unto. 2014. Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto Oy

Sipilä, Hannu. 2016. Aurinkosuojaus osana kestävästä rakentamisesta. Opetusmateriaali. Suomen aurinkosuojaus RY.

Sisäilman laatu. 2019. Verkkoaineisto. Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas. <https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/5-ss-sisailman-laatu>. Luettu 15.3.2020

Sisäilman vaikutukset. 2008. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys Ry. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Sisailman-vaikutukset>. Luettu. 15.3.2020

Suojakalvot. 2017. Rakennustietosäätiö. RT 38889

Tuomaala, Pekka. 2013. Ihmisen lämpöaistimuksen uusi arviointimenetelmä. Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy ja Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL Ry. Rakennuttaja kalenteri 2013.

Turbowent vedonparantajat. 2020. Verkkoaineisto. HL Pinta. <https://www.hlpinta.fi/turbowent-vedonparantaja/>. Luettu 25.2.2020

Ulkopuoliset aurinkosuojat. 2017. Rakennustietosäätiö. RT 38859.

Valkeapää, Aki. 2019. LVI-tekniikan mitoitusperusteet. Lämmönsiirto ja virtaus-tekniikka. Itseopiskeluaineisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Älylasi. 2020. Verkkoaineisto. KLH-Glass. <https://klh-glass.fi/alylasi/>. Luettu. 22.2.2020