

Jäähdytystehon mitoitusopas

Jäähdytystehon mitoitus, järjestelmäratkaisut ja
olosuhdetarkastelut muuttuvaan ilmastoon



Jäähdytystehon mitoitusopas
– Jäähdytystehon mitoitus, järjestelmäratkaisut
ja olosuhdetarkastelut muuttuvaan ilmastoon

ISBN 978-952-94-9981-6 (pehmeäkantinen)
ISBN 978-952-94-9982-3 (PDF)

Tämä opas on Equa Simulation Finland Oy:n omaisuutta. Se on laadittu huolellisesti käyttäen alan parhainta mahdollista saatavissa olevaa tietoa. Vastuu tämän oppaan sisältämän informaation soveltamisesta on sen käyttäjällä.

© Versio 1.5.2025. Equa Simulation Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään

Tämän oppaan tekstin ja kuvien jäljentäminen ilman julkaisijan tai alkuperäisen tekijänoikeuden haltijan kirjallista lupaa painamalla, monistamalla, valokuvaamalla, elektronisesti tallentamalla tai muulla tavoin on tekijänoikeuslain (404/61) mukaisesti kielletty.

Pyynnöt saada kopioida tätä teosta kokonaan tai osittain tulee lähettää Equa Simulation Finland Oy:n vastuuhenkilöille (equa.fi).

Graafinen suunnittelu: Jarkko Narvanne
Kannen kuva: Daikin

Sisällysluettelo

Esipuhe	5
Johdanto	6
Määritelmät ja käsitteet	7
Ilmastonmuutokseen varautuminen	9
Jäähdytyslaitteet	11
Ilmanvaihdon jäähdytys	11
Jäähdytyspaneeli	14
Jäähdytyspalkki	17
Lattiaviilennys	18
Puhallinkonvektori	20
Ilmalämpöpumppu	20
Jäähdytystehon laskennan lähtötiedot	21
Jäähdytystehon mitoituksen tavoitearvot	21
Säätiedot	22
Rakennuksen tiedot ja ympäristö	24
Rakennuksen rakenteet ja ilmanpitävyys	25
Ikkunat ja aurinkosuojaus	25
Sisäiset lämpökuormat ja kosteuskuormat	28
Talotekniikka	31
Jäähdytys ja järjestelmähäviöt	31
Ilmanvaihto ja ilmanvaihdon jäähdytyspatteri	32
Jäähdytystehon mitoitus	33
Tavoitearvo ja asetusarvo	34
Kastepistesäätö	36
Tuloilman jäähdytys ja lämpeneminen kanavistossa	37
Yötuuletus ja yöjäähdytys	39
Jäähdytyksen laitevalinta	41
Jäähdytystehon mitoitus tuloksien esittäminen	41
Rakennuksen jäähdytyksen kokonaistehontarve	42
Energiankulutus	43
Olosuhdetarkastelu	46
Lähteet	46
Liite 1: Kerrostalohuoneiston jäähdytystehon mitoitus	47
Liite 2: Toimistotilojen jäähdytystehon mitoitus	70
Liite 3: Ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterin mitoitus	91
Liite 4: Erityishuomiot eri rakennustyyppien tiloissa	92
Liite 5: Lähtötietojen taulukot jäähdytystehon mitoitukseen	98

Oppaan tuottamisen rahoittivat



Esipuhe

Alkusysäys tämän oppaan laatimiselle syntyi Sisäilmayhdistyksen *Sisäilmaoppaan 11 Sisäilmastoluokituksen lämpöolosuhteiden laskennalliset tarkastelut* laatimisen aikana. Lämmitystehontarpeen määrittelystä poiketen jäähdytystehontarpeen laskentaa ei ole ohjeistettu ympäristöministeriön määräyksissä ja ohjeissa. Myöskään yleistä ohjetta ei ole ollut alalla käytössä.

Hankevalmistelun aikana havaittiin, että lähtöarvot käytettävistä mitoitusolosuhteista vaihtelivat huomattavasti eri suunnittelutoimistojen ja jopa suunnittelijoiden välillä. Kun yleiset ohjeet ja suositukset ovat puuttuneet, mitoituksessa huomioitavat yksityiskohdat ovat jääneet hankekohtaisesti sovittaviksi. Lisäksi sisäilmaolosuhteiden suunnittelussa kosteuskuormien hallinta korostuu, kun ilmasto muuttuu ja ulkoilman kosteus kasvaa. Varsinkin kuivissa jäähdytysjärjestelmissä, joissa yleisesti on kastepisteohjaus, sisäänpuhallusilman kosteustaso ja sisäpuoliset kosteuskuormat vaikuttavat merkittävästi jäähdyttävien huonelaitteiden lämpötilatasoihin ja tehomitoitukseen.

Oppaan tekstit ja laadintaesimerkit ovat kaikkien vapaassa käytössä, samoin kuin hankkeessa tehtyt esityskalvot. Laadintaesimerkeistä on lisäksi tehty yliopistoille ja ammattikorkeakouluille opetukseen sopivia harjoitustehtäviä.

Oppaan ovat tuottaneet TkL Mika Vuolle ja DI Toni Pölönen Equa Simulation Finland Oy:stä. Hankkeen ohjausryhmän puheenjohtajana toimi Kimmo Liljeström (NCC Oy). Ohjausryhmään kuuluivat myös Lauri Savolainen (A-insinöörit Suunnittelu Oy), Petri Rokkanen ja Juhana Repo (Aurinkosuojaohjeistys Ry), Mikko Roininen ja Jussi Kumm (Daikin Finland), Jouko Niemelä (Equa Simulation Finland Oy), Mika Autiopolto (FCG Oy), Hannu Rissanen ja Mikael Virtanen (Fläktgroup Finland Oy), Panu Mustakallio (Halton Oy), Minna Launiainen (Helsingin Kaupungin Asuntotuotanto), Marianna Tuomainen (Helsingin Kaupunkiympäristön toimiala), Petri Sormunen ja Niko Hyttinen (Itula Oy), Taru Lähteenmäki (Koja Oy), Janne Jokisalo ja Heidi Sell (Ramboll Finland Oy), Hannu Lindroos (Swegon Oy Ab), Juhani Hyvärinen (Talotekninen teollisuus ja kauppa ry), Saija Nieminen, Toni Wahlfors ja Jaana Jauhiainen (Uponor Oyj). Ohjausryhmälle erityiskiitos sekä aktiivisesta ohjausryhmätyöskentelystä että kahdenkeskisistä keskusteluista. Ilman ohjausryhmän aktiivista panostusta oppaan sisältöä ei olisi saatu vastaamaan alan tarpeita.

Oppaan taiton on tehnyt Jarkko Narvanne.

Oppaan esimerkit, suositukset ja lähtötiedot eivät ole yleispäteviä, vaan jäähdytystehontarkastelut tulee tehdä rakennushanketta parhaiten kuvaavilla ajantasaisilla tiedoilla.

Espoossa 20.11.2024

Mika Vuolle ja Toni Pölönen
Equa Simulation Finland Oy

Rakennusten ja tilojen jäähdytystehon laskenta ei ole yksinkertaista, sillä jäähdytystehon laskennassa rakennus ei ole stationääritilassa, kuten sen oletetaan olevan lämmityksen tehomitoituksessa. Jäähdytystehon mitoittamiseen vaikuttavat monet rakennuksen ulkopuoliset ja sisäiset johtumis-, konvektio- ja säteilylämmön prosessit, jotka vaihtelevat suuruudeltaan lasketavan 24 tunnin mitoituspäivän aikana. Keskeisiä haasteita jäähdytystehon laskennassa ovat lämmön varastoituminen rakenteisiin, auriongonsäteilyn mallintaminen ikkunalasituksessa ja pintojen välinen lämmönsiirto. Dynaamisella simuloinnilla voidaan tilojen lämpötaseilla mitoittaa tarvittavat jäähdytystehot, jotta haluttu lämpötila voidaan ylläpitää tai vaihtoehtoisesti jäähdytysteho mitoittaa niin, että jäähdytyksen asetusarvo ja tavoitearvo poikkeavat toisistaan. Toisin sanoen tavoitelämpötila voi olla +25 °C ja jäähdytyksen asetusarvo +23 °C. Mitä tarkemmin lähtötiedot on määritelty ja mallinnus tehty, sen varmempia voidaan olla mitoituksen tasosta.

Tämän oppaan ohjeistuksella ja laskennallisten tarkastelujen laadintaesimerkeillä halutaan selkeyttää jäähdytystehon mitoituksen menettelyyn sisältyviä lähtötietoja, mallinnusta ja asetus- sekä tavoitearvojen mahdollisuuksia. Menettelyä noudattamalla rakennushankkeille voidaan määrittää selkeä ja tarkka mitoituksen tavoitetaso, jotta tiedetään, millä mitoitusolosuhteilla saavutetaan tavoitelämpötilat mitoitetulla jäähdytysteholla. Opas ei kuitenkaan ole mikään standardi, jonka perusteella tietyt mitoituksen lähtötiedot määritellään. Opas ei siis määritä jäähdytystehon mitoitusarvojen tavoitetasoa, vaan se määrittyy hankekohtaisesti käytettävillä lähtötiedoilla. Tilaaja voi käyttää tätä opasta lähteenä, kun vaatimuksena on, että suunnittelija tuntee oppaan sisällön ja pystyy mitoittamaan huonelaitteiden jäähdytystehot oppaan laadintaesimerkkien tarkkuustasolla tai hankkeessa erikseen määritetyllä tavalla.

Keskeisen osan oppaasta muodostavat laadintaesimerkkien liitteet 1 ja 2, joissa jäähdytystehon mitoitus on laadittu kerrostalon asuinhuoneiston ja toimistokerroksen useammalle eri jäähdytyksen huonelaitteelle. Laadintaesimerkit ovat osittain

esimerkkitulosteita jäähdytystehon mitoituksen tarkasteluista, joissa esitettyjen lähtöarvojen ja mitoitus tuloksien lisäksi on laadittu herkkyystarkastelut ja olosuhdetarkastelut sekä kuvattu mitoitusprosessin kulkua. Laadintaesimerkeissä käytettyjä lähtöarvoja ei tule käsitellä tarkastelujen oletusarvoina, vaan ainoastaan kyseisen laadintaesimerkin mitoituksena.

Määritelmät ja käsitteet -luvussa on esitetty oppaan aiheeseen liittyviä keskeisiä määritelmiä ja käsitteitä.

Ilmastomuutokseen varautuminen -luvussa käsitellään ilmastomuutokseen varautumista ilmastoskenaarioiden säätietojen, jäähdytystehon mitoituksen ja teknisten varausten kannalta.

Jäähdytyslaitteet -luvussa on esitetty erilaisia huonelaitteita ja niiden ominaisuuksia jäähdytystehon mitoituksen kannalta.

Jäähdytystehon laskennan lähtötiedot -luvussa käsitellään jäähdytystehon laskennan keskeisiä lähtötietoja, jotka vaikuttavat hankkeen mitoituksen tavoitetasoon.

Jäähdytystehon mitoitus -luvussa käsitellään jäähdytystehon mitoittamiseen liittyvää jäähdytyksen asetusarvoa, tavoitearvoa ja muita ohjauksia, jotka vaikuttavat huonelaitteiden jäähdytystehoon mitoituspäivinä. Luvussa käsitellään lisäksi rakennuksen kokonaistehontarvetta, jäähdytyksen energiankulutusta ja olosuhdetarkastelua.

Jäähdytystehon mitoituksen ajoitus on aina projektikohtainen. Lähtökohtaisesti mitoitus ei haluta tehdä useampaan kertaan. Näin ollen ajoituksessa yleensä vaaditaan, että lähtötiedot ovat riittävät ja jäähdytystehontarpeeseen vaikuttavat muut esiselvitykset ovat valmistuneet. Yksittäisten tilojen myöhemmät suunnittelumuutokset ovat aina mahdollisia, jolloin merkittävässä muutoksissa voidaan tarvita kyseisten tilojen mitoituksen päivitystä. Lopullinen mitoituksen tavoitetaso voi esimerkiksi olla hankkeessa valitun Sisäilmastoluokituksen tason täyttyminen jäähdytyskaudella tietyllä tulevaisuuden säätiedolla ja päästöskenaariolla, joka mitoituksen jälkeen selvitetään olosuhdetarkastelulla. ■

Määritelmät ja käsitteet

Tässä luvussa käsitellään jäähdytystehon mitoittamiseen liittyviä määritelmiä ja käsitteitä, jotka ovat keskeisiä tämän oppaan tarkasteluissa.

Asetusarvo tarkoittaa joko ilman tai operatiivisen lämpötilan arvoa, jota jäähdytyslaite pyrkii ylläpitämään. Asetusarvoa voidaan kutsua myös jäähdytyksen asetusarvoksi. Tilojen lämpötila voi nousta yli asetusarvon, kun lämpökuormat ovat jäähdytyslaitteen tehoa suuremmat. Näin voi käydä varsinkin hellepäivänä, jos jäähdytystehon mitoitus on tehty tavoitearvoa matalammalla asetusarvolla.

Enimmäisarvo. Huonelämpötilalle voidaan asettaa enimmäisarvo, jota ei saa ylittää koko vuoden lämpöolosuhteiden laskennallisten tarkasteluiden (olosuhdetarkasteluiden) perusteella. Esimerkiksi Sisäilmastoluokituksen S2-luokituksen perusteella operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo on 27 °C, kun ulkoilman 24 tunnin keskiarvo on yli 20 °C. On huomioitava, että S2-luokituksessa vaihteluvälin sallittu korkein lämpötila on 26 °C. Siitä saa poiketa 10 % (asunnot 20 %) koko vuoden käyttöajasta, kunhan vaaditun enimmäisarvon lämpötila ei ylitä.

Ikkunan g-arvo. Ikkunan g-arvo on koko ikkunan pinta-alalle määritelty auringonsäteilyn kokonaisläpäisyn arvo, jossa lasin lisäksi on otettu huomioon umpiosien osuus ikkunapinta-alasta. Tunnetaan myös merkinnällä g_w -arvo.

Ikkunan T_e -arvo on suorana säteilynä lasin läpäisevän auringonsäteilyn osuus. Tunnetaan myös merkinnällä T_{sol} tai ST.

Ikkunan T_{vis} -arvo on lasin läpäisevän näkyvän valosäteilyn osuus. Tunnetaan myös merkinnällä $\tau_{visible}$ tai LT.

Ikkunan U_w -arvo (W/m^2K) on lämpövirran tiheys, joka jatkuvuustilassa läpäisee ikkunan, kun lämpötilaero eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen. Tämä määritellään 1 200 × 1 200 mm:n kokoiselle ikkunalle. Ikkunan U -arvo vaihtelee ikkunan pinta-alan mukaan, koska lasituksen ja umpiosien lämmönläpäisykerroimet ovat tyypillisesti eri suuruiset.

Jäähdytys tarkoittaa prosessia, jossa nesteen, ilman tai tilan lämpötilaa pyritään alentamaan. Jäähdyttävän järjestelmän jäähdytysteholla pystytään ylläpitämään sisätilojen tavoitelämpötilaa.

Jäähdytyskuorma. Tilan jäähdytyskuorman summa on tilasta poistuva energiavirta, jotta tilan ilman lämpötila pysyy vakiona. Esimerkiksi rakennuksen massa- ja varastoituvan lämmön takia tilan jäähdytyskuorma ei välttämättä ole yhtä suuri kuin lämpökuorma. Tilan jäähdytystarve on jäähdytysteho, jota muun jäähdytyskuorman lisäksi tarvitaan, jotta tilan lämpötila pidetään halutussa.

Kastepiste. Ilmamassan kastepiste on lämpötila, johon jäähdytettynä ilma saavuttaisi vesihöyryn kyllästystilan, eli suhteellinen kosteus olisi 100 %. Mikäli jäähdyttävän huonelaitteen menoveden lämpötila on alle kastepisteen, ilman vesihöyrystä voi muodostua kylmälle pinnalle kondenssia eli nestemäistä vettä. Kun jäähdyttävä huonelaite ei ole kondenssiviemäri, tulee menoveden lämpötilassa tai jäähdyttävässä pinnassa huomioida, ettei se kondenssin takia saa olla huoneilman kastepisteen lämpötilaa alhaisempi. Yleensä huonelaitteen kastepisteohjauksessa menoveden lämpötila huomioidaan vähintään yhden asteen kastepistelämpötilaa korkeammaksi.

Lasituksen g-arvo. Aurinkotekijän g-arvo on lasirakenteen kokonaan läpäissyt aurinkoenergia, joka saadaan, kun lasirakenteen läpäisevään säteilyyn lisätään lasirakenteeseen absorboituneesta energiasta tilaan sisään tuleva osuus. Tunnetaan myös merkinnällä g_g -arvo.

Lasituksen U_g -arvo ($W/(m^2 \cdot K)$) on lämpövirran tiheys, joka jatkuvuustilassa läpäisee lasin, kun lämpötilaero on yksikön suuruinen eri puolilla olevien ympäristöjen välillä.

Logaritminen keskilämpötilaero on tuloneste- ja paluuneste- ja välinen keskimääräinen lämpötilaero lämmönsiirtimessä. Lämpötilaeron ja konduktanssin avulla voidaan laskea lämmönsiirron lämpöteho.

Lämpökuorma. Tilan lämpökuorma on tilaa lämmittävä energiavirta. Lämpötaseen keskeisiä lämpökuormia ovat esimerkiksi auringon säteily, sisäiset kuormat (kuten ihmiset, valaistus ja laitteet), ulko- ja tuloilman lämpötila, ilmavirtaukset ja rakenteiden pintojen ja ilman välinen lämmönsiirto.

Lämpötase tarkoittaa tilaan sisään tulevien, siellä syntyvien ja tilasta poistuvien lämpövirtojen määrittämistä käsitteellä: kaikkea energiaa, joka tulee (lämmittää) tilaan tai poistuu (jäähdyttää) tilasta. Energian häviämättömyyden takia energiavirtojen ja varastoitumisen summa (tase) on nolla.

Lämpötilan sallittu vaihteluväli viittaa Sisäilmastoluokituksessa määritettyihin lämpötilavaihteluihin, joissa ei ole käyttöajan osuuden pysyvyyksirajausta. Esimerkiksi Sisäilmastoluokituksen S2-luokituksessa operatiivisen lämpötilan sallittu vaihteluväli on kesäheleillä 21 °C:n ja 26 °C:n välillä.

Operatiivinen lämpötila on ilman lämpötilan ja pintojen säteilylämpötilojen keskiarvo tilan tietyssä pisteessä. Se kuvaa ihmisen kokemaa lämpötilaa paremmin kuin pelkkä ilman lämpötila. Jäähdytystehon mitoituksessa operatiivisen lämpötilan tarkastelukohta tai -kohdat määritetään tilan tyypillisille tai keskeisille sijainneille kalustuksen tai huoneen geometrian perusteella. Tarkastelukohta voi esimerkiksi sijaita 1,5 metrin päässä ikkunan keskipisteestä, kun tarkastelukohdasta ei ole parempaa tietoa. Operatiivinen lämpötila voidaan mitata nestepatsaslämpötilamittarilla tai sähköisellä anturilla oleskeluvyöhykkeeltä 1,1 metrin (työpisteessä 0,6 m) korkeudelta standardin SFS-EN 12599 mukaisesti.

Patterin konduktanssi on patterin lämmönsiirtokyky. Yksikkönä käytetään wattia per kelvin (W/K).

RCP-skenaario. Ihmiskunnan ilmakehään vapauttamien kasvihuonekaasujen määrää ja pitoisuutta ilmakehässä kuvaavat vaihtoehtoiset kehityskulut (*Representative Concentration Pathways*). Niitä käytetään ilmastomallien lähtötietoina, kun ilmaston muuttumista arvioidaan. Skenaariot RCP2.6, RCP4.5 ja RCP8.5 johtavat kuluvaan vuosisadan loppuun mennessä globaaliin säteilypakotteeseen, jonka suuruus on 2,6, 4,5 tai 8,5 W/m².

Riskitaso. Riskitasolla tarkoitetaan niiden päivien osuutta sääaineiston tarkastelujaksolla, jolloin riskitason määritellyt mitoitusolosuhteet ylitetään. Riskitasolla viitataan valitun %:n päivien osuuteen, jolloin sääaineistossa ylitetään riskitason mitoitusolosuhteet. Näin ollen 2 %:n riskitaso tarkoittaa sääaineiston tarkastelujaksolla 2 % ajasta vaativampia olosuhteita kuin riskitason mitoituspäivänä.

Suunnittelu-arvo. Tätä käytetään yleensä järjestelmien tehomitoituksen ja komponenttien valinnan oletusarvona. Jäähdytyksessä jäähdytystehon mitoituksen maksimilämpötilan tavoitearvoa voidaan pitää järjestelmän suunnittelu-arvona. Sisäilmastoluokituksessa S2-luokan jäähdytysjärjestelmän suunnittelu-arvo on 25,5 °C, joka voi vaatia tarkennusta, mikäli operatiivisen lämpötilan tavoitteet sitä vaativat.

Tavoitearvo. Jäähdytystehon mitoituksessa tavoitearvoa käsitellään huonelämpötilan tavoitteellisenä maksimilämpötilana. Mitoituksella voidaan pyrkiä löytämään huonelaitteen jäähdytysteho, jolla mitoituskenaariossa ei ylitetä ilman tai operatiivisen lämpötilan tavoitearvoa. Mikäli jäähdytystehon mitoitus on tehty tavoitearvoa matalammalla asetusarvolla, voidaan mitoituskenaariossa huonelämpötilan tavoitearvoa pitää tavoitteellisenä poikkeamana jäähdytyksen asetusarvon lämpötilasta. Tavoitearvon lämpötila voi koko vuoden tarkastelussa muuttua ulkolämpötilan perusteella esimerkiksi Sisäilmastoluokituksen (2018) S1- tai S2-luokan operatiivisen tavoitelämpötilan perusteella. Säätekniikassa tavoitearvoa käsitellään usein asetusarvona, mutta tässä oppaassa kyse on tavoitearvon maksimilämpötilasta.

Viilennys. Viilentävällä järjestelmällä tarkoitetaan pienitehoisempaa järjestelmää, jolla pyritään ensisijaisesti rajoittamaan tilojen suurimpia lämpötilannousuja. Kun useampaa viilentävää järjestelmää käytetään yhdessä, niiden jäähdyttävällä yhteisteholla voidaan saavuttaa erittäin hyvät sisäolosuhteet lämpötilan ja kosteuden osalta jäähdytyskaudella. Kun lämmittävät ja jäähdyttävät huonelaitteet on mitoitettu ensisijassa lämmitystehontarpeen mukaan, voidaan niiden jäähdytyksen tekniset ominaisuudet määrittää viilennyksenä, jos laitteiden jäähdytysteho ei riitä tavoitelämpötilan saavuttamiseen jäähdytystehon mitoituspäivänä. Kun useamman viilentävän järjestelmän jäähdytystehojen summa riittää saavuttamaan mitoituspäivän tavoitelämpötilan, voidaan tiloja kutsua jäähdytetyiksi viilennettyjen sijaan. ■

Ilmastomuutokseen varautuminen



Vastuullisessa rakentamisessa otetaan huomioon ilmastomuutoksen myötä yleistyvät sään ääri-ilmiöt, kuten helleaallot ja rankkasateet. Tämä pätee niin uusien rakennusten kuin peruskorjaustenkin suunnittelussa ja toteutuksessa. Sisäilman lämpöolosuhteiden kannalta varautuminen tulisi ensisijaisesti tehdä lämpökuormia vähentämällä passiivisin keinoin, kuten aurinkosuojauksella. Näiden jälkeen rakennus varustetaan joko viilentävillä tai jäähdyttävillä järjestelmillä, mikäli lämpöolosuhteiden selvitykset niitä edellyttävät.

Euroopan unionin julkaiseman EU-taksonomian avulla on luotu kestävän rahoituksen luokittelujärjestelmä, jonka kriteereihin kuuluu ilmastomuutoksen sopeutuminen ja jossa vaatimuksena on mm. ilmastoriskin arviointi tulevaisuuden ilmastoennusteiden skenaarioilla. Green Building Council Finland ja Ramboll ovat vuonna 2022 julkaisseet raportin *Tulkintoja EU-taksonomian DNSH 2, 4 ja 6 kriteereihin*. Raportissa on esitetty kriteereihin liittyvää tulkintaa ja pohdintaa, joista seuraavat asiat on hyvä huomioida jäähdytyksen mitoituksen ja olosuhdetarkastelujen kannalta:

"Ilmastoriskitarkasteluissa tulisi huomioida uusille rakennuksille vähintään tulevat 50 vuotta ja olemassa oleville rakennuksille vähintään tulevat 30 vuotta" • "Sopeutumistoimissa on järkevää huomioida vähintään RCP4.5-ilmastoskenaario, joka on tällä hetkellä todennäköisin skenaario" • "Talotekniikan, kuten jäähdytysjärjestelmän, sopeutumistoimiin tulee varautua ja huomioida järjestelmien käyttöönottoaminen helpoksi" • "Jäähdytysjärjestelmien laitteiston käyttöikä huomattavasti myöhempään ilmastoskenaarioon ei ole laitteiston osalta tarpeenmukaista varautua."

Eri rakennuksille tarkoitetuissa sertifikaateissa on myös kriteereitä, jotka koskevat ilmastomuutokseen varautumista. Ruotsin uudisrakentamisen BREEAM-ohjeen kriteeristön mukaan projekteissa tulee varautua ilmastomuutokseen sääskenaarioilla. Painovoimaisen tai koneellisen ilmanvaihdon rakennusten, joissa ei ole jäähdytystä, tarkasteluissa tulee huomioida tulevat 50 vuotta ja päästöskenaariot RCP4.5 ja RCP8.5. Rakennuksissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto ja jäähdytys, tulee huomioida tulevat 20 vuotta ja päästöskenaariot RCP4.5 ja RCP8.5. BREEAM-ohjeen mukaan nämä ovat säätietojen osalta vähimmäisvaatimukset käytettävistä sääskenaarioista tilojen lämpöolosuhteiden simuloinneissa.

Tämän oppaan laadintaesimerkeissä jäähdytystehon mitoitukset on tehty käyttämällä Vantaan vuoden 2020 jäähdytyksen mitoituspäiviä ja 2 %:n riskitasoa.

Herkkyystarkasteluista todettiin, että Vantaan vuoden 2050 RCP4.5-skenaarion ja 2 %:n riskitason mitoituspäivillä sekä vuoden 2020 mitoitetuilla jäähdytystehoilla lisäys tilojen maksimilämpötiloihin oli kohtuullinen, noin 0,1–0,4 °C. Olosuhdetarkasteluissa mitoituksilla saavutettiin jäähdytyskaudella Sisäilmastoluokituksen S2-luokan operatiivisen lämpötilan tavoitteet vuoden 2018 Vantaalla toteutuneella säätiedolla, joka oli poikkeuksellisen kostea ja helteinen. Mitoituksille on myös tehty koko vuoden olosuhdetarkastelu Vantaan vuoden 2050 RCP8.5-skenaarion säätiedolla. Sillä saavutettiin laadintaesimerkkien kohteille S2-luokituksen tavoitearvot jäähdytyskaudella. Riittävällä tuloilman jäähdytyspatterin mitoituksella, vuoden 2020 ja 2 %:n riskitason mukaisilla jäähdytyksen huonelaitteiden tehomitoituksilla ja huomioituilla ohjauksilla voidaan siis varautua yli 20 vuoden päässä olevaan RCP8.5-päästöskenaarioon. Tämä ei kuitenkaan poissulje sitä, etteikö vuoden 2020 ja 2 %:n riskitason mitoituksille tulisi tehdä olosuhdetarkasteluja, sillä tulokset ovat kohdekohtaisia ja voivat vaihdella.

Rakentamisessa on hyvä varautua ilmastomuutoksen mukanaan tuomiin jäähdytystarpeen muutoksiin tekemällä tarvittavia varauksia. Suunnittelussa voidaan huomioida tulevaisuudessa tarvittavan keskitetyn jäähdytysjärjestelmän tuotannon ja jakelun tilantarpeet tai tehon lisäämisen tilantarve. Jäähdytysverkoston pystyrunkojen mitoitukselle voidaan huomioida esimerkiksi 20 % suuremmat virtaamat kuin nykyisten tehojen mitoitus vaatii. Kondensoivat jäähdytysjärjestelmät edellyttävät kastepistesäätöä, jolloin ilmanvaihdon on parempi olla jäähdytettyä, jottei kosteana kesähelteenä kastepiste estä jäähdyttämistä. Useimmissa hankkeissa tulisikin ilmastomuutokseen varautumista varten huomioida vähintään koneellisten tulo- ja poistoilmanvaihdon järjestelmille eristetyt tuloilman kanavat ja tilavaraukset tuloilman jäähdytystä varten. ■

Jäähdytyslaitteet



Huonetiloja voidaan aktiivisesti jäähdyttää ilmavaihdon avulla ja useilla erilaisilla huonelaitteilla. Tässä luvussa esitellään erilaisia huonelaitteita ja niiden ominaisuuksia jäähdytystehon mitoituksen kannalta.

Ilmanvaihdon jäähdytys

Pelkästään ilmanvaihdon avulla voidaan jäähdyttää huonetiloja, koska tilojen sisälämpötilat ovat lämmityskauden ulkopuolella usein ulkolämpötilaa korkeampia sisäisten ja ulkoisten lämpökuormien takia. Asuinrakennuksissa ilmanvaihdon ulkoilmavirrat ovat tyypillisesti $0,4\text{--}0,5 \text{ l}/(\text{s}, \text{m}^2)$, joten tuloilmavirran jäähdytysteho on yhden asteen lämpötilaerolla $0,48 \text{ W}/\text{m}^2 - 0,6 \text{ W}/\text{m}^2$. Eli jos tilaan tuleva ilmalämpötila on $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ ja tilan lämpötila on $+25 \text{ }^\circ\text{C}$, ilmanvaihdon saatava jäähdytysteho on $2,4\text{--}3,0 \text{ W}/\text{m}^2$. Toimistorakennuksen ulkoilmavirrat ovat tyypillisesti $1,5\text{--}2,0 \text{ l}/(\text{s}, \text{m}^2)$, joten ilmanvaihdon jäähdyttävä vaikutus on 3–4-kertainen asuinrakennuksen arvoihin verrattuna.

Vertailuarvona voidaan mainita, että 10 m^2 :n etelään suuntautuvaan huoneeseen, jossa on 3-lasinen ikkuna (ikkunan pinta-ala $1,5 \text{ m}^2$, lasialue $1,2 \text{ m}^2$ ja lasin g_w -arvo 55 %), kohdistuu heinäkuun mitoituspäivänä enimmillään aurinkokuormaa 430 W eli $43 \text{ W}/\text{m}^2$ huoneen pinta-alaa kohden.

Esimerkistä 1 voidaan todeta, että pelkästään ulkoilman lämpötilaan perustuvalla tuloilmalla ei voida saavuttaa riittävää jäähdytystehoa. Usein tuloilmavirtaa lisätään ja jäähdytyspatterin mitoitus kasvatetaan, jotta tuloilmavirrasta saadaan tarpeeksi jäähdytystehoa.

Sisäilmastoluokituksen mukainen 57 kJ/kg:n entalpian mitoitus ei riitä ylläpitämään tuloilman lämpötilan asetusarvoa toteutuneen Vantaan vuoden 2018 säätiedoilla. **Kuvan 1** Mollier-kaaviossa on esimerkki, jossa vuoden 2018 hellejakson Vantaan-säätieto on huomioitu jäähdytyspatterille. Patterin mitoitus on kaavion sinisen viivan mukainen. Punaisella viivalla on esitetty vuoden 2018 säätiedolla simuloidun ulkoilman ja jäähdytyspatterin jälkeisen ilman ominaisuudet yhtenä ajanhetkenä, jossa jäähdytyspatterin jälkeinen ilman lämpötila on noin 18 °C ja jolloin mitoitettua 16 °C:n asetusarvoa ei saavuteta. **Kuvassa 2** on esitetty simuloidun hellejakson lämpötilat, entalpiat ja ominaiskosteudet.

Usein ilmanvaihtokoneissa lämmöntalteenotolla voidaan myös viilentää ulkoilmaa. Mikäli aiemmassa tarkastelun simuloinnissa huomioidaan 70 %:n hyötysuhteen lämmöntalteenotto ennen jäähdytyspatteria, on tuloilman maksimilämpötila noin 17,6 °C hellejakson aikana. Paluuilman lämpötilaksi lämmöntalteenottoa varten on huomioitu jatkuvasti olevan 25 °C. **Kuvan 3** Mollier-kaaviossa on esitetty oranssilla saman hetken jäähdytystilanne kuin **kuvassa 1** punaisella esitetty, mutta ulkoilmaa on viilennetty lämmöntalteenotolla ennen patteria. **Kuvassa 4** on esitetty simuloidun hellejakson lämpötilat, entalpiat ja ominaiskosteudet jäähdytyspatterilla sekä lämmöntalteenotolla.

Tuloilmassa oleva jäähdytyspatteri myös kuivaa tuloilmaa ja siten myös pienentää tilan kosteussisältöä. Tällä on suotuisa vaikutus tilalaitteiden toimintaan, jossa jäähdytyksen menoveden lämpötilaa ohjataan kastepisteen mukaan. Kun huonelaitteiden menoveden lämpötilaa joudutaan nostamaan, on huonelaitteista saatava jäähdytysteho pienempi. Tästä on esimerkki tämän luvun kohdassa, jossa käsitellään jäähdytyspaneelia.

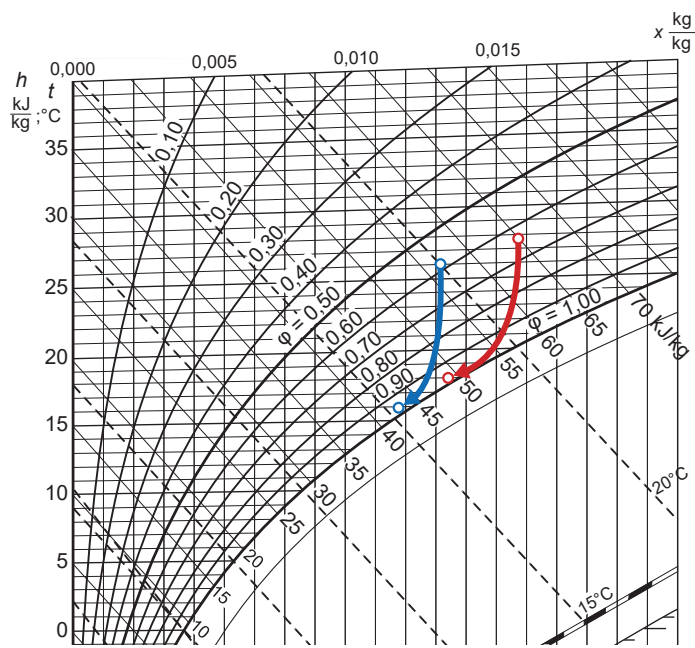
Ilmanvaihtokoneen tuloilmapatterin kuivaava vaikutus on riippuvainen patterin konduktanssin ja virtaamien lisäksi patterille tulevan menoveden lämpötilasta. Tämä tulee ottaa huomioon patterin tehonmitoituksessa. Kaukojäähdytyksessä menoveden lämpötilat ovat tyypillisesti 3–5 °C korkeammat kuin vedenjäähdytyskoneissa.

Koska sisänpuhalluslämpötila on ilmanvaihdon jäähdytyksellä matalampi kuin lämmityskaudella, sisänpuhallusilman lämpötila on tärkeä huomioida ilman jaossa ja päätelaitteen heittokuviossa. Näin matalampi lämpötila ei aiheuta liiallista vetoa oleskeluvyöhykkeellä. Sisänpuhallusilman lämpötila tulee myös olla tilan käyttötarkoitukselle sopiva. Lisäksi on huomioitava, ettei tilaan muodostu tuloilman takia kondenssia.

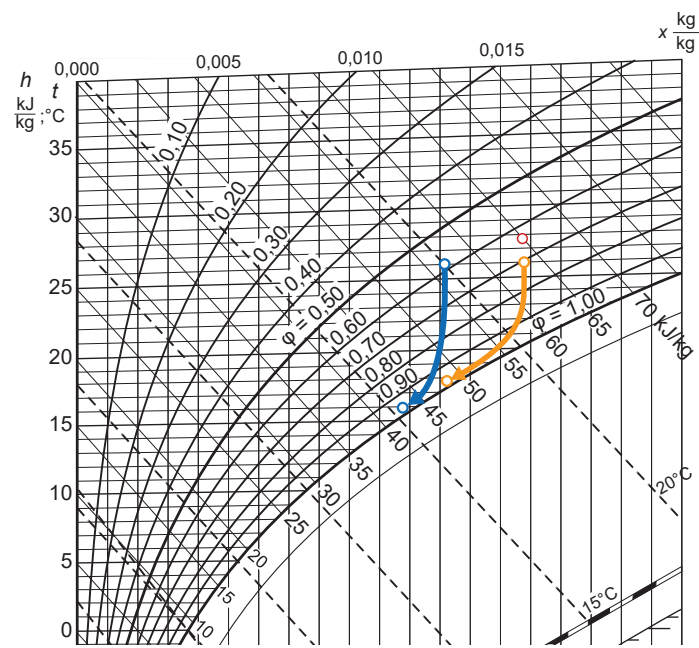
Esimerkki 1

Kerrostalo huoneiston makuuhuoneen tuloilmavirta on 12 l/s. Tilan lämpötila on 25 °C. Mikä on oltava sisänpuhalluslämpötila, jossa ilmavaihdolla saadaan 100 W:n jäähdytysteho?

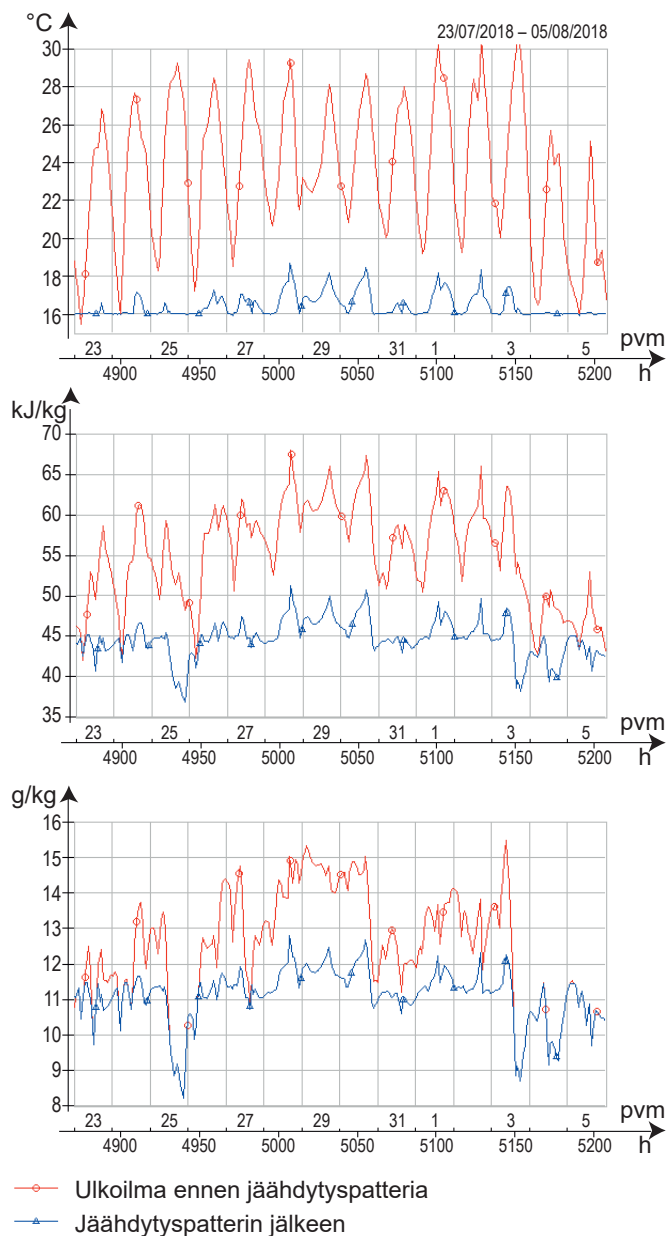
$$dT = \left(\frac{\phi}{\dot{V} \rho c_p} \right) = \frac{100 \text{ W}}{0,012 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 1\,006 \text{ J/kg} \cdot \text{K}} = 6,9 \text{ K}$$
$$\Rightarrow T_{sp} = 18,1 \text{ °C}.$$



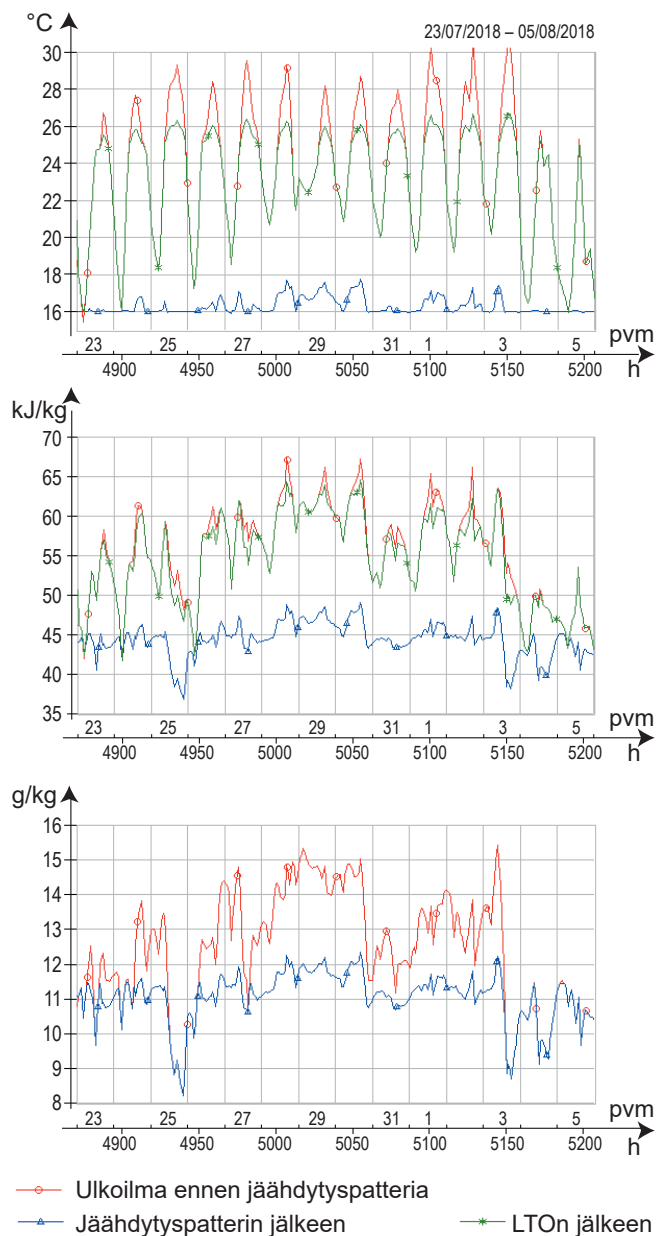
Kuva 1. Mollier-kaavio.



Kuva 3. Ulkoilmaa on viilennetty lämmöntalteenotolla.



Kuva 2. Simuloidun hellejakson lämpötilat, entalpiat ja ominaiskosteut.



Kuva 4. Simuloidun hellejakson lämpötilat, entalpiat ja ominaiskosteut jäähdytyspatterilla sekä lämmöntalteenotolla.

Jäähdytyspaneeli

Jäähdytyspaneeli on jäähdytyslaite, jonka huonelämpötilaa matalammalla pintalämpötilallaan jäähdyttää huoneen ilmaa luonnollisella konvektiolla sekä huoneen muita pintoja säteilylämmönsiirrolla. Laitteesta käytetään myös yleisesti passiivipalkit-termiä, joka on hieman harhaanjohtava. Jäähdytyspaneeli on muita pintoja viileämpi pinta, joka luovuttaa tehoa, ja passiivipalkissa lämmönsiirto syntyy pelkästään ilmvirran luonnollisesta konvektiosta.

Jäähdytyspaneelin teholuovutus noudattaa yleistä patteriyhtälöä:

$$\phi = G \cdot (dT_{ln})^n$$

jossa G on paneelin konduktanssi mitoitustilanteessa, W/K

dT_{ln} on logaritminen lämpötilaero, K

n on eksponentti, joka on tyypillisesti 1,1 kattoon asennettavilla jäähdytyspaneeleilla.

Logaritminen keskilämpötilaero määritellään **kuvan 5** merkinnöillä:

$$dT_{ln} = \frac{dT_1 - dT_2}{\ln \frac{dT_1}{dT_2}}$$

Paneelin luovuttaman tehon tulee olla yhtä suuri kuin vesiteho:

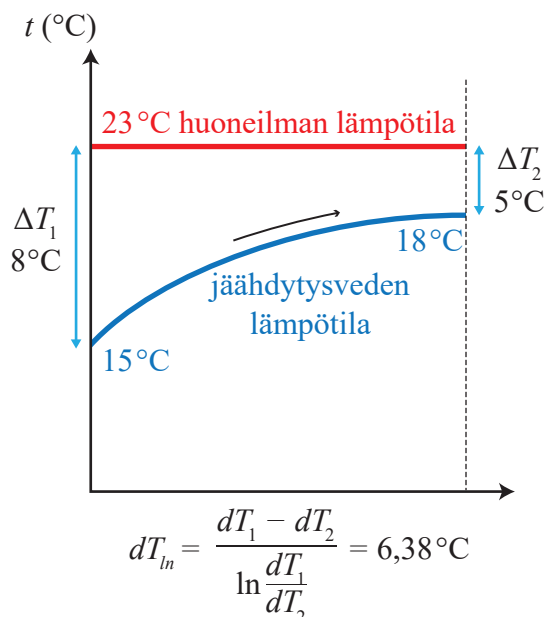
$$\phi = c_p \dot{m} (T_{paluu} - T_{meno})$$

jossa c_p on veden ominaislämpökapasiteetti, 4 186 J/(kg·K)

$\dot{m}$ on veden massavirta, kg/s

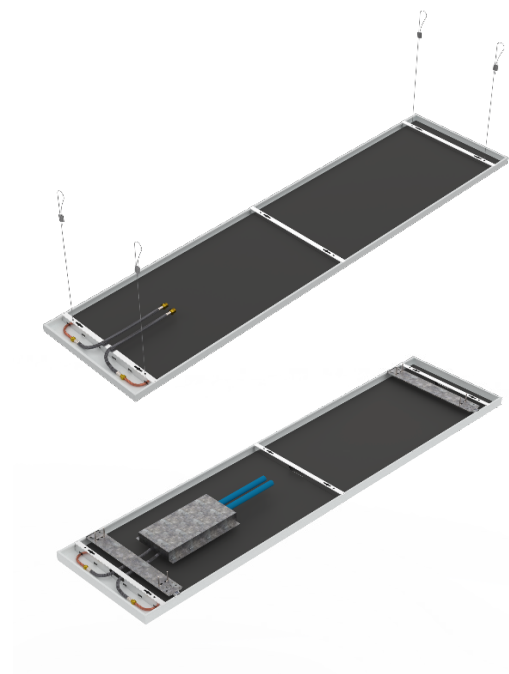
T_{paluu} on paneelilta palaavan veden lämpötila, °C

T_{meno} on paneelille tulevan veden lämpötila, °C



Kuva 5. Logaritminen keskilämpötilaero.

Tuotevalmistajilta on yleensä saatavilla tieto tuotteen konduktanssin, lämmönluovutusekspONENTIN ja kokonaistehon arvoista, jotka saavutetaan testiolosuhteissa ja eri asennustavoilla. Tietoja tarkastaessa on varmistettava, minkä standardin mukaan laite on testattu ja onko testit tehty standardin mukaan (*according to*) tai standardia mukaillen (*relating to*). On myös huomioitava, että kun SFS-EN 14037-1 -standardia noudatetaan, tulee ilmavirtaus estää paneelin läpi, jolloin estetään lisäteho konvektiivisesta lämmönsiirrosta. Myös asennustapa vaikuttaa paneelin kokonaistehoon. Paneeleja voidaan esimerkiksi asentaa vapaasti roikkuviksi, alakattoon vaijereilla tai kattoon pintakannakkeilla. **Kuvassa 6** on sekä vapaasti roikkuva paneeli vaijereilla että pinta-



Kuva 6. Jäähdytyspaneeleja. Lähde: Itula

Esimerkki 2

Jäähdytyspaneelin teho esitteessä on 400 W, kun huoneen lämpötila on +23 °C ja veden lämpötilat ovat 15/18 °C. Mikä on paneelin teho, kun huonelämpötila on +25 °C ja kun veden lämpötilat pysyvät samoina massavirtaa kasvattamalla?

$$\text{Lämpötilaero esitteessä on } dT = \frac{dT_1 - dT_2}{\ln \frac{dT_1}{dT_2}} = \frac{8 - 5}{\ln \frac{8}{5}} = 6,38 \text{ K.}$$

$$\text{Käyttötilanteessa lämpötilaero on } dT_{ln} = \frac{dT_1 - dT_2}{\ln \frac{dT_1}{dT_2}} = \frac{10 - 7}{\ln \frac{10}{7}} = 8,41 \text{ K.}$$

$$\text{Paneelin teho käyttötilanteessa on } \phi_2 = \left(\frac{dT_{ln}}{dT} \right)^{1,1} \cdot \phi = \left(\frac{8,41 \text{ K}}{6,38 \text{ K}} \right)^{1,1} \cdot 400 \text{ W} = 542 \text{ W}$$

$$\text{tai vaihtoehtoisesti } \phi_2 = \frac{\phi}{dT_{ln}^n} = \frac{400 \text{ W}}{(6,38 \text{ K})^{1,1}} = 52,09 \text{ W/K.}$$

$$\text{Paneelin teho käyttötilanteessa on } \phi_2 = G \cdot dT_{ln}^n = 52,09 \text{ W/K} \cdot (8,41 \text{ K})^{1,1} = 542 \text{ W.}$$

Esimerkki 3

Jäähdytyspaneelin teho on 400 W, kun huoneen lämpötila on +23 °C ja veden lämpötilat ovat 15/18 °C. Mikä on paneelin teho, kun huonelämpötila nousee +25 °C:een isojen lämpökuormien vuoksi. Menoveden lämpötila on edelleen +15 °C.

Veden massavirta on

$$\dot{m} = \frac{\phi}{c_p \cdot (T_{\text{paluu}} - T_{\text{meno}})} = \frac{400 \text{ W}}{4186 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)} \cdot 3 \text{ K}} = 0,0319 \text{ kg/s}$$

ja paneelin konduktanssi on aiemmin esimerkissä 2 laskettu 52,09 W/K.

Koska paneelin lämmönluovutuksen ja sen vesitehon tulee olla yhtä suuret ja molemmissa yhtälöissä on paneelilta palaavan veden lämpötila, tämä on helpointa ratkaista iteroimalla. Näin paluuveden lämpötilaksi saadaan 18,815 °C.

$$\begin{aligned} \phi_3 &= c_p \dot{m} (T_{\text{paluu}} - T_{\text{meno}}) = \\ &0,0319 \text{ kg/s} \cdot 4186 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)} \cdot (18,815 - 15) \text{ K} = 508 \text{ W ja} \end{aligned}$$

$$\phi_3 = G \cdot dT_{\text{ln}}^n = 52,09 \text{ W/K} \cdot (7,9 \text{ K})^{1,1} = 508 \text{ W.}$$

Esimerkki 4

Jäähdytyspaneelin teho on 400 W, kun huoneen lämpötila on +23 °C ja veden meno- ja paluulämpötilat ovat 15/18 °C. Mikä on paneelin teho, kun kastepistesäätö nostaa meno-veden lämpötilan +17 °C:een? Huonelämpötilan oletetaan pysyvän vakiona +23 °C.

Koska paneelin lämmönluovutuksen ja sen vesitehon tulee olla yhtä suuret ja molemmissa yhtälöissä on paneelilta palaavan veden lämpötila, tämä on helpointa ratkaista iteroimalla. Näin paluuveden lämpötilaksi saadaan 19,2 °C.

$$\phi_4 = c_p \dot{m} (T_{\text{paluu}} - T_{\text{meno}}) = 0,0319 \text{ kg/s} \cdot 4186 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)} \cdot (19,2 - 17) \text{ K} = 293 \text{ W ja}$$

$$\phi_4 = G \cdot dT_{\text{ln}}^n = 52,09 \text{ W/K} \cdot (4,8 \text{ K})^{1,1} = 293 \text{ W.}$$

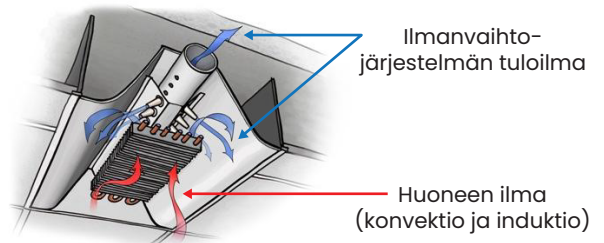
Eli kastepisteohjauksen 2 °C:n korotus menoveden lämpötilaan pienentää paneelin jäähdytystehoa yli 25 %. Tämän takia kosteuskuormat on tärkeä huomioida mitoituksessa, sillä kastepisteohjaus vaikuttaa kuivan jäähdytysjärjestelmän huonelaitteen kokoon.

Jäähdytyspalkki

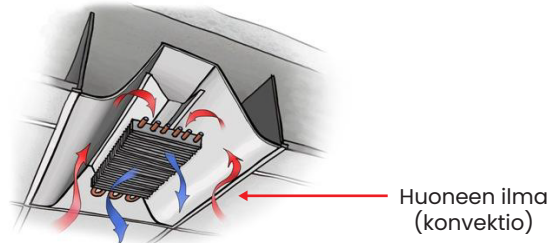
Jäähdytyspalkkeista käytetään myös yleisesti termiä aktiivi- tai passiivipalkki. Ilmastointimoduuli-termiä käytetään, kun huonelaite vastaa toiminnaltaan aktiivipalkkia, mutta ilmaa puhalletaan neljään suuntaan kahden sijaan. Aktiivipalkkien (**kuva 7A**) läpi johdetaan tuloilmaa ja pakotetulla konvektiolla näin tehostetaan lamellien lämmönsiirtoa. Lamellien välissä kulkee tuloilman lisäksi myös huone-tilasta indusoitunutta ilmaa, joka tehostaa lämmönsiirtoa. Passiivipalkkeissa ilman liike syntyy vain vapaasta konvektiosta (**kuva 7B**).

Palkkien jäähdytysteho on lähes pelkästään konvektiivista tehoa. Siksi sillä saadaan samalla jäähdytysteholla paneeleita nopeammin tilaan haluttu lämpötilamuutos tai vaste lämpökuormien muutokselle. Toisaalta aktiivipalkin jäähdytysteho on tyypillisesti alle 10 %, kun ilmanvaihto ei ole päällä. Tällöin aktiivipalkkien lamellien läpi siirtyvä on vain vapaasta konvektiosta aiheutunut ilmavirtaus.

Aktiivipalkkien lämmönluovutus noudattaa paneelien kanssa samaa lämmönluovutusyhtälöä, mutta konduktanssin ja eksponentin lukuarvot ovat tuloilmamäärästä riippuvaisia. **Kuvassa 8** on esimerkkinä yhden aktiivipalkin konduktanssi ja lämmönluovutuseksponentti ilmavirran funktiona.

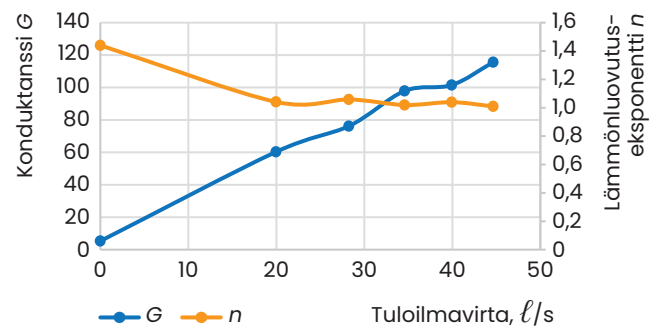


A) Aktiivinen palkki (active chilled beam)



B) Passiivinen palkki (passive chilled beam)

Kuva 7. Aktiivinen ja passiivinen jäähdytyspalkki.
Lähde: AHRI (<https://www.ahrinet.org>)



Kuva 8. Aktiivipalkin konduktanssi ja lämmönluovutuseksponentti ilmavirran funktiona.

Esimerkki 5

Aktiivipalkin vesiteho on 620 W, kun huoneen lämpötila on +23 °C ja veden meno- ja paluulämpötilat ovat 14/17,6 °C. Palkin läpi tuleva tuloilmavirta on 28,2 l/s. Palkin konduktanssi kyseisellä ilmavirralla on 76,16 ja lämmönluovutuseksponentti on 1,058.

$$dT_{ln} = \frac{dT_1 - dT_2}{\ln \frac{dT_1}{dT_2}} = \frac{9,06 - 5,7}{\ln \frac{9,06}{5,7}} = 7,25 \text{ K.}$$

$$\phi_s = G \cdot dT_{ln}^n = 76,16 \text{ W/K} \cdot (7,25 \text{ K})^{1,0581} = 620 \text{ W.}$$

$$\text{Veden massavirta on } \dot{m} = \frac{\phi}{c_p \cdot (T_{paluu} - T_{meno})} = \frac{620 \text{ W}}{4186 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)} \cdot 3,6 \text{ K}} = 0,0448 \text{ kg/s}$$

Ilmavirta muuttuu 19,2 l/s, ja tällöin palkin konduktanssi kyseisellä ilmavirralla on 60,3 ja lämmönluovutuseksponentti on 1,041. Veden massavirta ja huoneen lämpötila ei muutu. Iteroimalla saadaan paluuveden lämpötilaksi 16,71 °C ja logaritmiseksi lämpötilaeroksi 7,62 K.

$$\phi_s = G \cdot dT_{ln}^n = 60,3 \text{ W/K} \cdot (7,62 \text{ K})^{1,0581} = 500 \text{ W.}$$

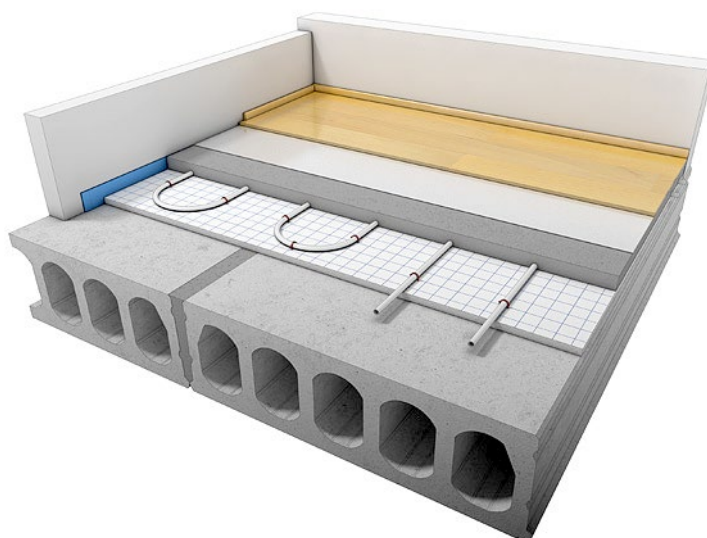
$$\phi_s = c_p \dot{m} (T_{paluu} - T_{meno}) = 0,0448 \text{ kg/s} \cdot 4186 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)} \cdot (16,71 - 14) \text{ K} = 500 \text{ W.}$$

Lattiaviilennys

Lattiaviilennyksen toimintaperiaate on sama kuin lattialämmityksellä, eli se perustuu pieniin lämpötilaeroihin ja suuriin lämmönsiirtopintoihin. Lattiaviilennyksessä voidaan hyödyntää samaa putkistoa, jakotukkeja ja säätölaitteistoa kuin lattialämmityksessä. Siten saman runkolinjan takana olevia tiloja voidaan samanaikaisesti joko lämmittää tai viilentää. Rakennuksen eri julkisivuilla olevissa tiloissa voi samanaikaisesti olla sekä lämmitys- että viilennystarvetta, jolloin vyöhykkeet voisi olla hyödyllistä jakaa eri runkolinjoihin. Yleisemmin lattialämmitys ja -viilennys toteutetaan kuitenkin yhteisillä runkolinjoilla koko rakennuksessa.

Jäähdytyksen sijaan käytetään yleisesti termiä viilennys, sillä lattiaviilennyksen ensisijainen tarkoitus on rajoittaa lämpötilojen suurempia nousuja. Isommilla tehontarpeilla lattiaviilennystä voidaan käyttää yhdessä puhallin-konvektorien kanssa, esimerkiksi toimistotiloissa.

Lattiaviilennyksessä menoveden lämpötila on muutamia asteita korkeampi kuin paneeli- ja palkkiverkostoissa, eli 16–17 °C. Meno- ja paluuv veden lämpötilaero riippuu lämmönluovutuksesta, mutta on yleensä noin 3 °C. Toteutuksessa pyritään siihen, että lattian pintalämpötila ei laske alle +20 °C:een. Yleensä järjestelmä suunnitellaan lämmityksen ehdoilla ja viilennyksen toteutusta suositellaan vain valurakenteisille lattioille. Viilennystehoa voidaan kasvattaa suunnittelemalla järjestelmä viilennyksen ehdoilla, mikä voi tarkoittaa esimerkiksi tiheämpää putkien asennusväliä. Lattian pinnalta ilmaan siirtyvä viilennysteho vaihtelee olosuhteiden mukaan, ja esimerkiksi aurinkosäteilyn osuessa lattiapintaan voi lämmönsiirto olla hyvinkin suurta. Myös lattiarakenteella ja materiaalivalinnoilla on suuri merkitys lämpöaistimukseen sekä järjestelmän toimivuuteen.



Kuva 9. Lattiaviilennys. Lähde: Uponor

Kun lattiaviilennys sijoitetaan mallinnuksessa tilan lattiaan, kyseisen alueen lattiarakenne jaetaan kahteen osaan: putken ylä- ja alapuolisiin rakenteisiin. Näiden välissä on terminen solmupiste, joka vastaa putkistokerrosta. Lämmönsiirto lasketaan logaritmisella lämpötilaerolla nesteen ja tämän vakiolämpötilassa olevan tason tai solmupisteen välillä. Laskentamallissa oletetaan, että aktiivista kerrosta voidaan käsitellä äärettömän johtavana tasona lattialaatussa, eli kaikki 2D-vaikutukset jätetään huomiotta. Lattiaviilennyksen laskennassa otetaan huomioon sekä ylös- että alaspäin rakenteessa tapahtuva lämmönsiirto ja sen vaikutus rakenteen molemmilla puolilla oleviin tiloihin.

Kun välipohjaa mallinnetaan, rakennekerrokset tulee huomioida rakennetyypin mukaisesti niin, että jokaiselle materiaali- ja rakennekerrokselle on huomioitu paksuus, lämmönjohtavuus, tiheys ja ominaislämpökapasiteetti. Rakenteiden paksuuksien on vastattava putkipiirille määriteltävää putkien asennussyvyyttä. Mallinnuksessa lattiaviilennyksen putkipiirille määritellään myös lämmityksen ja jäähdytyksen massavirrat sekä lämmönjohtavuuskerroin. Lämmönjohtavuuskerroin määritellään IDA ICE -ohjelmassa SFS-EN 11855-2 -standardin mukaisesti. Siihen vaikuttavat mm. putkien asennustiheys, putken koko sekä putken ja rakenteen lämmönjohtavuudet.

Esimerkki 6

Betoniin upotetun putkipiirin lämmönjohtavuuskerroin on $23,1 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$. Menoveden lämpötila $+17 \text{ }^\circ\text{C}$, ja betonirakenteen lämpötila putkipiirin asennussyvydessä on $+22 \text{ }^\circ\text{C}$. Veden massavirta on $0,011945 \text{ kg/s}$. Huoneen pinta-ala on 10 m^2 .

Koska putkipiirin lämmönluvutus rakenteeseen ja sen vesitehon tulee olla yhtä suuret ja molemmissa yhtälöissä on paluuveden lämpötila, yhtälöt on ratkaistava esimerkiksi iteroimalla. Näin paluuveden lämpötilaksi saadaan $18,85 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$dT_{ln} = \frac{dT_1 - dT_2}{\ln \frac{dT_1}{dT_2}} = \frac{(22 - 17) - (22 - 18,85)}{\ln \frac{(22 - 17)}{(22 - 18,85)}} = 4,0 \text{ K}.$$

$$\phi_6 = c_p \dot{m} (T_{paluu} - T_{meno}) = 0,011945 \text{ kg/s} \cdot 4186 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)} \cdot (18,85 - 17) \text{ K} = 92,5 \text{ W}$$

ja

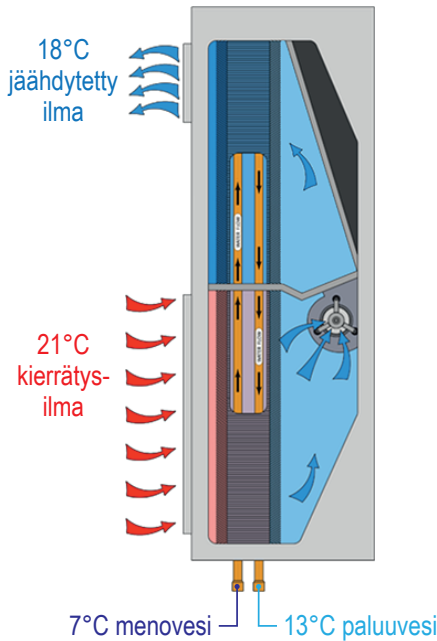
$$\phi_6 = G \cdot dT_{ln} = 23,1 \text{ W/K} \cdot (4,0 \text{ K}) = 92,5 \text{ W}.$$

Jos lattian pinnan konvektiivinen lämmönsiirtokerroin on $2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, huoneen lämpötila on $+25 \text{ }^\circ\text{C}$ ja lattian pintalämpötila on $+23,5 \text{ }^\circ\text{C}$, on tilan ilmaan saatava konvektiivinen jäähdytysteho $\phi = h_c A (T_{ilma} - T_{pinta}) = 2,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 10 \text{ m}^2 \cdot (25 - 23,5) \text{ K} = 34,5 \text{ W}$.

Konvektiivisen jäähdytystehon lisäksi lattian pinta jäähdyttää tilaa jäähdyttämällä tilan muita pintoja pitkäaaltoisen säteilyn avulla. Konvektiivisen ja pitkäaaltoisen säteilyn summa on eri kuin putkipiirin teho, koska lattiarakenteen terminen massa aiheuttaa viivettä. Lattiaviilennyksen yhtenä ominaisuutena on, että se varastoi rakenteeseen viilennysenergiaa.

Puhallinkonvektori

Puhallinkonvektorilla (**kuva 10**) voidaan hoitaa sekä tilan lämmitys että jäähdytys. Siinä on yleensä lamellipatteri, jonka läpi kierrätettävä ilma kulkee. Lamellipattereita voi olla kaksi, eli erilliset patterit lämmitys- ja jäähdytyspiireille, tai yksi, jolloin se on jaettu sekä lämmitys- että jäähdytyspiirille. Suomessa järjestelmät on yleisesti suunniteltu ei-kondensoiviksi, jolloin tuloilman tulee olla jäähdytetty ja jäähdytyksen menoveden lämpötilan tulee olla kastepiste-ohjattu. Usein puhallinkonvektoreille asennetaan valuma-altaat kondenssin varalle. Kondensoivat yksiköt varustetaan aina kondenssiviemäröinnillä. Asuinrakennuksissa puhallinkonvektoria ei yleensä liitetä tuloilmakanavaan, kun taas hotelleissa käytetään usein kanavoituja puhallinkonvektoreita. Puhallinkonvektoreista on saatavilla useita eri asennustyyppisiä ja ilmavirtauskuvioita, kuten lattia-, seinä- ja kattoasennettavia malleja.

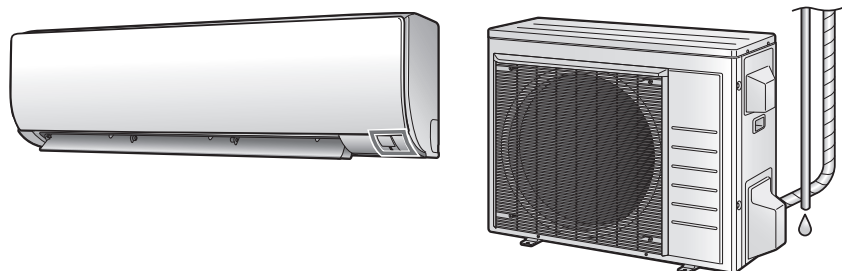


Kuva 10. Puhallinkonvektoreita.

Lähde: The Whalen Company (vasemmalta ensimmäinen kuva) ja Daikin (muut kuvat)

Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumppu, eli ilma-ilmalämpöpumppu (**kuva 11**), on varsin yleinen järjestelmä tilojen kesäaikaisten sisälämpötilojen hallintaan, varsinkin uudiskohteissa varauksina sekä olemassa olevissa rakennuksissa jälkiasennuksina. Ilmalämpöpumpuista on käytetty myös termiä split-jäähdytyslaitte, joka nimensä mukaisesti käsittää jaetun järjestelmän ja sisältää ulko- ja sisäyksikön. On myös olemassa useamman sisäyksikön ja yhden ulkoyksikön ilmalämpöpumppuja, joita kutsutaan multi split-jäähdytyslaitteiksi. Markkinoilla multi splitit tarjoavat yleisimmin ratkaisuja, joissa on kaksi tai kolme sisäyksikköä yhtä ulkoyksikköä kohti. Ulkoyksikössä on kompressor ja lauhdutin ja sisäyksikössä höyrystin, ilmansuodatin, puhallin sekä ohjauslaitteet. Sisäyksikössä voi myös olla kondenssivesipumppu. Laitteiden jäähdytystehot ovat tyypillisesti 2–15 kW. Jäähdytyskäytössä tulee kiinnittää erityistä huomiota sisäyksikön sijaintiin ja heittokuvioon, kun tilaan tuodaan alilämpöistä ilmaa. ■



Kuva 11. Ilma-ilmalämpöpumppu. Lähde: Daikin, malli FTX25KVIB

Jäähdytystehon laskennan lähtötiedot



Jäähdytystehontarve määrittyy pitkälti käytettävien lähtötietojen perusteella. Saman tilan jäähdytystehontarve voi vaihdella merkittävästi, mikäli lähtötietojen vaativuustasojen ääripäitä verrataan. Tässä luvussa kuvataan keskeisiä lähtötietojen aiheita jäähdytystehon mitoituksen laskentaa varten. Päätökset käytettävistä lähtötietojen tasoista vaikuttavat samalla mitoituksen tavoitetasoon ja myöhemmin järjestelmämitoituksilla hankkeen investointikustannuksiin. Rakennushankkeen tilaajan on hyvä olla tietoinen mitoituksen lähtötiedoista ja niiden vaativuustasosta, jolle jäähdytysjärjestelmät mitoitetaan. Lähtötietojen tiedotus, läpikäynti ja sopiminen on parempi tehdä ennen mitoituksen suorittamista kuin sen jälkeen.

Jäähdytystehon mitoituksen tavoitearvot

Jäähdytyksen mitoituksessa huonelämpötilojen tavoitearvot vaihtelevat kohteiden välillä, mikä johtuu mm. rakennuksen käyttötarkoituksesta, talotekniikan mahdollisuuksista ja tavoitetasosta. Suomessa jäähdytystehon mitoituksen vähimmäistavoitetasoina voidaan pitää ympäristöministeriön sisäilmastoasetuksen (1009/2017) ja energiatehokkuusasetuksen (1010/2017) vaatimustasoja. Sisäilmastoasetuksessa on vaatimuksia huonelämpötiloille. Huonelämpötilan hallinnan kannalta huonelämpötila saa lämmityskauden ulkopuolella vaihdella 20 °C:n ja 27 °C:n välillä. Se, millä säätiedolla huonelämpötilan tavoitetaso tulee täyttyä, on hyvinkin olennaista. Testivuoden 2012 säätietoa sovelletaan energiatehokkuusasetuksessa, jossa laskennallinen kesäajan huonelämpötila ei saa ylittää jäähdytysrajaa enemmän kuin 150 astetuntia (°Ch).

Hankkeissa sisäilmaston tavoitteet asetetaan usein Sisäilmastoluokituksen 2018 sisäilmastolaatuluokkien S1, S2 ja S3 perusteella. Eri tavoitearvot, kuten lämpöolosuhteet, ilman liikenopeus, sisäilman laatu ja akustiset suureet, eivät välttämättä ole hankkeissa samaa laatuluokkaa, vaan osioilla voi usein olla eri laatuluokkia. Jäähdytystehon mitoituksessa tavoitearvot ovat keskeisessä roolissa, sillä valittavan laitteen on pystyttävä luomaan tavoitteiden mukainen lämpöolosuhde, lähes vedoton ilman liikenopeus ja

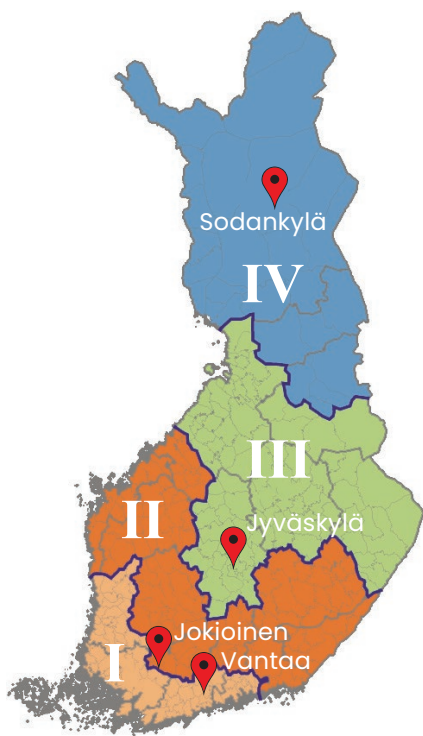
äänitaso. Jäähdytyksen huonelaitteen mitoituksella selvitetään jäähdytys-tehontarve tietyn ilman lämpötilan tai operatiivisen lämpötilan tavoitearvon saavuttamiseksi. Sen jälkeen tehdään laitevalinta ja varmistetaan valmistajalta ilman liikenopeudet ja äänitaso. Mikäli hankkeissa on haastava, monimutkaisempi tai useita samanlaisia tiloja, on ilman liikenopeuden arvoja hyvä tarkastella CFD-simuloinnilla tai vähintään sellaisella laskentamallilla, jossa huoneilman kerrostumaa ja paikallisia ilman liikenopeuksia voidaan laskea.

Kun huomioidaan operatiivinen lämpötila, tarkastelukohta tulee määrittää tilan tyypilliselle tai keskeiselle sijainnille kalustuksen tai huoneen geometrian perusteella. Kun hanke on vaiheessa, jossa kalustekuvia ei löydy tai tutkitaan muuntojoustavuutta, voi operatiivisen lämpötilan tarkastelukohta sijaita 1,5 metrin päässä ikkunan keskipisteestä 1,1 metrin korkeudella, ja tällöin henkilön ja ikkunan välille on huomioitu työpöytä. Sisäilmastoluokituksessa operatiivisen lämpötilan tavoitelämpötila ja enimmäisarvo vaihtelevat ulkolämpötilan perusteella. Talviaikoina luokituksen lämpötilan enimmäisarvo on matalampi kuin kesällä. Näin ollen rakennuksen sisäpuolella sijaitseva tila ilman ikkunoita voi jäähdytystehtotarpeeltaan olla talviaikaan suurempi kuin kesäaikaan. Tietyissä tilanteissa hyvällä kesähelteen mukaisella mitoituksella voi käydä niin, että Sisäilmastoluokituksen operatiivisen lämpötilan enimmäisarvot ylittyvät nollakeleillä. Tällöin, riippuen ylityksen laajuudesta, tiloille voi olla tarpeen mitoittaa jäähdytys myös muulloin kuin kesähelteiden aikana. Monia rakennuksia jäähdytetään ainoastaan kesäaikaan tai niin sanotulla jäähdytyskaudella, jolloin jäähdytyskauden ulkopuolella olevia enimmäisarvon ylityksiä todennäköisesti sallitaan kohteen tavoitteissa.

Säätiedot

Säätiedon valinta jäähdytystehon mitoitusta varten voidaan tehdä oppaassa esitettyjen laadintaesimerkkien mukaisesti. Tällöin on huomioitava, että rakennuksia on hyvin monenlaisia. Joissakin rakennuksissa voi olla hyvin kriittistä, että lämpöolosuhteet pysyvät tavoitteissaan. Tällöin on perusteltua, että mitoitukset tehdään vaativammilla säätiedoilla. Tulevaisuuden sääolosuhteet riippuvat ilmastomuutoksen vaikutuksesta, eikä mitään ehdotonta varmuutta tulevaisuuden säästä ole. On käytettävissä eri päästöskenaarioihin perustuvia säitä, joiden avulla voidaan perustella mitoituksessa käytettäviä säitä. Mitoituksen lähtötiedoissa on esitettävä, mitä säätietoa mitoituksessa ja tarkasteluissa on käytetty. Säätiedon valinta suositellaan tehtäväksi ensinnäkin paikkakunnan perusteella. Jos paikkakunnalle ei ole tehty omia mitoituspäiviä, kannattaa paikkakunnan valinta tehdä säävyöhykkeen perusteella seuraaville kaupungeille, koska niille on olemassa nykyilmaston ja tulevaisuuden säätiedot:

- Säävyöhykkeillä I: Vantaa
- Säävyöhykkeillä II: Jokioinen
- Säävyöhykkeellä III: Jyväskylä
- Säävyöhykkeellä IV: Sodankylä



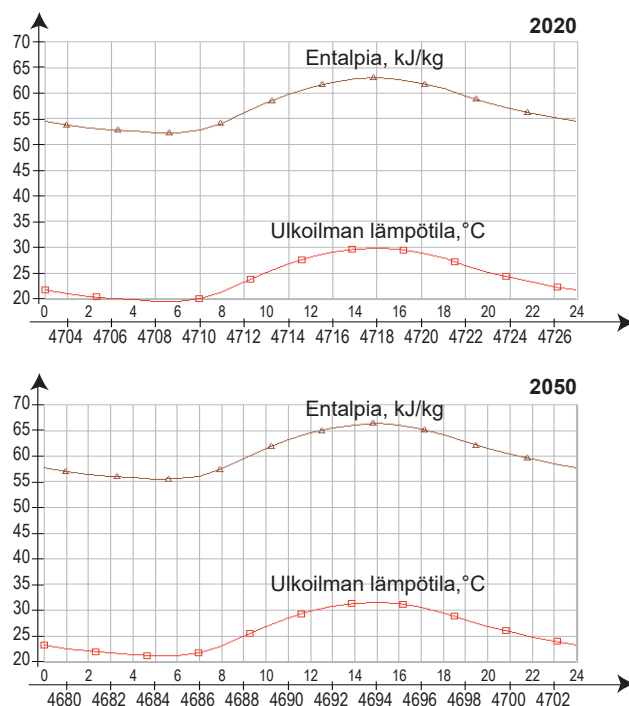
Säätietona suositellaan käytettäväksi mitoituspäivää, ei koko vuoden säätietoa. Mitoituspäivää käytettäessä simuloinnille suoritetaan tyypillisesti vähintään 14 vuorokauden esisimulointi. Tällöin rakennuksen lämpötilat saavuttavat hellejakson tasapainotilan. Jotta suurin mahdollinen lämpökuorma tulee huomioitua jokaiseen rakennuksen mitoitettavaan tilaan, simulointi kannattaa tehdä usean eri kuukauden mitoituspäivälle. Suurella eteläsuuntaisella ikkunalla auringonsäteily voi syyskuussa olla säteilyn korkeuskulman vuoksi tilan lämpökuormasta dominoivin tekijä, ja tällöin syyskuun mitoituspäivä voi olla jäähdytystehon mitoituksen kannalta vaativin kuukausi.

Energialaskennassa käytetyt vuoden 2012 testisäät eivät sovellu kovinkaan hyvin jäähdytystehon mitoitukseen tai kesäolosuhteiden simulointiin, sillä ilman entalpia ei kuvaa tyypillistä kesäsäätä. Helsingin testivuoden 2012 säätiedostossa on yksittäinen hyvinkin kuuma ja kostea päivä 1.8., jossa hetkellinen entalpia on korkeimmillaan 71 kJ/kg. Muutoin säätiedostossa on liian alhaiset entalpiatasot, jotta ne kuvaisivat nykypäiväistä hellekesää. ASHRAE 2013 mitoituspäiviä varten löytyy synteettistä säädettä siniapproksimaatioina eri kuukausille, jonka mitoituspäivät ovat tarpeeksi vaativia testivuoden 2012 säätä varten, mutta eivät ole tarpeeksi vaativia toteutuneille hellekesille. Esimerkiksi Helsingin ASHRAE 2013:ssa maksimientalpia on 53 kJ/kg, kun Vantaan vuoden 2007 säässä maksimientalpia oli 62 kJ/kg ja Vantaan vuoden 2018 säässä 66 kJ/kg. ASHRAElta löytyy myös uudemmat, vuoden 2021 mitoituspäivät, jotka soveltuvat paremmin jäähdytyksen mitoitukseen, mutta Suomen säävyöhykkeille on Rakentamisen mitoitusäät (RAMI) -hankkeessa valittu mitoituspäivät nykyilmastolle ja eri päästöskenaarioille, joita voidaan suositella käytettäväksi jäähdytyksen mitoitukseen Suomessa. RAMI-hankkeessa valitut mitoituspäivien säätiedot on ladattavissa Ilmatieteen laitoksen verkkosivuilta, ja osalle näistä mitoituspäivistä on IDA ICE -simulointiohjelmaan luotu mitoituspäivien data sinikäyrinä.

Sisäilmaoppaassa 11 Sisäilmastoluokituksen lämpöolosuhteiden laskennalliset tarkastelut, on todettu, että nykyilmaston Vantaan vuoden 2020 ja riskitason 2 % mitoituspäivillä saadaan testivuoden 2012 säähän verrattuna noin 20 % suurempi jäähdytyspaneelin pinta-alatarve. Lisäksi oppaassa on mainittu, että Vantaan vuoden 2020 riskitason 2 % mitoituspäivillä saavutettiin riittävät jäähdytysmitoitukset sekä ilmanvaihdon jäähdytyspatterille että huonelaitteille Vantaan tulevaisuuden testisään 2050 ja päästöskenaarion RCP4.5 koko vuoden tarkastelua varten.

Tämän oppaan laadintaesimerkkien mitoitusprosessissa on jäähdytysmitoituksen tavoitetaso osalta päädytty käyttämään nykyilmaston vuoden 2020 testisään ja riskitason 2 % mitoituspäiviä. Nykyilmaston mitoituspäivien perusteella luodut sinikäyräiset synteettiset mitoitusäät on luotu valmiiksi IDA ICE -ohjelmiston Suomi-lokalisaatioon. Mitoituksia kannattaa tarkastella myös resilienssin osalta: miten hyvin mitoitus sopeutuu muuhun haastavaan mitoituspäivään, jolloin tiloissa saattaa olla pientä ylikäynnemistä sisälämpötilan tavoitetasosta. Kun tarkastellaan ylikäynnemisen resilienssiä, tulee simuloinnissa käyttää tulevaisuuden mitoituspäiviä. Esimerkiksi tulevaisuuden vuoden 2050 testisään, RCP4.5-päästöskenaarion ja riskitason 2 % mitoituspäiviä voidaan käyttää resilienssin tarkasteluun. Jäähdytystehon mitoituksen voisi tehdä tulevaisuuden testisään mitoituspäivien perusteella. Tällöin jäähdytyksellä voi olla ylimitoitusta, sillä TRY2020, 2 % mitoituspäivien perusteella tehdyt mitoitukset riittävät huonelämpötilojen hallintaan vuoden 2050 ja RCP4.5-skenaarion koko vuoden olosuhdetarkastelulle.

Kuvassa 12 on esitetty ulkolämpötila ja entalpia heinäkuun mitoituspäivälle säätiedostoilla: Vantaa 2020 ja riskitaso 2 % sekä Vantaa 2050, ilmastoskenaario RCP4.5 ja riskitaso 2 %.



Kuva 12. Ulkolämpötila ja entalpia, Vantaa 2020 ja 2050.

Mitoituspäivien säätiedon valinta vaikuttaa hyvin paljon huonelaitteiden jäähdytystehon mitoitukseen silloin, kun tuloilma ei ole jäähdytettyä. Tällöin tuloilmalla on ilman lämmönsiirtoa ulkoilman ominaisuudet, jotka voivat olla hyvin lämpimät ja kosteat. Kosteus vaikuttaa mitoitukseen varsinkin, kun kyseessä on kuivien jäähdytyslaitteiden mitoitus, joita ohjataan kastepisteohjauksella. Myös tuloilman jäähdytyspatterin mitoituksella on vaikutusta huonelaitteiden mitoitukseen, sillä patterin mitoitus ja mitoituspäivän ominaisuudet vaikuttavat patterilla saavutettavaan tuloilman lämpötilaan ja ilman kuivaukseen. Mitoituspäivien säät ovat pilvettömiä, jolloin pilvettömän auringonsäteilyn lämpökuorma huomioidaan mitoituksissa.

Rakennuksen tiedot ja ympäristö

Kun laskentatuloksista tehdään raportti, tulee siinä esittää kohteen yleiset tiedot, kuten rakennuskohteen osoite, käyttötarkoitukseluokka ja suunnitteluvaihe sekä raportin laatimispäivämäärä. Usein mitoituksia ei tehdä rakennuksen kaikille erillisille tiloille, joten mitoitetut tilat tai kerrokset on hyvä ilmoittaa raportissa. Raporttiin on myös hyvä kirjata, miten tiettyjen tilojen mitoituksia hyödynnetään muualla rakennuksessa. Laskentatuloksiin on suositeltavaa sisällyttää kuvaus ja kuvankaappaus rakennuksen ympäristöstä simulointiohjelmassa. Ympäristön mallinnuksessa on hyvä huomioida jo olemassa olevien rakennusten ja muiden pysyvien elementtien varjostukset. Tulevien rakennusten varjostuksia tulisi välttää, ellei ole varmuutta, että rakennus valmistuu samaan aikaan, kun mitoittettava kohde otetaan käyttöön. Ympäristön heijastukset on hyvä huomioida, varsinkin jos ympäristössä on suurempia heijastavia pintoja. Määrittelemättömän ulkopuolisen maapinnan lyhytaaltoisen säteilyn heijastavuuskertoimena käytetään yleensä arvoa 0,2.

Taulukossa 1 on esimerkkinä muutama arvio eri pintojen heijastuskertoimista.

Taulukko 1. Lyhytaaltoisen säteilyn heijastavuuskerroin eri pinnoilla. Lähde: Decrolux

Pinta	Lyhytaaltoisen säteilyn heijastavuus
Valkoinen tiili	0,40
Yleinen tiili	0,30
Punainen tiili	0,25
Tumma tiili	0,15
Asfaltti	0,10
Betoni (vaaleanharmaa)	0,25
Vaalea tammi	0,25
Tumma puuverhous	0,20
Nurmi	0,25
Tekonurmi	0,35
Viljelyn ja metsän maasto	0,20
Vesi ¹	0,25

¹ Lähde: tuntematon.

Rakennuksen rakenteet ja ilmanpitävyys

Raportissa tulee esittää mallinnettujen vaipan ja sisäisten rakenteiden rakenteet sekä pääasialliset rakennusmateriaalit tai viitata suunnitelmien rakennetyyppeihin. Tällöin on myös mainittava, minkä päivämäärän suunnitelmien tietoja on käytetty rakenteiden mallinnuksessa. Vaipan rakenteiden U -arvot on myös hyvä esittää. Rakenteiden terminen massa vaikuttaa jäähdytystehon mitoitukseen, erityisesti silloin, kun mitoitus perustuu asetusarvoon, joka on tavoitearvoa matalampi. Tällöin massiivisuuden arvioinnin tulee olla mahdollisimman tarkka. Varsinkin lattiaviilennystä mallinnettaessa tulee kiinnittää huomiota välipohjan oikeaan mallinnukseen. Ilman tiiveydestä esitetään laskennassa käytetyn rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku q_{50} , joka yleensä perustuu hankkeen tavoiteltavaan lukuun.

Ikkunat ja aurinkosuojaus

Ikkunoiden ominaisuudet huomioidaan mallinnuksessa ikkunakohtaisesti ja raportissa ominaisuudet esitetään joko ilmansuunnittain, tilakohtaisesti tai asuntokohtaisesti. Ominaisuuksia esittäessä on kuvauksiin hyvä sisällyttää ikkunoiden ala, lämpösäteilyn kokonaiskerroin, auringon-säteilyn suoran läpäisyn osuus, näkyvän valon läpäisyn osuus, lasituksen lämmönläpäisykerroin, karmien osuus sekä lämmönläpäisykerroin ja ikkunoiden sisäänvedon syvyys. Ikkunoiden ominaisuuksien yhteydessä tulee kuvata valitun aurinkosuojauksen huomioidut ominaisuudet ja ohjauksien raja-arvot. Ikkunan eri ominaisuuksien määritelmät on esitetty luvussa Määritelmät ja käsitteet.

Esimerkissä 7 on esitetty ikkunan U -arvon ja g -arvon laskenta. Kun lasitusta määritetään mallinnukseen, on tärkeää, etteivät ikkunan ja lasituksen arvot mene sekaisin.

Ikkuna suositellaan mallinnettavan yksityiskohtaista ikkunamallia käyttäen. Yksityiskohtaisessa ikkunamallissa ovat ikkunan lasitukset mallinnetaan ikkunaruutu ja -välitila kerrallaan. Ikkunamallissa huomioidaan ikkunan geometria, lasiruutujen valon- ja säteilynläpäisyominaisuudet, välitilojen paksuudet, täytekaasun ominaisuudet, aurinkosuojauksen sijainti, sisä- ja ulkopuolisten säteilysuojaratkaisuiden ominaisuudet, ikkunakarmit ja ikkunan sisäänveto. Mikäli hankkeessa ei ole määritetty tarkkoja kokonaisuuksia ikkunoille, voi tyypillisiä yksinkertaisen ikkunamallin ikkunoita käyttää hankkeessa sovittujen ominaisuuksien perusteella. Yksityiskohtaista mallia suositellaan kuitenkin käytettäväksi aina, kun mahdollista, koska aurinkosuojauksen vaikutuksen huomioiminen yksinkertaisella mallilla ei johda kaikissa tapauksissa luotettavaan lopputulokseen. Esimerkiksi lasien välisen aurinkosuojauksen vaikutus on erilainen kolmella kirkkaalla lasilla kuin aurinkosuojaikkunassa. Tämänkin takia ikkunoiden ja aurinkosuojauksien suunnittelu tulisi tehdä ennen jäähdytystehon mitoitusta.

Hankkeissa arkkitehti määrittää usein ikkunoiden koot yhteystyössä LVI-, energia- tai elinkaarisuunnittelijoiden kanssa. Ikkunoiden kokoja voidaan useimmiten vielä tarkentaa alustavien ehdotusten jälkeen. Tällöin ikkunoista saatavaa päivänvaloa ja lämpökuormaa on hyvä tarkastella eri ikkunaratkaisuiden geometrialla, lasituksen ominaisuuksilla ja aurinkosuojaratkaisuilla. Tarkasteluiden perusteella valituilta ratkaisuilta toivotaan sisäolosuhteiden kannalta tehokasta päivänvalon hyödyntämistä sekä energiatehokkuutta lämmityksen ja jäähdytyksen osalta. Koska ikkunaan liittyvät hankinnat ja ratkaisut määrittellään rakennushankkeiden aikaisessa vaiheessa, myös aurinkosuojauksen mahdollisuudet tulee selvittää. Ikkunoiden, aurinkosuojauksen ja sisäisten ja ulkoisten lämpökuormien perusteella voidaan selvittää jäähdytystehon tarpeen laajuus, jotta jäähdytys voidaan tarvittaessa huomioida hankintoihin. Jäähdytystehojen mitoitus tulee tehdä passiivisten ratkaisujen selvityksen jälkeen, kun hanke on edennyt vaiheeseen, jossa talotekniikan suunnittelussa tulee määritellä huonelaitteiden tuotteet ja koot.

Aurinkosuojaus ei välttämättä ole hankkeissa kenenkään suunnittelijan vastuualueella. Siksi suunnitteluryhmän ja pääsuunnittelijan on hyvä ymmärtää, mikäli aurinkosuojausta tarvitaan, ja olla tarvittaessa yhteydessä asiantuntijaan. Talotekniikkasuunnittelussa on usein asiantuntijoita energia- tai LVI-suunnittelun alueilta, ja he pystyvät tarkastelemaan ikkunoiden ja aurinkosuojauksen vaikutusta päivänvaloon ja lämpöolosuhteisiin jo hankkeen aikaisessa vaiheessa. Varsinkin suuremmissa hankkeissa olisi

Esimerkki 7

Ikkunan pinta-ala on 3 m^2 ja karmien U -arvo on $1,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ja osuus pinta-alasta, eli umpiosan osuus, on 20 % ja lasituksen U_g -arvo on $0,9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ja g_g -arvo 0,4.

Mikä on ikkunan U_w -arvo ja g_w -arvo?

Ikkunan lämmönläpäisykerroin on yhtä kuin: $U_w = (U_g \cdot A_g + U_{Karmi} \cdot A_{Karmi}) / A_w$.

Ikkunan auringonsäteilyn kokonaisläpäisy on yhtä kuin: $g_w = g_g \cdot A_g / A_w$, jossa A_g on valoaukon pinta-ala (m^2) ja A_w on karmien äärimittojen mukaan laskettu pinta-ala (m^2)

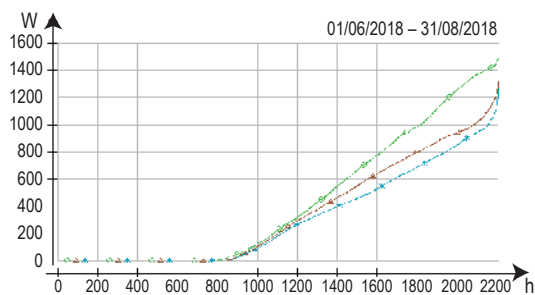
$$U_w = (0,9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} \cdot (0,8 \cdot 3 \text{ m}^2) + 1,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} \cdot (0,2 \cdot 3 \text{ m}^2)) / 3 \text{ m}^2 = 0,92 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}.$$

$$g_w = 0,4 \cdot (0,8 \cdot 3 \text{ m}^2) / 3 \text{ m}^2 = 0,32.$$

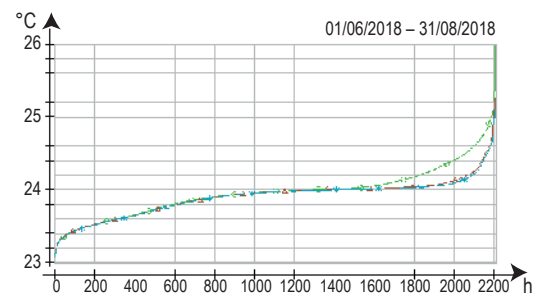
hyödyllistä määrittää aurinkosuojausten ja päivänvalon selvitykset jonkun suunnittelijan vastuulle. Auringonsäteilyä muodostuvien lämpökuormien vähentäminen kannattaa tehdä ensi sijassa passiivisin keinoin eli aurinkosuojauksilla ja huomioimalla ikkunoiden ominaisuudet. Näin voidaan välttää ei-jäähdytettävien tilojen yllämpeneminen ja vaikuttaa lämpöolosuhteisiin, jäähdytyksen tehoihin ja energiatarpeisiin.

Jäähdytystehon mitoituksessa aurinkosuojausten ohjaus huomioidaan varsinaisen automaation ohjauksen mukaisesti. Simuloinneissa käsin ohjattaville aurinkosuojauksille, kuten asuntokohteiden sälekaihtimille, huomioidaan yleensä ohjaus ikkunan sisäpuolisen auringonsäteilyn 100 W/m^2 raja-arvolla (säteily ilman suojausta). Tällöin raja-arvon ylittyessä sälekaihtimet ovat alhaalla 45 asteen kulmassa. Käyttäjää kannattaa ohjeistaa aurinkosuojaan käytöstä kohteissa, joissa aurinkosuoja on manuaalinen ja suoja on huomioitu jäähdytystehon mitoituksessa. Käyttäjän kannattaa antaa ymmärtää, etteivät lämpöolosuhteet pysy kesähelteillä tavoitteissa, mikäli sälekaihtimia ei käytetä. Ulkopuolisen aurinkoanturin avulla ohjattavaa aurinkosuojaa, eli dynaamista aurinkosuojaa, voidaan esimerkiksi ohjata $12\,000 \text{ luxin}$ (noin 95 W/m^2) raja-arvolla. Automaation ohjaukseen on myös hyvä lisätä viive raja-arvon alituksista, esimerkiksi 30 minuuttia, jolloin aurinkosuoja on vielä käytössä, jotta tilapäinen pilvi ei turhaan aktivoi ohjausta. Dynaaminen aurinkosuoja on yleensä pelkästään automaation perusteella ohjautuva. Usein suojan ohjaus varustetaan myös kauko-ohjaimella, jotta myös käyttäjä pystyy ohjaamaan suojaa. Ulkopuolisia aurinkosuojausjärjestelmiä voidaan ohjata niin auringon, lämmön, tuulen kuin sateenkin perusteella. Joskus kaupunkikuvan rajoitteet voivat vaikuttaa ulkopuolisen aurinkosuojausten mahdollisuuksiin, mutta yleensä hanke pystyy itse päättämään, hyödynnetäänkö ulkopuolista suojausta vai ei. Ulkopuolisista aurinkosuojausjärjestelmistä ulkopuolinen screenkaihdin voi olla vaihtoehto markiisille, joista on malleja, jotka kestävät tuulta ja ovat huollettavissa rakennuksen sisäpuolelta.

Kuvassa 13 on esitetty esimerkkinä vertailu sälekaihtimien sijainneista. Vertailun tuloksina on esitetty yhden asunnon säteilypaneelien jäähdytystehot ja olohuoneen sisälämpötila kesäajalta pysyvyyssäyrällä. Ikkunan U -arvo on $0,9$ ja g -arvo $0,38$, ja sälekaihtimia ohjataan auringonsäteilyn raja-arvolla 100 W/m^2 ilman aurinkosuojausta ikkunan sisäpuolella, jolloin sälekaihtimet ovat alhaalla 45 asteen kulmassa. Sälekaihtimet huomioituna on g -arvo sälekaihtimilla sisäpuolella $0,32$, uloimpien lasien välissä $0,17$ ja ulkopuolella $0,11$. Jäähdytyksen asetusarvo on 24 °C , ja tehot on mitoitettu sen perusteella, että sälekaihtimet olisivat uloimpien lasien välissä. Kun sälekaihtimet ovat sisäpuolella, on asunnon jäähdytysenergiatarve 956 kWh , uloimpien lasien välissä 765 kWh ja ulkopuolella 671 kWh .



— Jäähdytystehot sisäpuolisilla sälekaihtimilla, W
— Jäähdytystehot uloimpien lasien välisillä sälekaihtimilla, W
— Jäähdytystehot ulkopuolisilla sälekaihtimilla, W



— Ilman lämpötila sisäpuolisilla sälekaihtimilla, °C
— Ilman lämpötila uloimpien lasien välisillä sälekaihtimilla, °C
— Ilman lämpötila ulkopuolisilla sälekaihtimilla, °C

Kuva 13. Aurinkosuojaus.

Ikkunatuuletusta ei jäähdytystehon mitoituksessa huomioida, koska mitoittavan säätiedon helteisissä olosuhteissa ikkunatuuletus huonontaa olosuhteita. Ikkunatuuletus on kuitenkin yleensä hyvä tehostusmahdollisuus helteiden ulkopuolella.

Sisäiset lämpökuormat ja kosteuskuormat

Mitoituksessa käytetyt sisäiset lämpö- ja kosteuskuormat ja niiden käyttästeet tulee mitoitusraportin lähtötiedoissa esittää joko tekstinä, taulukkoina tai kuvaajina. Kuormat voidaan esittää tila-, osasto- tai huoneistokohtaisesti, mutta niin, että niiden osuudet on eroteltu vähintään henkilöiden, laitteiden, valaistuksen ja talotekniikan osalta. Mallinnuksessa tulee käyttää suunnitellun käytön mukaisia kuormia, jos ne ovat tiedossa tai ne pystytään arvioimaan. Asuntojen tulevaa käyttöä voidaan hyvin harvoin arvioida täydellisesti, mutta tämän oppaan laadintaesimerkissä sisällytetyt kuormat suositellaan huomioitaviksi vastaavissa kohteissa. Toimistojen lämpökuormat on yleensä huomattavasti helpompi arvioida, sillä tilojen kalustus on usein tiedossa.

Mikäli tilojen tulevaa käyttöä ei suunnitteluvaiheessa tunneta, lämpökuormien lähteenä voidaan käyttää esimerkiksi Sisäilmastoluokituksen 2018 lämpökuormien taulukkoarvoja. Sisäilmaluokituksen taulukkoarvoja käytettäessä tulee jäähdytystehontarve luokituksen ohjeistuksen mukaisesti mitoittaa 100 %:n käyttöasteella käyttöaikana. Muita taulukkoarvoja käytettäessä lämpökuormille voidaan arvioida haastavat käyttäasteet 0:n ja 100 prosentin välille profiloituina, kunhan profiiliin käyttö on perusteltua. Yleensä käyttöasteiden profiloinnissa ei tarvitse huomioida vähäistä oleskeluvaihtelua, eli ns. alle 15 minuuttia tilassa oloa. Tällöin profiiliin laatiminen voi olla turhan työlästä ja loppujen lopuksi tarkkuudella on harvemmin merkittävää vaikutusta lopputuloksiin. Asuntokohteissa, joihin mitoitus tehdään profiloituilla käyttöasteilla, käyttöajoissa kannattaa huomioida ilmansuunnat. Näin käyttö osuu auringonsäteilyn lämpökuorman kanssa yhteen, jolloin jäähdytystehontarve tulee tilan osalta suuremmaksi. Asuntokohteen mitoituksessa on kuitenkin huomioitava, ettei kokonaiskuorma asunnossa olevista ihmisistä ylitä sitä määrää, jolle asunto suunnitellaan. **Taulukossa 2** on esimerkki 5 huoneen (4 MH + OH) asunnon henkilöiden käyttöasteista ja aktiivisuustasosta.

Taulukko 2. Esimerkki 5 huoneen asunnon käyttöasteista jäähdytystehon mitoituksessa.

Tila	Käyttöaste ja -aika (MET 0,7 22:00–06:00, muutoin MET 1,2)
MH1 Pohjoiseen (2 henk.)	1,0 22:00–06:00, 0,5 08:00–11:00 ja 12:00–17:00
MH2 Itään (1 henk.)	1,0 22:00–06:00, 08:00–11:00 ja 12:00–17:00
MH3 Etelään (1 henk.)	1,0 22:00–06:00, 08:00–11:00 ja 12:00–17:00
MH4 Länteen (1 henk.)	1,0 22:00–06:00, 10:00–11:00 ja 14:00–21:00
OH (5 henk.)	1,0 06:00–08:00, 11:00–12:00 ja 21:00–22:00, 0,8 17:00–21:00, 0,4 08:00–10:00 ja 12:00–14:00, 0,2 10:00–11:00 ja 14:00–17:00

Sisätiloissa kosteuskuorma muodostuu useista eri lähteistä, kuten ihmisistä, kotieläimistä, kasveista, ruoanlaitosta ja vaatteiden kuivauksesta. Kosteuskuormien arvioiminen simulointia varten edellyttää lähtötietojen määrittämistä eri kosteuskäytöille, niiden kosteuskäytöstä ja käyttöasteista. Varsinkin asuntojen todellisia tulevia käyttöasteita voi olla hyvin vaikea määrittää, sillä ihmisten elintavat ovat hyvinkin vaihtelevia. Asunnoissa esimerkiksi ruoanlaitossa vapautuvan höyryn määrä vaihtelee paljon riippuen valmistettavasta aterialla. Kosteuskuormille on kirjallisuuslähteissä, kuten *2021 ASHRAE Handbook Fundamentals*, laajasti kansainvälisiä keskiarvolukuja. Ne eivät kuitenkaan välttämättä vastaa tyypillisesti Suomessa toteutuvaa kosteuskuormaa samaisesta kosteuskäytöstä, joten niitä on sovellettava harkiten simulointien lähtötietoina. **Taulukossa 3** on esitetty *ASHRAE Fundamentals*issa olevia asuinrakennusten kosteuskuormia.

Taulukko 3. Kosteuskuormia ihmisistä, ihmisten toiminnasta ja kasveista asuinrakennuksissa.
(Lähde: ASHRAE Handbook Fundamentals 2021)

Lähde	Kosteuskuorma	Yksikkö
Ihmiset (data Tanskasta)	900	g/hlö,vrk
Ihmiset (data Isosta-Britanniasta)	1 200	g/hlö,vrk
Ihmiset (data Saksasta)	800–2480	g/hlö,vrk
Ihmiset (data Virossa)	1000	g/hlö,vrk
Ihmiset – kevyt aktiivisuus	30–60	g/h
Ihmiset – keskiuuri aktiivisuus	120–200	g/h
Ihmiset – raskas aktiivisuus	200–300	g/h
Ruoanlaitto 4 hengelle sähköllä (data Tanskasta)	900	g/vrk
Ruoanlaitto 4 hengelle sähköllä (data Isosta-Britanniasta)	2 000	g/vrk
Ruoanlaitto 4 hengelle kaasulla (data Isosta-Britanniasta)	3 000	g/vrk
Aamiaisen valmistelu 4 hengelle	160–270	g
Lounaan valmistelu 4 hengelle	250–320	g
Illallisen valmistelu 4 hengelle	550–720	g
Veden keitto 10 min 150 mm halkaisijan kattilassa	260	g
Astianpesu (data Tanskasta ja Isosta-Britanniasta)	400	g/vrk
Aamiaisen astianpesu 4 hengelle	100	g
Lounaan astianpesu 4 hengelle	70	g
Illallisen astianpesu 4 hengelle	310	g
Peseytyminen (data Tanskasta)	400	g/hlö,vrk
Peseytyminen (data Isosta-Britanniasta)	200	g/hlö,vrk
Suihku (15 min)	160–270	g
Pyykit – Linkokuivattu, kuorma, kunnes pyykit ovat kuivia	20–200	g/h
Pyykit – Lämpimärät, kuorma, kunnes pyykit ovat kuivia	100–500	g/h
Kasvit (data Tanskasta)	20	g/kasvi,vrk
Ruukkukasvit	15	g/ruukku,h
Ruukkukukat	10	g/ruukku,h

Jäähdytystehon mitoitusta varten laskennassa tulisi huomioida tiloille tyypilliset kosteuskuormat. Asuinrakennusten huoneistojen kosteuskuormalähteitä on useampia, ja niitä tulee arvioida sen mukaan, että huoneiston asukkaat viettävät koko päivän sisätiloissa. Vaikka äärimmäiset kuormat ruuanlaitosta ja jokapäiväiset pitkät saunomiset ovat mahdollisia, eivät ne vastaa pientä poikkeamaa tyypillisestä kuormasta. Mikäli äärimmäiset kosteuskuormat huomioidaan jäähdytyksen mitoituksessa, mitoitettut tehot ovat kohtuuttoman suuret varsinkin, jos kastepisteohjaus vaikuttaa mitoitukseen.

Kosteuskuormista on lisäksi huomioitava, että kosteutta syntyy sisätiloihin kahdessa eri muodossa: pisaroina sekä höyrynä. Kosteuskuorma pisaroina viilentää huoneilmaa, sillä se ottaa höyrystyslämmön huoneilmasta, kun taas kosteuskuorma höyrynä ei ota höyrystyslämpöä huoneilmasta. Mallinnuksessa kosteuskuormat tulisi määrittää lähteen muodon perusteella. Simuloinnin mallinnuksessa esimerkiksi kasvien ja pyykkien kuivauksen kosteuskuormien huomioidaan koostuvan pisaroista, kun taas ihmisten, ruoanlaiton ja suihkun kosteuskuormat koostuvat höyrystä.

Taulukot 4–8 sisältävät tässä oppaassa laaditut esimerkit eri huoneistokokojen sisäisten kosteuskuormien määristä. Taulukoissa pesu koostuu astianpesusta ja pyykin kuivauksesta. Mallinnuksessa kuormat tulee kohdistaa huoneittain, eli esimerkiksi yöaikaan ihmiset ovat ainoastaan makuuhuoneissa. Ruoanlaiton kosteuskuorman on huomioitu koostuvan 35 % tuotetusta höyrystä, eli siitä osuudesta, joka tulee tilaan ja jota liesikupu ei sieppaa.

Taulukko 4. Yksiön kosteuskuorma (g/h), H+KT+KPH.

Aika, t	Ihmiset	Ruoanlaitto	Suihku	Pesu	Kasvit	Summa
0–6	97,2			125	12,5	234,7
6–7	131,8		400		12,5	544,3
7–11	131,8				12,5	144,3
11–12	131,8	450		200	12,5	794,2
12–18	131,8				12,5	144,3
18–19	131,8	450			12,5	594,2
19–20	131,8				12,5	144,3
20–22	131,8			125	12,5	269,3
22–24	97,2			125	12,5	234,7
Summa, g/vrk	2 886	900	400	1 450	300	5 936

Taulukko 5. Kaksion kosteuskuorma (g/h), MH+OH+KT+KPH.

Aika, t	Ihmiset	Ruoanlaitto	Suihku	Pesu	Kasvit	Summa
0–6	97,2			125	20,8	243,0
6–7	131,8		400		20,8	552,6
7–11	131,8				20,8	152,6
11–12	131,8	450		200	20,8	802,6
12–18	131,8				20,8	152,6
18–19	131,8	450			20,8	602,6
19–20	131,8				20,8	152,6
20–22	131,8			125	20,8	277,6
22–24	97,2			125	20,8	243,0
Summa, g/vrk	2 886	900	400	1 450	500	6 136

Taulukko 6. Kolmion kosteuskuorma (g/h), 2 MH+OH+KT+KPH.

Aika, t	Ihmiset	Ruoanlaitto	Suihku	Pesu	Kasvit	Summa
0–6	145,8			125	29,2	300,0
6–7	191,9		400		29,2	621,0
7–11	197,6				29,2	226,8
11–12	197,6	525		200	29,2	951,8
12–18	197,6				29,2	226,8
18–19	197,6	525		200	29,2	951,8
19–20	197,6				29,2	226,8
20–21	197,6		200	125	29,2	551,8
21–22	197,6			125	29,2	351,8
22–24	145,8			125	29,2	300,0
Summa, g/vrk	4 323	1 050	600	1 650	700	8 323

Taulukko 7. 4H asunnon kosteuskuorma (g/h), 3 MH+OH+KT+KPH.

Aika, t	Ihmiset	Ruoanlaitto	Suihku	Pesu	Kasvit	Summa
0–6	194,4			125	37,5	356,9
6–7	252		400		37,5	689,5
7–11	263,5				37,5	301,0
11–12	263,5	600		200	37,5	1 101,0
12–18	263,5				37,5	301,0
18–19	263,5	600		200	37,5	1 101,0
19–20	263,5				37,5	301,0
20–22	263,5		200	125	37,5	626,0
22–24	194,4			125	37,5	356,9
Summa, g/vrk	5 760	1 200	800	1 650	900	10 310

Taulukko 8. 5H asunnon kosteuskuorma (g/h), 4 MH+OH+KT+KPH.

Aika, t	Ihmiset	Ruoanlaitto	Suihku	Pesu	Kasvit	Summa
0–6	243			125	45,8	413,8
6–7	312,1		400		45,8	758,0
7–11	329,4				45,8	375,2
11–12	329,4	600		200	45,8	1 175,2
12–18	329,4				45,8	375,2
18–19	329,4	600		200	45,8	1 175,2
19–20	329,4		200		45,8	575,2
20–22	329,4		200	125	45,8	700,2
22–24	243,0			125	45,8	413,8
Summa, g/vrk	7 197	1 200	1 000	1 650	1 100	12 147

Talotekniikka

Jäähdytys ja järjestelmähäviöt

Mitoitusraportin lähtötiedoissa tulee esittää mitoitettavan huonelaitteen laitetyyppi, järjestelmän meno- ja paluunesteen lämpötilat, jäähdytyksen asetusarvot ja tavoitearvot ilman tai operatiiviselle lämpötilalle.

Tavoitteellinen ilman suhteellinen kosteus voidaan myös määrittää lähtötiedoissa ja huomioida tuloksissa. Laitteen jäähdytystehon määrittelyssä tulee ilmoittaa käytettävät lämpötilatasot, kuten menoveden, paluuveden ja ilman lämpötila. Erilliset ohjaukset, kuten kastepisteohjaus, tulee kuvata lähtötiedoissa. Myös muita järjestelmää koskevia erityishuomioita on hyvä kuvata, esimerkiksi se, että järjestelmä voi olla kondensoiva ja varustetaan kondenssiviemäröinnillä.

Kun jäähdytysjärjestelmä vaatii erityistä huomiota rakenteiden mallinnuksessa, kuten välipohjan ja alapohjan rakenne lattiaviilennyksen järjestelmässä, on lähtötiedoissa hyvä kuvata mitoituksessa olevan rakenteen ominaisuudet sekä jäähdytysjärjestelmän muita erityisiä laskentaparametrejä.

Järjestelmähäviöiden lämpökuormat, jotka vaikuttavat tiloihin, kuten lämpimän käyttöveden kiertohäviöt, putkihäviöt ja kanavahäviöt, tulee mallintaa aina, kun ne ovat laskennan kannalta merkittäviä lämpökuormia. Muita huomioitavia lämpökuormia ovat myös käyttövesipatterit ja mukavuuslattialämmitykset, mikäli niitä on suunniteltu käytettävän jäähdytyskaudella.

Ilmanvaihto ja ilmanvaihdon jäähdytyspatteri

Ilmanvaihdosta mitoitusraportissa esitetään mallinnettujen ilmanvaihtokoneiden varustus ja ominaisuudet lämmityksestä, jäähdytyksestä, lämmöntalteenotosta sekä käyntiajoista. Myös tuloilman asetusarvo, puhaltimien ominaissähkötehon SFP-luku ja tuloilman lämpeneminen puhaltimissa sekä kanavistossa esitetään. Suunnitelmien mukaisia ilmamääriä käytettäessä on lähtötietoihin hyvä merkitä kyseisten suunnitelmien päivämäärä. Muutoin tilakohtaiset ilmamäärät on hyvä kirjata lähtötietoihin. Tilakohtaiset tai ilmanvaihtokonekohtaiset ilmapirtasäädöt ja tuloilman lämpötilan säädöt tulee myös esitellä.

Ilmanvaihdon säädöistä ja ohjauksista voidaan raportissa esittää seuraavia asioita:

- ilmanvaihdon käyntiajat eri koneissa ja erillispuhaltimissa
- tuloilman lämpötilan asetusarvo, säätö- ja ohjaustapa ja sisäänpuhalluksen lämpötila mitoituspäivän säätiedolla
- ilmanvaihtokoneiden tulo- ja poistoilmavirrat ja ohjaustapojen vaikutus käyttöajan ilmamääriin.
- tilakohtaisten muuttuvailmavirtaohjausten säätö-, ohjaustapa ja asetusarvot
- yötuuletus tai -jäähdytyksen säätö-, ohjaustapa ja asetusarvot.

Raportissa tulee esittää ilmanvaihtokoneissa käytettyjen jäähdytyspatterien mitoitusarvot. Mikäli tarkastelussa käytetään rajoittamattoman jäähdytyspatterin mukaista mallinnusta, tulee se ilmoittaa. Lisäksi tulee esittää, kuinka paljon kokonaislämmönsiirto on suurimmillaan ja missä ilman olosuhteissa. Kun käytetään mitoitetun jäähdytyspatterin, mitoitusolosuhteiden mukaiset parametrit tulee esittää lähtötiedoissa. Mikäli jäähdytyspatterin jälkeinen ilman lämpötila ei pysy asetusarvossaan koko mitoituspäivänä, tulee patterin jälkeinen maksimilämpötila esittää, jotta tilojen lopullinen sisäänpuhalluslämpötila on tiedossa. Jäähdytyspatterin mitoitusolosuhteiden parametrit voivat koostua seuraavista tiedoista:

- kokonaislämmönsiirto mitoitusolosuhteissa (W)
- nesteen massavirta (kg/s) ja menolämpötila (°C)
- ilmavirtaus (l/s)
- tulevan ilman lämpötila, märkälämpötila ja entalpia (°C)
- lähtevän ilman lämpötila (°C). ■

Jäähdytystehon mitoitus

Huonelaitteiden jäähdytystehon mitoitus tulee ajankohtaiseksi, kun hankkeen suunnittelussa tulee määrittää tuotevalintoja ja jäähdytystuoton primäärijärjestelmän mitoituksia. Mitoituksessa huomioitavilla lähtötiedoilla ja tavoitetasoilla on vaikutusta niin hankkeen hankintakustannuksiin kuin myös valmistuneen rakennuksen lämpöolosuhteisiin ja energiakulutuksiin. Mitoittajan tuleekin selvittää lähtötietoja ja valita mitoitettavat tyyppitilat sillä laajuudella, jota jäähdytystehon mitoituksen tavoitteet hankkeessa edellyttävät. Tilaajan on myös hyvä ymmärtää mitoituksen tavoitetaso, joka määrittyy käytettyjen lähtötietojen sekä jäähdytyksen asetusarvon ja tavoitearvon perusteella.

Mitoituksella määritellään samalla lämpöolosuhteiden riskienhallintaa, sillä lämpökuormia määriteltessä voidaan huomioida joko kohtalaisia tai äärimmäisiä lämpö- ja kosteuskuormia. Esimerkiksi manuaalisesti käytettävien aurinkosuojausten todellinen käyttö ei ole taattua. Mikäli aurinkosuojausta ei käytetä ja se on mitoituksessa huomioitu, riskinä voi olla, että auringonsäteilyn lämpökuorma nostaa tilan lämpötilan yli suunnitellun tavoitelämpötilan. Hankkeessa tulee olla selkeä tieto siitä, mitä mitoituksessa on huomioitu. Mitoitusraportti voi olla hyvä tapa saada läpinäkyvyyttä mitoitukselle, kun raportissa esitetään mitoituksen lähtötiedot ja tulokset.

Mitoitettuja tehoja voi olla hankkeen edetessä tarvetta tarkentaa, mikäli rakennuksen suunnitteluun tai toteutukseen tulee muutoksia, jotka vaikuttavat merkittävästi jäähdytystarpeeseen. Jottei laskelmia tehtäisi useampaa kertaa, tulee mitoitus tehdä tarpeeksi myöhäisessä suunnitteluvaiheessa, kun lähtötiedot ovat tarpeeksi varmoja.

Mallin luonti lähtötietojen perusteella	• Säätidon valinta • Vyöhykkeiden, rakenteiden ja ympäristön mallinnus • Ikkunoiden ja aurinkosuojauksen mallinnus aiempien selvitysten perusteella • Sisäisten lämpökuormien ja kosteuskuormien mallinnus käyttöasteineen • Muun talotekniikan mallinnus ◦ Ilmanvaihdon mallinnus suunnitellun mitoituksen ja ohjauksen perusteella ◦ Järjestelmähäviöiden mallinnus – Lämmin käyttövesi – Tuloilman lämpeneminen puhaltimessa ja kanavistossa
Jäähdytyksen mallinnus ja mitoitus	• Jäähdytyksen asetusarvon ja maksimilämpötilan tavoitearvon määrittäminen • Muut ohjaukset kuten kastepistesäätö • Ilmanvaihdon jäähdytyspatterin mitoitus ja mallinnus mitoituksen perusteella • Mitoitettavien jäähdytyksen huonelaitteiden lämpötasojen mallinnus • Huonelaitteiden jäähdytystehon mitoitus optimoinnilla jäähdytettäville vyöhykkeille
Mitoitettujen tehojen tulokset	• Mitoitusraportti, tehoilla ja tuotevalinnoilla • Herkkystarkastelu • Samanaikainen jäähdytyksen kokonaistehontarve • Energiankulutus • Olosuhdetarkastelu

Kuva 14. Jäähdytystehon mitoitus.

Tavoitearvo ja asetusarvo

Jäähdytystehon mitoituksessa on määritettävä lämpötilan tavoitearvo ja asetusarvo. Asetusarvolla määritellään, minkä lämpötilan yläpuolella jäähdytys on päällä tai ylläpitää, mikäli jäähdytystehontarve on pienempi kuin saatavilla oleva jäähdytysteho. Tavoitearvo on joko ilman tai operatiivinen lämpötila, johon lämpötila nousee jäähdytystehon laskennan mitoituspäivänä. Tiloille määritetään mitoitusta varten molemmat arvot, jotka eivät välttämättä ole samat koko rakennuksessa. Arvot voivat erota toisistaan tilatyypin ja käyttötarkoituksen perusteella. Asetusarvo ei kuitenkaan voi olla suurempi kuin tavoitearvo. Mitä suurempi ero asetusarvon ja tavoitearvon välillä on, sitä suurempi lämpötilavaihtelu tilassa tulee olemaan kesähelteillä.

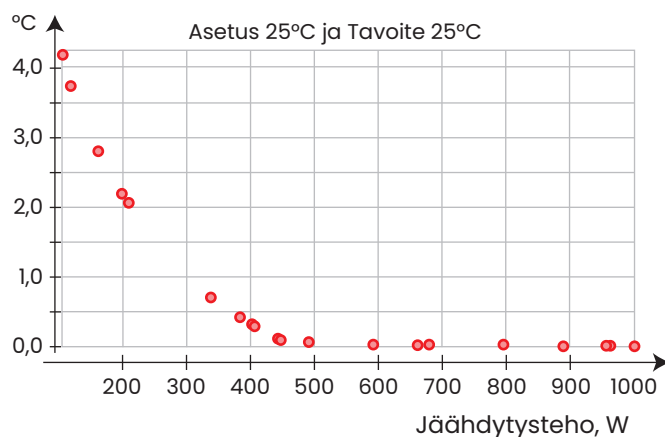
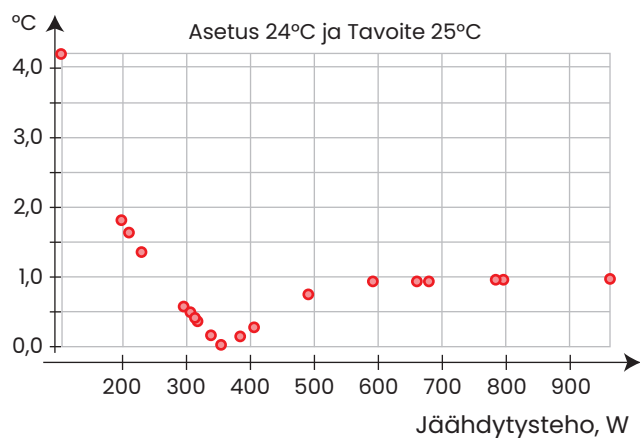
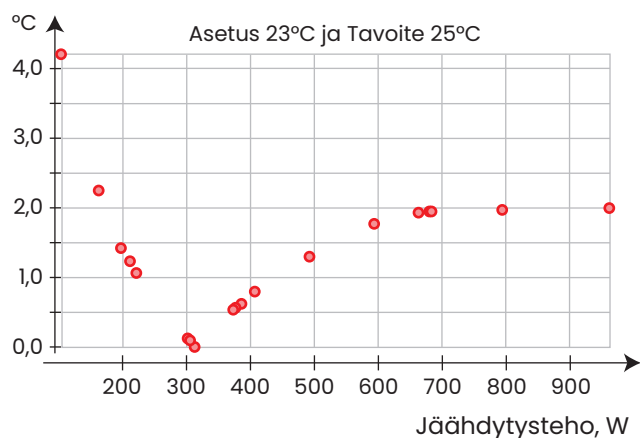
Tavoitelämpötila määritetty hankkeen tavoitteiden perusteella. Asetusarvo saattaa riippua mitoittavasta huonelaitteesta ja hyväksyttävästä lämpötilavaihtelun määrästä. Molemmat arvot ovat aina hankekohdaisia. Vaativassa kohteessa, jossa jäähdytyksellä täytyy aina pystyä määrittelemään huonelämpötila, tulee asetusarvon olla sama kuin tavoitelämpötila ja tavoitelämpötila asettaa vaativuuden tason mukaiselle lämpötilalle. Muut järjestelmät voivat myös vaikuttaa asetusarvoon. Esimerkiksi ilmamääräsäätöisissä järjestelmissä ilmamäärää ohjataan lämpötilan perusteella. Tällöin huonelaitteelle on hyvä huomioida ainakin 0,1 °C suurempi asetusarvo kuin ilmanvaihdolle. Asetusarvon valinta voi myös perustua eri standardeihin. SFS-EN ISO 52120-1:2022-standardissa on rakennusautomaatiolle ja ohjaukselle tehokkuusluokat A–D, joissa jäähdytyksen asetusarvo on D-luokassa 22,5 °C, B- ja C-luokassa 23 °C ja A-luokassa ulkolämpötilan funktiona toimiva asetusarvo.

Kun tavoitelämpötilaa määritetään, voi olla parempi huomioida operatiivinen lämpötila ilman lämpötilan sijaan, vaikka yleensä jäähdytystä ei ohjata operatiivisen lämpötilan mukaan, vaan huonelämpötilan mukaan. Tarkastelussa onkin huomioitava, millä ilman lämpötilalla tavoitteellinen operatiivinen lämpötila saavutetaan tilan tarkastelukohdassa. Kesällä ilman lämpötila on yleensä kuumien pintojen takia matalampi kuin operatiivinen lämpötila. Hankkeissa voi vaihtoehtoisesti olla hyödyllistä määritellä ilman lämpötilalle tavoitearvo, kunhan operatiivinen lämpötila ei ylitä tiettyä rajaa kyseisessä ilman lämpötilassa. Esimerkiksi, jos ilman lämpötila on 25 °C ja operatiivinen lämpötila 26 °C, lämpötilat pysyvät Sisäilmastoluokituksen 2018 S2-luokan operatiivisen lämpötilan tavoitealueella.

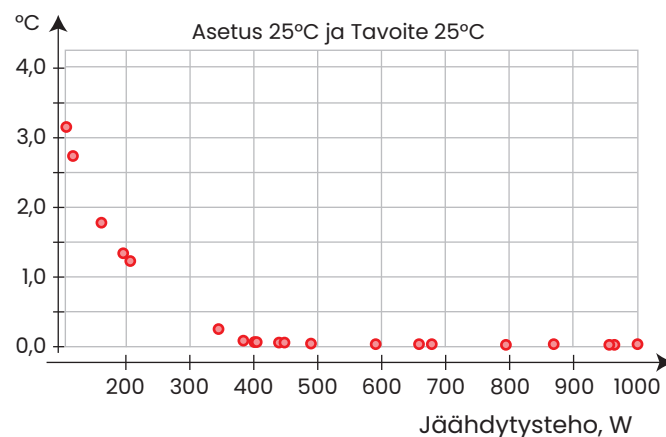
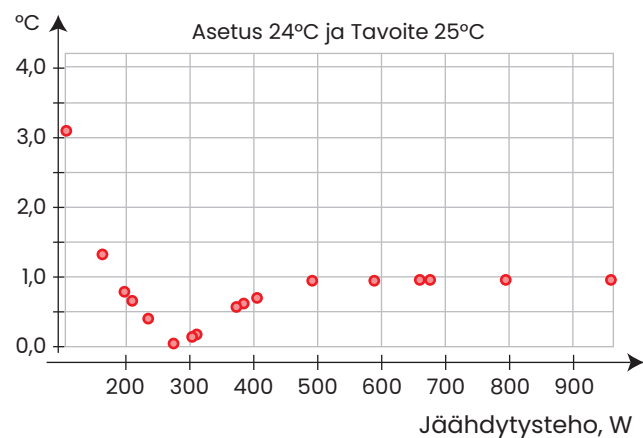
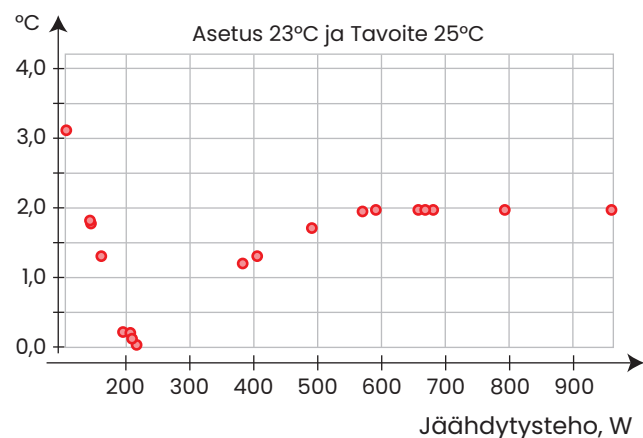
Kuva 15 on esimerkki asetusarvon muutoksen vaikutuksesta 11 m²:n kokoisen toimistohuoneen huonelaitteen jäähdytystehon mitoituksen optimointiin. Ilman lämpötilan tavoitearvona on 25 °C. Ylimmäisessä kuvassa jäähdytyksen asetusarvo on 23 °C, keskimmaisessa 24 °C ja alimmaisessa 25 °C. Pystyakselissa on esitetty mitoituspäivän maksimilämpötilan ero tavoitelämpötilaan ja vaaka-akselissa huonelaitteen jäähdytysteho. Asetusarvolla 23 °C ja 0 °C:n maksimilämpötilan erolla tehontarve on 310 W, asetusarvolla 24 °C 350 W ja asetusarvolla 25 °C 490 W.

Dynaamisella simuloinnilla rakenteiden, kuten väliseinien, terminen massa vaikuttaa merkittävästi mitoitukseen. **Kuvassa 15** väliseinänä on kevytrakenteinen kipsiseinä, kun taas **kuvan 16** esimerkissä väliseinänä on 200 mm:n paksuinen betoniseinä. Tavoitearvo, asetusarvo ja kuvaajien akselit ovat samat kuin edellisissä kuvaajissa. Asetusarvolla 23 °C ja 0 °C:n maksimilämpötilan erolla tehontarve on 220 W, asetusarvolla 24 °C 280 W ja asetusarvolla 25 °C 400 W.

Tavoite- ja asetusarvolla on suuri merkitys jäähdytystehon mitoitukseen. Myös muut mallinnuksessa huomioitavat lähtötiedot, kuten rakenteet ja ikkunat, säätieto, sisäiset kuormat ja muu talotekniikka, vaikuttavat merkittävästi huonelaitteen jäähdytystehon mitoituksen lopulliseen tulokseen.



Kuva 15. Asetusarvon muutoksen vaikutus 11 m²:n kokoisen toimistohuoneen huonelaitteen jäähdytystehon mitoituksen optimointiin (Väliseinänä kevytrakenteinen kipsiseinä).



Kuva 16. Asetusarvon muutoksen vaikutus 11 m²:n kokoisen toimistohuoneen huonelaitteen jäähdytystehon mitoituksen optimointiin (Väliseinänä 200 mm:n paksuinen betoniseinä).

Kastepistesäätö

Kastepistesäätö tarvitaan kondensoimattomien huonelaitteiden järjestelmissä, jotta laitteiden viileisiin pintoihin ei kondensoidu vettä, joka tiivistyessään tiputtaa vettä ympäristöön. Kondensoimattomiin huonelaitteisiin kuuluvat laitteet, kuten jäähdytyspalkit ja säteilypaneelit, joilla ei ole kondenssiveden viemäröintiä tai tippuvesiallasta. Kondensoimattomien jäähdytysjärjestelmien kohteissa suositetaan myös tuloilman viilennystä, sillä ilmanvaihdon jäähdytyspatteri myös kuivaa ilmaa, jolloin kastepistelämpötila pysyy matalampana. Tuloilman kuivaus vaikuttaa varsinkin hellejakson olosuhteisiin eli mitoituspäivien mukaisten olosuhteiden laskentaan, kun ulkoilman kosteus, lämpötila ja entalpia ovat korkeita.

Käytännössä kastepistesäätö pitää jäähdytyksen menoveden lämpötilan jatkuvasti huoneilman kastepisteen yläpuolella, jottei jäähdytyslaitteen pintojen lämpötila laske liian matalaksi. Korkean entalpian sisäänpuhalluslämpötila nostaa sisäilman kastepistettä, jolloin huonelaitteiden tehonluovutuskyky pienenee. Jäähdytystehon mitoituksessa tulee kondensoimattomille huonelaitteille huomioida jatkuvaa menoveden lämpötilaa ohjaava kastepistesäätö. Mitoitus tulee tehdä dynaamisella simuloinnilla, jotta useat mitoitukseen vaikuttavat ilmiöt, kuten kastepisteen sekä sisäilman ja huonelaitteen lämpötilaeron vaihtelevat vaikutukset, huomioidaan mitoituksessa.

Anturien määrät ja sijainnit, joilla kastepiste mitataan, tulee huomioida kastepistesäädön ohjauksen määrittämisessä. Tilakohtaisia antureita hyödyntämällä menoveden lämpötila voidaan kastepisteohjauksella säätää lähemmäs kastepistettä, esimerkiksi yhden tai kahden asteen sen yläpuolelle. Tämä tapahtuu, kun kastepisteohjaus antaa signaalin, joka ylittää menoveden lämpötilan asetusarvon. Käytettävä ohjauksen lämpötilaero riippuu siitä, miten anturit sijoitellaan ja kuinka luotettavia tuloksia ne antavat. Käytännön kokemuksia on myös ohjauksista, joissa menoveden lämpötila on ohjauksessa jopa kolme astetta yli kastepisteen.

Kastepistesäätöä käytettäessä on hyvä tarkastella ohjauksen signaalia, jotta tiedetään, kuinka paljon menoveden lämpötila vaihtelee simuloitavan mitoituspäivän aikana. Tämän oppaan kerrostalohuoneiston laadintaesimerkin herkkyystarkastelussa on [kosteuskuorman tarkastelu](#), jossa kastepistesäädön menoveden lämpötila mitoituspäivänä on kuvattu eri kosteuskuormilla.

Kondensoivilla huonelaitteilla ei ole kastepistesäätöä. Niitä mitoittaessa on kuitenkin huomioitava, että kondenssin syntyminen vaikuttaa mitoittettavaan jäähdytystehoon. Teho kasvaa kondenssin seurauksena, mitä kosteampaa ilma on ja mitä kylmempää menoveden lämpötilaa käytetään.

Tuloilman jäähdytys ja lämpeneminen kanavistossa

Tuloilman sisäänpuhalluslämpötilaan vaikuttavat ilmanvaihtokoneen eri komponentit, kuten lämmöntalteenotto, lämmityspatteri, jäähdytyspatteri, puhallin ja kanaviston eristävyys, kanaviston ympäristön lämpötila sekä raitisilmasäleikön sijainti. Ensisijaisesti tuloilman jäähdytyksellä tavoitellaan tietyn lämpötilatason tuloilmaa jäähdytyskaudella. Kesällä myös tuloilman kuivaus voi, jäähdytyksen ohella, olla tärkeä, jotta saavutetaan hyvät sisäolosuhteet.

Ilmanvaihtokoneen tuloilman jäähdytyspatterin mitoituksessa huomioidaan patteriin tulevan ilman lämpötila ja entalpia, patterista lähtevän tuloilman lämpötila ja menoveden lämpötila. Jäähdytyspatterin mitoitusolosuhteiden määritykset ovat hankekohtaisia. Ne riippuvat hankkeen tavoitetasosta, tulevaisuuteen varautumisesta, rakennuksen tilojen käytöstä ja kylmän lähteestä. Jäähdytystehon mitoitusolosuhteiden osalta Sisäilmastoluokituksen 2018 mukainen 57 kJ/kg:n mitoitusentalpia on vaativuudeltaan lähes samalla tasolla kuin Vantaan nykyilmaston 2020 5 %:n riskitason, 58,4 kJ/kg:n maksimientalpia. Jos vastaavaa riskitasoa halutaan jäähdytyspatterilta myös tulevaisuudessa, voivat Vantaan 2020 nykyilmaston 2 %:n riskitason maksimientalpia 62,6 kJ/kg ja -ulkolämpötila 29,9 °C toimia hyvänä mitoitusolosuhteena.

Tulevaisuuteen varautuminen voi koostua suuremman tehontarpeen varautumisista tilavarauksin teknisissä tiloissa ja katolla. Nykyilmaston 2020 2 %:n vaativuustaso on vaativuudeltaan hyvin vastaava kuin tulevaisuuden 5 %:n riskitasot. Esimerkiksi on Vantaa 2030, RCP4.5 ja 5 % riskitason maksimientalpia 60,8 kJ/kg ja -ulkolämpötila 30,7 °C ja Vantaa 2050, RCP4.5 ja 5 % riskitason maksimientalpia 62,6 kJ/kg ja -ulkolämpötila 31,3 °C. Mitään yleispätevää entalpiatasoa ei ole, jota jokaisen kohteen jäähdytyspatterille tulisi huomioida. Yleensä jäähdytyspatterit alimitoitetaan 1 %:n riskitason säätietoihin nähden, esimerkiksi Vantaa, 2030 RCP4.5 1 %:n maksimi ulkoilman entalpia on 71,4 kJ/kg ja lämpötila 30,7 °C. Koska kyseinen sääolosuhde ylittää ainoastaan 1 %:n ajan sääaineiston tarkastelujaksolla, voidaan pieni poikkeama tuloilman lämpötilan asetusarvosta nähdä hyväksyttävänä.

Kun poistoilman lämpötila pysyy kohtuullisena, voidaan viilentävää tehoa saada hyödynnettyä ilmanvaihdon lämmöntalteenoton kautta, jolloin jäähdytyspatterille tuleva ilma on ulkoilmaa viileämpää. Lämmöntalteenoton huomioimisella jäähdytyspatterin mitoituksessa on hyvät ja huonot puolensa. Jos lämmöntalteenotto huomioidaan patterin mitoituksessa, ovat jäähdytyspatterin koko ja painehäviöt patterin yli pienemmät, jolloin voi säästää kustannuksia, koneen kokoa ja puhaltimen sähkönkulutusta. Kun sisätilat yllilämpenevät, ei jäähdytyspatteri, jonka mitoituksessa on huomioitu lämmöntalteenotto, kykene viilentämään ilmaa tavoitetasonsa mukaan.

Mitä kylmempi jäähdytysnesteen menolämpötila ja mitä kosteampi jäähdytettävä ilma on, sitä enemmän jäähdytyspatterin teho kasvaa kondenssin seurauksena. Kuivempi sisänpuhallusilma tiloihin vaikuttaa kondensoimattomien jäähdytyslaitteiden mitoittamiseen, vähentämällä tehontarvetta, kun käytössä on kastepisteohjaus. Kylmäverkostossa käytettävät lämpötilat riippuvat kylmän lähteestä. Yleensä menoveden lämpötila on 7–10 °C, ja paluuveden lämpötila on 5–8 °C menovettä lämpimämpää. Jäähdytyspatterin mitoituksessa tulee huomioida myös patterin otsapinnan mitoitus. Patteri ei missään olosuhteissa saa päästä huurtumaan niin paljon, että vesi tiivistyy pinnoille ja lähtee pisaramuodossa ilmavirtaukseen eikä kondenssiviemäriin.

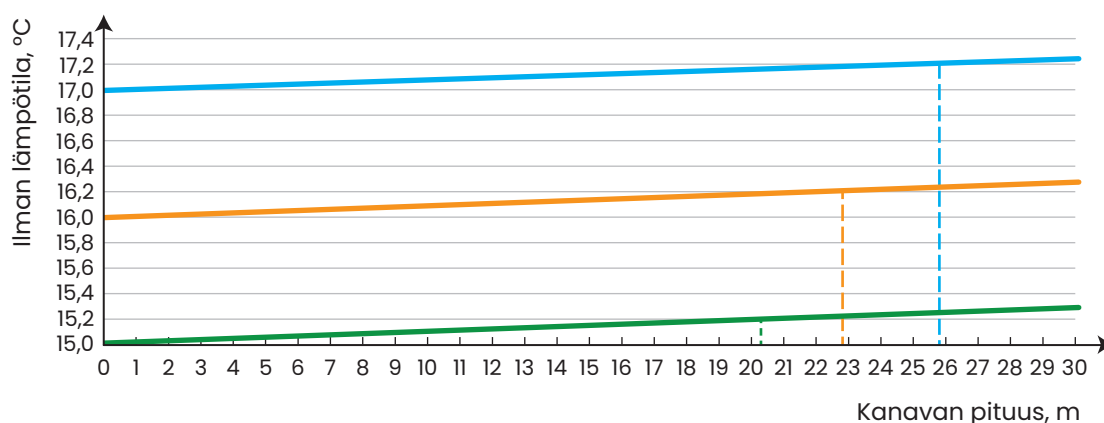
Kun ulkoilma on sekä viileää että kosteaa, esimerkiksi syysaamuna, jolloin ilman absoluuttinen kosteus on korkeahko, ulkoilman ominaisuudet voivat olla sellaiset, ettei ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterin tavallinen asetusarvo jäähdytä ja kuivaa ilmaa lainkaan. Tällöin sisäilman kosteus ja kastepiste voivat kasvaa pelkästään ilmanvaihdon takia, kun tuloilma on kosteaa. Jos sisäolosuhteiden tavoitteet, kuten museokohteissa, edellyttävät, voidaan ilmanvaihtokoneella ensin lämmittää viileää ja kosteaa ilmaa, jotta jäähdytyspatteri pystyy kuivattamaan sitä riittävästi. Mikäli ilma on tarvittavan kuivauksen takia alijäähdytettyä jäähdytyspatterin jälkeen, voidaan sitä myös jälkilämmittää, esimerkiksi jäähdytystuotannon lauhteella.

Jäähdytyspatterin mitoituksessa on tärkeää harkita, otetaanko huomioon normaalit vai tehostetut ilmamäärät. Mitoituksen valinta voi vaikuttaa huonelaitteiden, varsinkin kondensoimattomien järjestelmien, mitoittamiseen, sillä kuivauksen määrän ero vaikuttaa kastepisteohjaukseen. Muuttuvailmavirtauksen järjestelmissä kuivaus voi olla syy, jonka takia ilmamääriä pidetään tehostuksella. Tällöin jäähdytyspatterin mitoituksessa voi olla perusteltua huomioida tehostuksen ilmamäärät.

Jäähdytyspatterin mallinnus voidaan tehdä joko rajoittamattomalla tai mitoitetulla jäähdytyspatterilla. On tärkeää huomioida, että rajoittamattoman jäähdytyspatterin käytössä huonelaitteiden mitoitus perustuu sen sisänpuhalluslämpötilaan. Tällöin jäähdytyspatterin tehon on vastattava säätiedon vaatimuksia. Rajoitetun jäähdytyspatterin mitoituksella voidaan kompensoida sitä, ettei tuloilman asetusarvoa aina saavuteta. Tällöin rajoite huomioidaan huonelaitteiden mitoituksessa. Koko vuoden tarkastelussa voidaan myös arvioida, millaiset sisänpuhalluslämpötilat saavutetaan mitoituksen mukaisella jäähdytyspatterilla.

Sisänpuhalluslämpötilassa tulee huomioida jäähdytyspatterin jälkeinen ilman lämpeneminen puhaltimessa ja kanavissa. Ilman lämpeneminen puhaltimesta voidaan arvioida vakioilämpötilan nousulla tai puhaltimen annetun SFP-luvun ja ASHRAE-standardin 90.1 muuttuvailmavirran suorituskertoimien perusteella. Laskentaoppaan D3 (Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen) mukaan ilman lämpeneminen tuloilmapuhaltimessa on +1 °C, jos laskelmin ei toisin osoiteta. Sama +1 °C todetaan oppaassa myös ilman lämpenemiselle kanavissa, mutta D3 oppaan kuvan 2, ilman lämpeneminen eristämättömässä kanavassa, näyttää, että alkulämpötilaltaan 19 °C ilmalämpötila on kanavassa 10 metrin jälkeen lämmennyt +2 °C, kun ympäröivä lämpötila on 25 °C. Jäähdytettävän tuloilman kanavat tulee eristää, jotta voidaan välttää kondenssia ja ilman lämpenemistä.

Kuvassa 17 on esitetty ilman lämpeneminen sisätilassa.



Kuva 17. Ilman lämpeneminen sisätilassa (sisälämpötila 25 °C) kulkevassa eristetyssä kanavassa (Ø250 mm, U-arvo 0,5, 2 m/s) eri alkulämpötiloilla (15, 16 ja 17 °C) kanavan pituuden funktiona. Katkoviivalla on esitetty, minkä pituuden jälkeen kukin alkulämpötiloista on lämmennyt +0,2 °C.

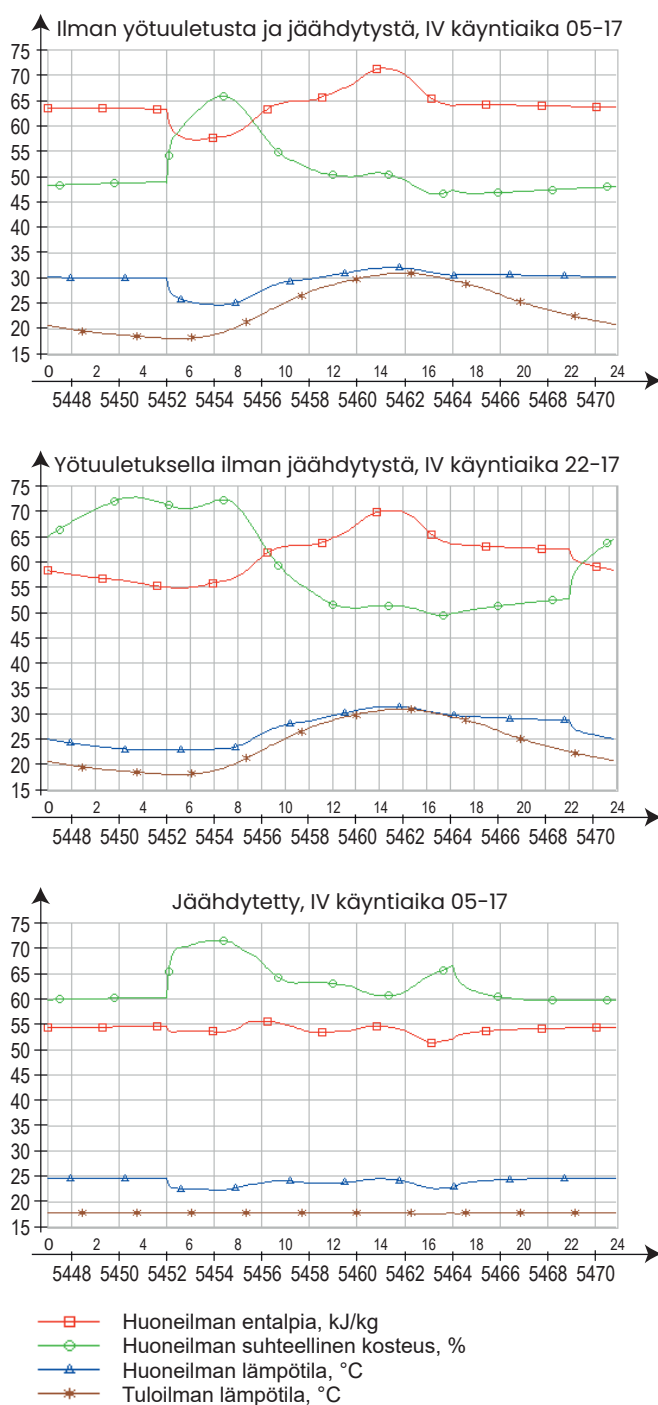
Suunnittelussa on lisäksi tärkeää huomioida ilman lämpenemisen osalta, ettei raitisilmasäleikköä sijoiteta niin, että siitä aiheutuu merkittävää tuloilman lämpenemistä. Mikäli ilman sisäänotto sijaitsee eteläjulkisivun seinäpinalla, lämmin säleikkö ja seinärakenne voi lämmittää ilmaa niin paljon, että tuloilma on ulkoilmaa huomattavasti lämpimämpää. Tällöin sisätilat voivat yllämmetä pelkästään ilmanvaihdon takia. Ilman sisäänotto kannattaakin mieluummin sijoittaa pohjoisjulkisivulle, katolle tai muuhun varjoisampaan paikkaan. Jos alakaton ilma on lämmintä, esimerkiksi eristämättömien suojaputkien sisältämien lämpimien käyttövesiputkien vuoksi, voi tämä lämpökuorma vaikuttaa sekä tuloilman että huoneiston lämpötilaan.

Yötuuletus ja yöjäähdytys

Yötuuletuksella tarkoitetaan rakennuksen viilentämistä ilmanvaihdon avulla yöaikaan viileämmällä ulkoilmalla ja ilman koneellista jäähdytystä. Yötuuletuksessa tulee myös huomioida, ettei tuloilman lämpötila saa olla liian viileää. Kun tuloilmakanavat on eristetty, on yleistä, että tuloilman lämpötila on alimmillaan noin 15 °C. Tarvittaessa tuloilman lämpötilan säädössä tulee huomioida kastepisteohjaus, jottei synny riskiä liian matalan sisänpuhalluslämpötilan aiheuttamasta kondenssista. Mitoituspäivien mukaisilla säätiedoilla yötuuletuksen vaikutus on vähäinen. Huonelaitteiden mitoitukseen ohjauksella voi kuitenkin olla vaikutusta, jos se vaikuttaa kastepisteohjaukseen. Siksi yötuuletuksen ohjaus on syytä mallintaa, vaikka sen vaikutus olisi vähäinen.

Yöjäähdytyksellä tarkoitetaan rakennuksen yöaikaista viilentämistä koneellisella jäähdytyksellä. Viilennys voidaan tehdä joko tuloilmalla tai huonelaitteiden jäähdytyksellä. Yöjäähdytyksellä saadaan suurempi jäähdytysteho yötuuletuksen verrattuna, joten yöjäähdytyksellä lämpötilan tavoitetaso voidaan saavuttaa lyhyelläkin aikaohjelmalla. Yöajan viileämmällä sisäilmalla ”varataan” jäähdytystä rakenteisiin, joka voi alentaa jäähdytyksen tehontarvetta päivällä.

Kuvassa 18 on esitetty esimerkkinä opetustilan tarkastelun tulokset. Niissä ratkaisuja verrataan ilmanvaihdon yötuuletuksella, ilman yötuuleutusta sekä ilmanvaihdon jäähdytyksellä. Tuloksista näemme opetustilan sisäilman lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja entalpiatason, kun simulointi on tehty Vantaan 2050:llä, RCP4.5-skenaariolla ja 2 %:n riskitason elokuun mitoituspäivän säätiedolla. Kuvien esimerkissä ei kohteelle ole jäähdytetyn ilmanvaihdon ratkaisussa tarvetta yöjäähdytykselle, sillä ilmanvaihdon käyntiaika, pari tuntia ennen tilan käyttöä, riittää saavuttamaan sisätilan tavoitelämpötilan. Ilman jäähdytystä suhteellinen kosteus laskee aamun jälkeen merkittävästi, sillä lämpötila nousee tavoitetasosta. Tarkastelun perusteella tuloilman jäähdytyksellä suhteellinen kosteus pysyy korkealla tasolla, kun ilman lämpötila pysyy matalana.



Kuva 18. Opetustilan yötuuleutus ja yöjäähdytys -tarkastelun tulokset.

Jäähdytyksen laitevalinta

Eri jäähdytyslaitteet määritellään laitevalmistajien taulukoissa ja mitoitusohjelmissa tietyille lämpötilatasoille. Mallinnettaessa jäähdytyskomponenttia, jolla mitoitus tehdään, tulee lämpötilatasot, kuten nesteen keskimääräisen lämpötilan ja huoneilman lämpötilan ero sekä nesteen lämpötilan nousu, huomioida komponentille samaksi kuin laitevalmistajalla. Siten mitoitettua tehoa voidaan suoraan verrata laitevalmistajan tietoihin. Mallinnuksessa tulee huomioida myös ohjaukset, kuten kastepisteohjaus, jotta sen vaikutus tarvittavaan tehoon huomioidaan. Tehon mitoitus voidaan tehdä optimoinnilla, jossa tietyille asetusarvolle haetaan tehontarve jäähdytykselle, jolla saadaan tavoitelämpötilan mukainen maksimilämpötila. Optimoinnissa minimoitava suure voi olla simuloinnin maksimilämpötilan absoluuttinen ero tavoitelämpötilaan. Luvussa Tavoitearvo ja asetusarvo on muutama kuva esimerkkinä optimoinnin tuloksista.

Mitoituksessa on suositeltavaa huomioida siirtoilmareitit. Esimerkiksi kerrostalohuoneistossa makuuhuoneet tulee mitoittaa ensin, sillä makuuhuoneissa tuloilma siirtyy siirtoilmana muihin tiloihin, kuten olohuoneeseen. Makuuhuoneiden mitoituksen jälkeen olohuoneen mitoituksessa tulee huomioida makuuhuoneiden siirtoilma, jotta oikea siirtoilman lämpötilataso tulee huomioitua olohuoneen jäähdytystehoa varten. Tilojen välisten ovien aukiololla on vaikutusta usean tilan tehomitoituksen mallissa. Huoneistossa voidaan tavoitetaso mukaan huomioida, että makuuhuoneiden ovet ovat jatkuvasti kiinni tai auki päivisin ja suljettuina öisin.

Kun hankkeelle on valittu mitoitettava huonelaite ja jäähdytystehot on mitoitettu huonelaitteella, määritetään laitteiden tuotteet laitevalmistajien taulukoista tai mitoitusohjelmista. Tuotteen koko ja varsinainen teho huomioidaan mallinnuksessa, jolla saadaan lopulliset tulokset lämpötilatasoista. Laitevalmistajan mitoitusohjelmalla voidaan tarkastella mahdollisen kastepisteohjauksen vaikutusta tehoon ja esittää tuloksissa vaihtoehtoisena lämpötilatasojen ja tehon pisteenä määritetylle laitteelle. Jos on aiheellista tehdä ilman liikenopeuksien tarkempia tarkasteluja, kannattaa ne tehdä mitoitettun laitteen mukaisilla ominaisuuksilla ja tilan laskennallisen haastavuuden mukaan joko CFD-simuloinnilla tai huoneilman kerrostumaa sekä paikallisia ilman liikenopeuksia huomioivalla laskentamallilla.

Jäähdytystehon mitoitus tuloksien esittäminen

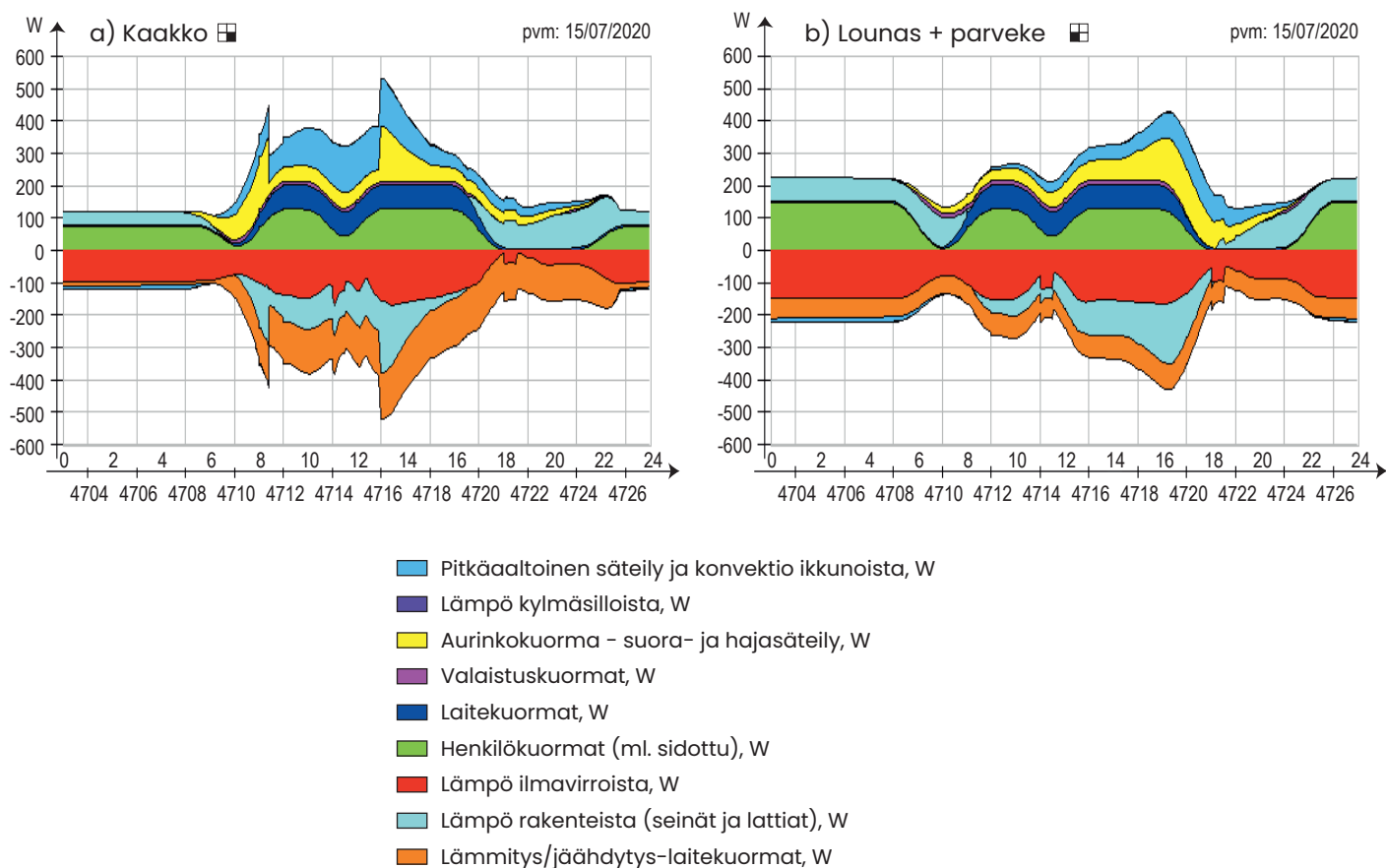
Kun huonelaitteiden jäähdytystehojen mitoitukset raportoidaan, tulee jäähdytystehot erotella tilakohtaisesti. Tilan mitoitettu jäähdytysteho, teho per neliö sekä ilman tavoitelämpötila, eli mitoituspäivän säätiedolla laskettu maksimilämpötila, on hyvä ilmoittaa huonelaitteiden suunnittelua varten. Mikäli jäähdytystehon mitoituksen yhteydessä valitaan tuotteet, on tuotteiden mallit, kappalemäärät, koot ja tuotekohtaiset tehot hyvä esittää. Muita mitoituksen simuloinnin tuloksia, joita voi olla hyvä esittää, ovat ilman keskimääräinen lämpötila simuloinnissa, maksimi ilman ja/tai operatiivinen lämpötila sekä suhteellisen kosteuden keski- tai maksimiarvo. Tuloksissa voi olla hyvä esittää kaaviokuvat esimerkkitalan keskeisistä tuloksista. Muut laitekohtaiset erityispiirteet tulee myös esittää.

Esimerkiksi jäähdytyspalkeissa kokonaisjäähdytysteho koostuu eroteltavista ilman ja veden jäähdytystehoista.

Yleensä mitoituksen tehot ovat suunnittelutoimistoissa sisäistä kommunikointia talotekniikan suunnittelussa, ja tehoista ei laadita erillistä mitoitusraporttia. Raportilla voidaan kuitenkin luoda mitoitukseen laadunvarmistusta, ja tilaaja voi lisätä ymmärrystään mitoituksen tavoitetasosta, kun lähtötiedot ja tulokset on kunnolla esitetty. Usein hankkeille laaditaan olosuhdetarkastelun mukaiset raportit, joissa käytetään mitoituksien mukaisia tehoja. Tällöin erilliselle jäähdytystehon mitoitusraportille ei välttämättä ole tarvetta.

Rakennuksen jäähdytyksen kokonaistehontarve

Rakennukselle mitoittavien huonelaitteiden jäähdytystehon summa ei yleensä vastaa jäähdytyksen samanaikaista kokonaistehontarvetta. Tilakohtaisesti jäähdytystehon tarpeeseen vaikuttaa moni asia, kuten tilan julkisivun suuntaus, ikkunoiden koot, aurinkosuojausten käyttö, rakenteiden lämpökapasiteetti ja tilakohtainen jäähdytyksen asetusarvo. Ajankohta korkeimmalle jäähdytystehontarpeelle voi vaihdella myös asuinhuoneiston tilojen välillä. **Kuvassa 19a** on kaakon suuntauksella olevan makuuhuoneen lämpötase ja **Kuvassa 19b** saman asunnon lounaan suuntauksella ja parvekkeella olevan makuuhuoneen lämpötase. Simuloidussa esimerkissä korkein jäähdytyksen tehontarve on kaakon suuntaisessa makuuhuoneessa kello 14 ja lounaan suuntaisessa makuuhuoneessa kello 16.



Kuva 19. Makuuhuoneen lämpötase, kun suunta on a) kaakkoon ja b) lounaaseen ja mh on varustettu parvekkeella.

Jotta kokonaisen rakennuksen samanaikainen jäähdytyksen kokonaistehontarve saadaan arvioitua mahdollisimman tarkasti, tulisi laskenta tehdä koko rakennuksen dynaamisella simulointimallilla. Valtavien rakennusten malleissa tiloja voidaan yhdistellä julkisivu- tai huoneistokohtaisesti. Tällöin kannattaa kuitenkin muutamaa yksinkertaistettua tilaa verrata yksityiskohtaisempaan malliin. Siten voidaan varmistaa tehontarpeiden olevan hyväksyttävällä tarkkuudella. Yksityiskohtaisemmalla mallilla saadaan aina luotettavampia tuloksia kokonaistehontarpeesta, mutta usein yksinkertaisemman mallin tulos riittää arviointiin. Usein rakennuksissa on useampi identtinen kerros. Tällöin samanaikaisen kokonaistehontarpeen arvioinnissa kannattaa hyödyntää yhden kerroksen tilojen monistusta, jolla mallinnuksen työkuorma ja simuloinnin laskenta-aika on kohtuullisempi.

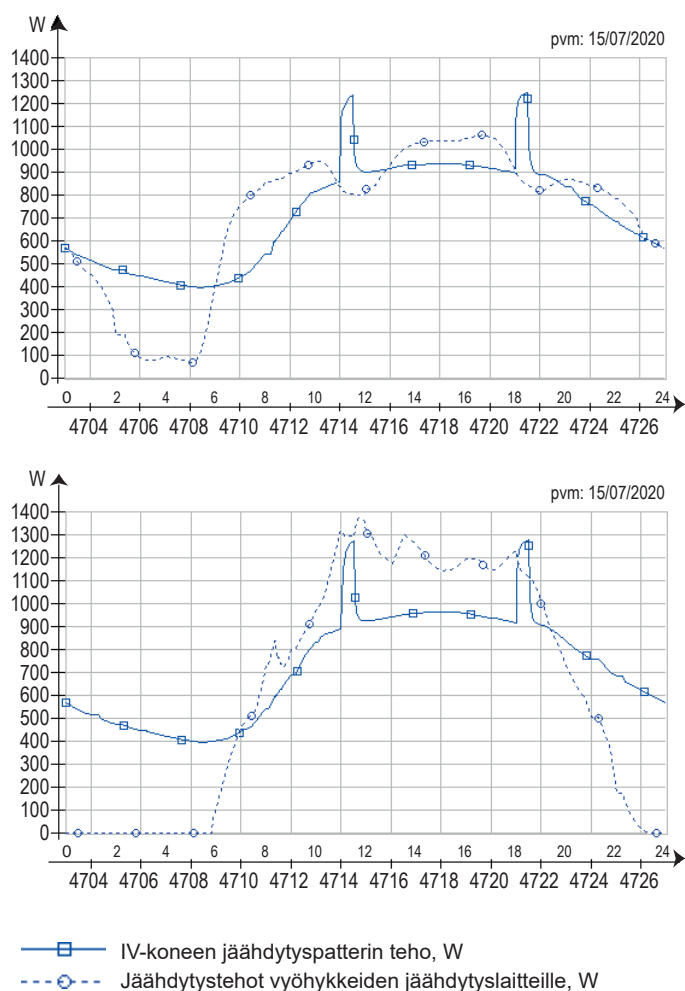
Kokonaistehontarpeet voidaan laskea jäähdytyksen mitoituspäivien perusteella. Mitoituspäivistä kannattaa kesäkuukausien lisäksi huomioida kevät- ja syyskuukaudet, jotta yksittäisten verkostojen korkein tehontarve tulee varmasti ilmi. Jäähdytyksen vuoden kokonaisenergiantarve tulee simuloida koko vuoden säätiedostolla. Mitoituksissa on paljon muuttujia, jotka vaikuttavat tehontarpeeseen, joten toleranssia simuloinnin kokonaistehontarpeiden tuloksiin kannattaa huomioida. Riskien hallinnan kannalta voi simuloinnissa olla hyvä huomioida lämpimämpi tulevaisuuden säätiedosto. Simuloinnin tulosten perusteella mitoitetaan jäähdytyksen kokonaistehot, verkostojen lämmönvaihtimien tehot ja kokonaisenergiantarpeet.

Tarkemmalla kokonaistehontarpeen arvioinnilla voidaan rakennuksessa säästää merkittäviä kustannuksia. Usein jäähdytyksen toteutuneet huipputehot ovat olleet merkittävästi suunniteltua kokonaistehoa pienempiä. Energiayhtiön mukaan kaukojäähdytettävien rakennusten sopimuksen aikainen korkein käyttäteho on ollut keskimäärin kauppakeskuksissa 66 %, toimistoissa 49 % ja asuinkerrostaloissa 84 % sopimustehosta. Voidaan todeta, että käyttötarkoitukseluokan perusteella tiettyihin rakennuksiin voi olla vaikeampi arvioida kokonaistehontarvetta tai tehontarpeisiin on suunniteltu reippaat varaukset.

Energiankulutus

Jäähdytystehon mitoituksen mallinnuksen lähtötiedoilla on merkitystä jäähdytyksen energiankulutukseen. Valitut jäähdytyksen asetusarvot, tavoitearvot, ohjaukset ja tehomitoitukset vaikuttavat energiankulutuksen lisäksi kulutusprofiileihin. Vuositason energiankulutusta tulee tarkastella koko vuoden tavoite-energiankulutuksen simuloinnin perusteella. Jäähdytyksen energiankulutusta tarkasteltaessa suositellaan, että säätiedostoksi valitaan joko toteutunutta helteistä säätä tai tulevaisuuden skenaarion säätä.

Energiankulutusta voidaan tarkastella tarpeen mukaan rakennuskoh-
taisesti, verkostokohtaisesti tai huoneisto- tai tilakohtaisesti. **Kuvassa 20**
ja **taulukossa 9** on esimerkkinä esitetty yhden kerrostalohuoneiston
jäähdytysenergian kulutus mitoituspäivänä. Ylempänä kuvassa jäähdy-
tyslaitteiden tehot on mitoitettu asetusarvon 24 °C ja tavoitelämpötilan
25,5 °C mukaan. Alempana kuvassa jäähdytyslaitteiden tehot on mitoitettu
25,5 °C:n asetusarvolla ja tavoitelämpötilalla. Molemmissa tapauksissa
heinäkuun Vantaan vuoden 2020 2 %:n riskitason säätiedoilla korkein
huoneilman lämpötila on noin 25,5 °C. Mitoituspäivien energiankulu-
tukset eroavat hieman asetusarvon 24 °C ja 25,5 °C välillä. Jäähdyttävien
huonelaitteiden mitoituksen yhteenlaskettu jäähdytysteho on 24 °C:n
asetusarvolla 1 360 W ja 25,5 °C:n asetusarvolla 1 890 W.



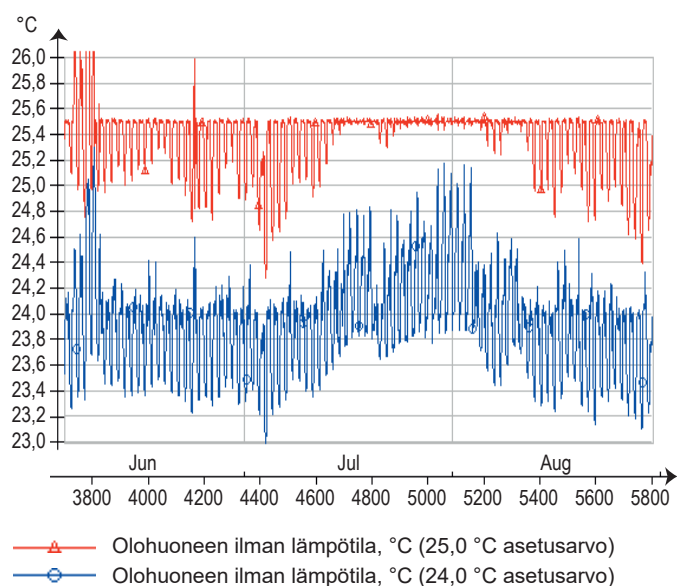
Kuva 20. Yhden kerrostalohuoneiston jäähdytyksen energiankulutus mitoituspäivänä.

Taulukko 9. Yhden kerrostalohuoneiston jäähdytyksen energiankulutus mitoituspäivänä.

Asetus- arvo, °C	Huonelaitteiden jäähdytyksen energiankulutus, kWh/mitoituspäivä	Ilmanvaihdon jäähdytyksen energiankulutus, kWh/mitoituspäivä	Huoneiston jäähdytyksen energiankulutus yhteensä, kWh/mitoituspäivä	Huonelaitteiden mitoituksen yhteenlaskettu jäähdytysteho, W
24,0	17,0	17,1	34,1	1 360
25,5	15,3	17,1	32,4	1 890

Aiempiä kuvia vastaavilla malleilla ja jäähdytystehoilla tehdystä koko vuoden simuloinnista Vantaan vuoden 2018 toteutuneella säällä ja olosuhdesimuloinnin mukaisilla lämpökuormilla saadaan **taulukon 10** mukaiset energiankulutuksen tulokset. Pienemmällä asetusarvolla energiankulutusta on enemmän. On kuitenkin huomioitava, että asetusarvojen eroilla on vaikutusta lämpöolosuhteisiin ja viihtyvyyteen, kuten olohuoneen ilman lämpötilasta kesäkuukausina voidaan nähdä (**kuva 21**). Koko vuoden energiankulutusta määrittäessä tulee huomioida mahdolliset ohjaukset. Mikäli käyttäjä pystyy asettamaan jäähdytyksen asetusarvon, esimerkiksi Sisäilmastoluokituksen S1-luokan mukaisesti ± 1 °C, on jäähdytysenergiankulutuksen tulosta varten hyvä huomioida asetusarvojen ääripäät useammalla simuloinnilla. Kun käyttäjä voi asettaa asetusarvon, on suuremmalla tehomitoituksella enemmän energiankulutusta, mutta parempi pysyvyys lämpötilan asetetussa arvossa.

Koko vuoden simuloinnissa voi olla perusteltua huomioida hieman kevyemmät sisäiset lämpökuormat kuin itse jäähdytystehon mitoituksessa. Esimerkiksi asuinkerrostaloissa, joissa huoneistojen asukkaat eivät ole kotona koko päivää arkipäivisin, energiakulutuksen mallinnuksessa voidaan ottaa huomioon kevyemmät lämpökuormat, jolloin energiakulutus on todennäköisempi. Jäähdytystehojen mitoituksessa huomioiduilla sisäisillä lämpökuormilla mahdollistetaan hyvät lämpöolosuhteet myös kotona vietetyn hellepäivän ja normaalien aktiviteettien lämpökuormissa.



Kuva 21. Olohuoneen ilman lämpötilan asetusarvojen eroilla on vaikutusta lämpöolosuhteisiin ja viihtyvyyteen.

Taulukko 10. Yhden kerrostalohuoneiston jäähdytyksen energiakulutus vuoden 2018 säätiedoilla.

Asetusarvo, °C	Huonelaitteiden jäähdytyksen energiakulutus, kWh/vuosi	Ilmanvaihdon jäähdytyksen energiakulutus, kWh/vuosi	Huoneiston jäähdytyksen yhteensä, kWh/vuosi	Huonelaitteiden mitoituksen yhteenlaskettu jäähdytysteho, W
24,0	1 065,6	802,5	1 868,1	1 360
25,5	655,6	827,3	1 482,9	1 890

Olosuhdetarkastelu

Tiloille tehdään usein myös erilliset olosuhdetarkastelut, kuten Sisäilmasto-
luokituksen 2018 mukainen lämpöolosuhteiden laskennallinen tarkastelu.
Siinä tilojen operatiivisia lämpötiloja tarkastellaan koko vuoden sää-
tiedolla ja suunnitelluilla ratkaisulla. Tarkasteluissa tulee huomioida
jäähdytyslaitteiden lopulliset tuotevalintojen mitoitus ja ohjaukset.
Lisäksi laitteiden sijainti voidaan myös huomioida suunnitellun mukaiseksi.
Jäähdytystehon mitoituksen perusteella jäähdytyskauden lämpöolosuhteet
tulisi huomioida myös operatiivisen lämpötilan kannalta. Joissakin
rakennuksissa jäähdytyskausi rajoittuu loppukevään, kesän ja alkusyksyn
kuukausille. Tällöin esimerkiksi nollakelien, -5 °C ja $+7\text{ °C}$, väliset ulkolämpö-
tilat voivat tuottaa tilanteita, joissa Sisäilmastoluokituksen lämpötilan
enimmäisarvot ylittyvät. Tällöin on hankekohtaisesti harkittava, mikäli ylitys
on hyväksyttävää tai muutetaanko ohjauksia tai mahdollistetaanko jäähdytys.
Sisäilmastoluokituksesta voi myös tulla vastaan talviajan matalampi
lämpötilan enimmäisarvo, jonka perusteella jäähdytysteho voidaan joutua
mitoittamaan sisäpuoliselle vyöhykkeelle, kuten neuvotteluhuoneelle.
Olosuhdetarkasteluista suositellaan tutustumaan Sisäilmayhdistyksen
Sisäilmaoppaaseen II Sisäilmastoluokituksen lämpöolosuhteiden laskennalliset tarkastelut
sekä oppaan laadintaesimerkkeihin, jotka löytyvät Sisäilmayhdistyksen verkkosivulta (sisailmayhdistys.fi > julkaisut).

Lähteet

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021. ASHRAE Fundamentals 2021.

Anssi Laukkanen, Teemu Jokela, Juha Vinha, Toni Pakkala, Jukka Lahdensivu, Sami Lestinen, Juha Jokisalo, Risto Kosonen, Anders Lindfors, Kimmo Ruosteenoja & Kirsti Jylhä. Vaipparakenteiden rakennusfysikaalisen toimivuuden ja huonetilojen kesäaikaisen jäähdytystehontarpeen mitoitusolosuhteet. Rakentamisen mitoitusääät (RAMI) -hankkeen loppuraportti. 2022.

Decrolux Lighting Pty Ltd, 2018. Approximate Reflectance Values of Typical Building Finishes.

D3 laskentaopas, 2012 – Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen.

Green Building Council Finland ja Ramboll, 2022. Tulkintoja EU-taksonomian DNSH 2, 4 ja 6 kriteereihin.

SFS-EN ISO 52120-1:2022. Energy performance of buildings. Contribution of building automation, controls and building management.

Sisäilmayhdistys, 2018. Sisäilmastoluokitus 2018.

Sisäilmayhdistys, 2023. Sisäilmaopas II – Sisäilmastoluokituksen lämpöolosuhteiden laskennalliset tarkastelut.

Sweden Green Building Council, 2023. BREEAM-SE New Construction v6.0 Technical Manual 1.1. ■

Liite 1:

Kerrostalohuoneiston jäähdytystehon mitoitus

Liitteessä on laadintaesimerkki kerrostalohuoneiston jäähdytystehon mitoituksesta. Mitoituksella selvitetään jäähdytyksen tehontarve sekä huonelaitemitoitukset, jotta lämpöolosuhteiden tavoitearvo saavutetaan mitoituspäivinä. Huoneiston ilmanvaihto on laadintaesimerkissä varustettu jäähdytetyllä tuloilmalla ja huoneistolle mitoitetaan huonelaitteita vaihtoehtoina: lattiaviillennys, ilmalämpöpumppu tai jäähdytyspaneelit.

Lähtötiedot

Rakennuksen tiedot

Rakennuskohde	As Oy Kerrostalo
Osoite:	Asuntotie 24, 00999 Talopiha
Käyttötarkoitus-luokka	2, Asuinkerrostalo, jossa on asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa
Suunnittelu-vaihe	Jäähdytystehon mitoitusoppaan laadintaesimerkki 1, 24.5.2024

Rakennuksen ympäristö

Ympäristöön ei ole rakennettu muita rakennuksia, joten varjostavia rakennuksia ei ole mallinnettu. Rakennuksen omat varjostukset, kuten parvekkeet, on mallinnettu ja pintojen tummien puuverhouksien heijastuskertoimena on huomioitu arvo 0,2. Ympäröivän maaston heijastuskertoimena on käytetty arvoa 0,2.

Säätieto

Mitoituksen säätietona on käytetty Vantaan testivuoden 2020 ja 2 %:n riskitason jäähdytyksen mitoituspäiviä.

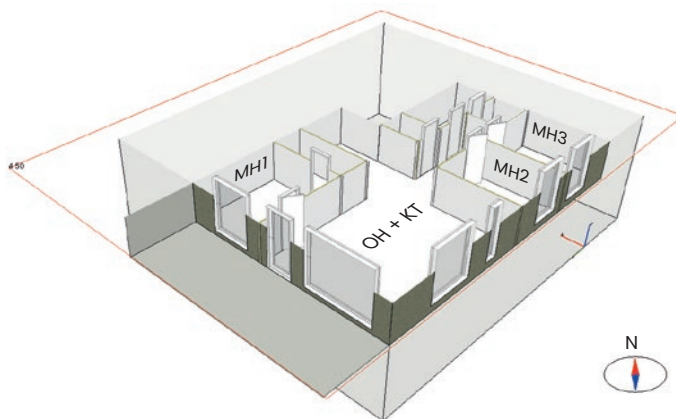
Mitoitettavat tilat

Mitoitus on tehty esimerkiasunnon tiloille pohjapiirustuksen perusteella, ja sen luontipäivämäärä on 20.5.2024. Huoneisto on valittu laadintaesimerkkiin haastavuutensa takia ja jäähdytys mitoitetaan olohuoneeseen ja makuuhuoneisiin. Huoneiston vieressä ei ole yläämpeneviä tiloja, kuten lasijulkisivulla varustettua porrashuonetta, joten niitä ei ole mallinnettu laadintaesimerkille.

Taulukko 1.1. Mitoitettavat tilat.

Tila	Lattiapinta-ala, m ²	Kerros	Ikkunoiden ilmansuuntaus
OH+KT	42,4	7. krs	Lounas + Kaakko
MH1	10,6	7. krs	Lounas
MH2	7,9	7. krs	Kaakko
MH3	8,8	7. krs	Kaakko

Mallin geometria leikkauksella



Rakenteet ja ilmanpitävyys

- Ulkoseinät ovat betoniseinäelementtejä mineraalivilla eristeellä, U -arvo $0,17 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.
- Välipohja on O37-ontelolaattarakenteinen lattiaeristeellä ja valulla.
- Asuntojen väliset seinät sekä asunnon ja portaikon vastaiset seinät ovat betoniseiniä. Huoneiden väliseinät ovat eristämättömiä kevyitä kipsiseiniä. Saunan väliseinissä on huomioitu eristys.
- Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku q_{50} on $1,0 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ hankkeen tavoitearvon mukaisesti.

Ikkunat ja aurinkosuojaus

Ikkunat ovat kaksipuitteisia puu-alumiini-ikkunoita (MSE), ja puurakenteisissa parvekeovissa on lasitus. Ikkunatuuletusta ei ole mallinnettu. Ikkunoiden uloimpien lasien välissä on sälekaihtimet, jotka ovat alhaalla ja 45 asteen kulmassa, kun auringonsäteilyn määrä lasituksen sisäpuolella on yli 100 W/m^2 (ilman sälekaihtimia). Parvekeoven sälekaihtimet ovat sisäpuolella, ja niiden ohjaus toimii samoilla ehdoilla kuin ikkunoiden sälekaihtimet. Koska parvekeovi on varustettu lasituksella, mallinnetaan se ns. ikkunana. Ikkunoiden ja sen lasituksen keskeiset ominaisuudet on esitetty **taulukossa L 1.2**.

Taulukko L 1.2. Kerrostalohuoneiston lasituksen keskeiset ominaisuudet.

Ikkunat	Ala	Lasitus g -arvo ¹	T_e ²	T_{vis} ³	Lasitus U -arvo	Umpiosan osuus ⁴	Umpiosan U -arvo	Ikk. kok. U -arvo ⁵	Sisäänvedon syvyys	Aurinko-suojaus
Ilmansuunta	m^2	%	%	%	$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$	0...1	$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$	$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$	m	
Kaakko	9,4	38	27	67	0,9	0,15	1,0	0,92	0,15	Sälekaihtimet, uloin lasiväli
Lounas	8,4	38	27	67	0,9	0,15	1,0	0,92	0,15	Sälekaihtimet, uloin lasiväli
Parvekeovi	2,3	44	32	71	1,1	0,4	1,0	1,06	0,1	Sälekaihtimet, sisäpuolella

¹ g_g -arvo eli auringon lämpösäteilyn kokonaisläpäisykerroin ikkunan lasirakenteen läpi, mukaan lukien lasiin absorboituneesta energiasta tilaan sisään tuleva osuus.

² Suorana säteilynä lasin läpi menevän auringonsäteilyn osuus. Tunnetaan myös merkinnällä T_{sol} tai ST.

³ Lasin läpi menevän näkyvän valosäteilyn osuus. Tunnetaan myös merkinnällä $\tau_{visible}$ tai LT.

⁴ Umpiosan osuus on karmin osuus koko ikkunan pinta-alasta. Ikkunan koko pinta-ala koostuu lasirakenteesta ja karmirakenteesta.

⁵ U_w -arvo eli ikkunan kokonais- U -arvo ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$), jossa on huomioitu lasitus ja umpiosat.

Sisäiset kuormat

Henkilöt

Asunnossa on koko vuorokauden aikana makuuhuoneiden määrä plus yksi henkilö. Siten laadintaesimerkissä on neljä henkilöä, jotka viettävät yön makuuhuoneissa ja päivän vaihtelevasti makuuhuoneissa sekä olohuoneissa. Makuuhuone yksi (MH1) on päämakuuhuone, jossa yöpyy kaksi henkilöä. Henkilöillä on nukkumisen aikana aktiivisuus 0,7 MET ja kosteuskuorma 48,6 g/h ($1,35 \cdot 10^{-5}$ kg/s) per hlö. Muutoin päivällä aktiivisuus on 1,2 MET ja kosteuskuorma 65,9 g/h ($1,83 \cdot 10^{-5}$ kg/s) per hlö.

Makuuhuoneiden ovet ovat auki päivisin ja suljettuina öisin, kun jäähdytystehon mitoitusta lasketaan huoneistokohtaisesti olohuoneen jäähdytyslaitteelle. Makuuhuoneiden tehomitoitus lasketaan erikseen tilakohtaisesti.

Taulukko L 1.3. Henkilökuormat.

OH+KT+ET	1 henk. 08:00–11:00 ja 12:00–17:00 (1,2 MET) 2 henk. 06:00–06:30 ja 12:00–17:00 (1,2 MET) 4 henk. 06:30–08:00, 11:00–12:00, 17:00–22:00 (1,2 MET)
MH1	2 henk. 22:00–06:00 (0,7 MET) 1 henk. 08:00–11:00 ja 12:00–17:00 (1,2 MET)
MH2	1 henk. 22:00–06:30 (0,7 MET) 1 henk. 08:00–11:00 ja 12:00–17:00 (1,2 MET)
MH3	1 henk. 22:00–06:30 (0,7 MET) 1 henk. 08:00–11:00 ja 12:00–17:00 (1,2 MET)

Valaistus

Valaistusteho on asuinhuoneissa 1,2–1,8 W/m², joka vastaa pienloiste- ja led-valonlähteiden valaistusta. Valaistusprofiilit on määritetty käytetyiksi tilojen läsnäolon aikana ja aikoina, jolloin tiloissa voidaan olettaa olevan oleskelua.

Taulukko L 1.4. Valaistusteho.

OH	27 W 06:30–22:00
KT	32 W 06:00–08:00, 11:00–12:00 ja 17:00–22:00
MH1	14 W 06:00–17:00 ja 21:00–22:00
MH2	11 W 06:30–17:00 ja 21:00–22:00
MH3	11 W 06:30–17:00 ja 21:00–22:00

Laitteet ja muut sisäiset kuormat

Laitekuormat (**taulukko L 1.5**) on arvioitu sen mukaan, että asunnossa olevat henkilöt tekevät asumiseen tyypillisiä aktiviteetteja, joista muodostuu kohtuullisen haastava skenaario niin lämpökuormien kuin kosteuskuormienkin osalta jäähdytystehon mitoitus varten. Erillisessä koko vuoden Sisäilmastoluokituksen 2018 -mukaisessa olosuhdesimuloinnissa on käytetty *Sisäilmaoppaan 11* mukaisia sisäisiä kuormia ja käyttöaikoja.

Taulukko L 1.5. Laitteet ja muut sisäiset kuormat.

OH+KT+ET	Jääkaappi ja pakastin: 68 W, 24/7 (Poikkeavasti 340 W 12 × 5 min / vrk) Laptop: 70 W, 08:00–17:00 TV: 45 W, 06:30–07:30, 18:30–20:00, 21:00–22:00 Liesi / Uuni: 137 W (liesikuvun sieppaus 65 % huomioitu), 11:00–11:30 ja 18:00–18:30 Astianpesukone: 100 W (50 % osuus tilaan huomioituna) 11:00–12:00, 18:00–19:00 Pistokkeet: 5 W, 24/7 Ruoanlaitto: Kosteuskuorma höyrynä (höyry tilaan, eli liesikuvun sieppaus 65 % huomioitu) 1200 g/h ($3,33 \cdot 10^{-4}$ kg/s), 11:00–11:30, 18:00–18:30 = 1200 g/vrk Astianpesu: Kosteuskuorma höyrynä 200 g/h ($5,556 \cdot 10^{-5}$ kg/s), 11:00–12:00, 18:00–19:00 = 400 g/vrk Pyykkienkuivaus: Kosteuskuorma pisaroina 125 g/h ($3,472 \cdot 10^{-5}$ kg/s), 20:00–06:00 = 1250 g/vrk Kasvi: Kosteuskuorma pisaroina 12,5 g/h ($3,472 \cdot 10^{-6}$ kg/s), 24/7 = 300 g/vrk
MH1	Pistokkeet: 5 W, 24/7 Laptop: 70 W, 08:00–17:00 Kasvi: Kosteuskuorma pisaroina 8,3 g/h ($2,315 \cdot 10^{-6}$ kg/s), 24/7 = 200 g/vrk
MH2	Pistokkeet: 5 W, 24/7 Laptop: 70 W, 08:00–17:00 Kasvi: Kosteuskuorma pisaroina 8,3 g/h ($2,315 \cdot 10^{-6}$ kg/s), 24/7 = 200 g/vrk
MH3	Pistokkeet: 5 W, 24/7 Laptop: 70 W, 08:00–17:00 Kasvi: Kosteuskuorma pisaroina 8,3 g/h ($2,315 \cdot 10^{-6}$ kg/s), 24/7 = 200 g/vrk
KPH	PPK: 400 W, 19:00–20:00 LKV kierto: 40 W, 24/7 Suihku: Kosteuskuorma höyrynä 2400 g/h ($6,6667 \cdot 10^{-4}$ kg/s), 06:02–06:07, 06:12–06:17, 20:02–20:07, 21:02, 21:07 = 800 g/vrk
Kosteuskuormien summa: 10 310 g/vrk (ml. ihmiset)	

Talotekniikka

Ilmanvaihto

Asunnossa on asuntokohtainen tulo-/poistoilmanvaihtokone lämmöntalteenotolla, ja ilmanvaihdon käyntiaika on jatkuva. Ilmanvaihdon ilmavirrat on suunniteltu FINVACin *Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoittamiseen* -oppaan (2019) mukaisesti. Ilmanvaihtokoneessa on 70 %:n lämpötilansuhteen lämmöntalteenotto, ominaissähköteho 1,6 kW/(m³/s), lämmityspatteri ja jäähdytyspatteri. Tuloilman lämpötilan asetusarvo on 16 °C. Tuloilma lämpenee puhaltimessa hyötysuhteen mukaisesti ja lisäksi kanavistossa 0,2 °C. Ilmanvaihto käy liesikuvun tehostuksen eli maksimin mukaisilla ilmavirroilla ruoanlaiton yhteydessä kello 11:00–11:30 ja 18:00–18:30. Muutoin ilmavirrat ovat mitoituksessa **taulukon L 1.6** minimin mukaiset.

Taulukko L 1.6. Ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirrat.

IV-kone	Järjestelmä	Ohjaus	Tuloilma		Poistoilma		Sisäänpuh. lämpötila min./maks. °C	η_{LTO} %
			min. l/s	maks. l/s	min. l/s	maks. l/s		
IVK-xxx	Asuntokoht.	Tehostus	45	62	45	62	16,7 / 17,0	70

Ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterille on huomioitu seuraavien parametrien mukainen mitoitus:

- kokonaislämmönsiirto nimellisteholla: 1 292 W
- nesteen massavirta: 0,062 kg/s
- nesteen menolämpötila: 7 °C
- ilmavirtaus: 62 l/s
- tulevan ilman lämpötila 30 °C, märkälämpötila 19,5 °C ja entalpia 57 kJ/kg
- lähtevän ilman lämpötila 16 °C.

Järjestelmähäviöt

Mallinnuksessa on huomioitu tilaan lämpimän käyttöveden kierron jakeluhäviöt kylpyhuoneeseen **taulukon L 1.5** mukaisesti. Lämpökuorma kiertojohdosta on arvioitu YM 1048/2017 -asetuksen liitteen taulukon 6 mukaisesti 10 W/m eristystasolla 0,5 D. Kiertojohdon reitti on porrashuoneesta suoraan kylpyhuoneeseen, ja kylpyhuoneessa kierron pituus on 4 metriä.

Jäähdytysjärjestelmät, asetus- ja tavoitearvot

Raportissa tarkastellaan ja mitoitetaan huonelaitteiden jäähdytystehontarvetta, jota tarvitaan viilentävän tuloilman lisäksi lämpöolosuhteiden tavoitearvojen saavuttamiseksi mitoituspäivinä. Huonelaitteita tarkastellaan vaihtoehtoilla lattiaviilennys, ilmalämpöpumppu ja jäähdytyspaneelit.

Taulukko L 1.7. Jäähdytysjärjestelmien vaihtoehdot.

Jäähdytysjärjestelmien vaihtoehdot	Verkosto, °C
Lattiaviilennys	16,0 / 19,0
Jäähdytyspaneelit	15,0 / 18,0
Ilmalämpöpumppu	Kylmäaine

Jäähdytyspaneelien ja lattiaviilennyksen järjestelmille on huomioitu kastepisteohjaus, jossa menoveden lämpötila on asteen korkeampi kuin oleskelutiloissa sijaitsevien antureiden korkein kastepiste, kun ohjaus ylittää verkoston asetuslämpötilan. Mikäli toteutuksessa ei lattiaviilennykselle huomioitaisi kastepisteohjausta, on toteutuksessa kuitenkin hyvä huomioida suhteellisen kosteuden seuranta, joka voi tarvittaessa sulkea lattiapiirin viilennyksen.

Taulukko L 1.8. Jäähdytysjärjestelmät, asetus- ja tavoitearvot.

Vyöhyke	Jäähdytyksen asetusarvo	Ilman lämpötilan tavoitearvo	Ilman suhteellisen kosteuden tavoitearvo
	°C	°C	%
OH+KT+ET	24	25,5	< 70
MH1	24	25,5	< 70
MH2	24	25,5	< 70
MH3	24	25,5	< 70

Lattiaviilennyksen mallinnusta varten välipohjarakenteisiin ja lattiapiireihin tulee kiinnittää erityisesti huomioita. Laadintaesimerkin mallinnuksessa on huomioitu seuraavan mukainen välipohja (rakenteet lattiapinnasta alaspäin) ja lattiapiirit:

- laminaatti 0,008 m ($\lambda = 0,166 \text{ W/(m·K)}$, $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 1\,000 \text{ J/(kg·K)}$)
- tasoitevalu 0,04 m ($\lambda = 1,0 \text{ W/(m·K)}$, $\rho = 1\,700 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 1\,000 \text{ J/(kg·K)}$)
- eriste 0,03 m ($\lambda = 0,0037 \text{ W/(m·K)}$, $\rho = 15 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 1\,130 \text{ J/(kg·K)}$)
- ontelolaatta 0,37 m ($\lambda = 1,64 \text{ W/(m·K)}$, $\rho = 1\,396 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 993 \text{ J/(kg·K)}$).

Lattiapiirien mallinnetut pinta-alat ovat OH+KT+ET: 33,3 m², MH1: 9,5 m², MH2: 7,1 m² ja MH3: 7,9 m². Lattiapiirejä varten mallinnuksessa on huomioitu putkiapiirien vapaa lattiapinta, joka makuuhuoneissa on noin 90 %, kun kiinteät kalusteet on huomioitu. Piirien laskennalliset massavirtaukset on määritetty parametreilla ΔT 3 °C ja teholla 25 W/m². Asennussyvyys on 0,04 m, ja SFS-EN 11855-2 -standardiin perustuva ns. *H-water-pipe-fin* -lämmönjohtavuuskerroin on 23,1 W/(m²·K). Laadintaesimerkissä putkien asennusväliksi on huomioitu 150 mm, jolle on arvioitu lämmönjohtavuuskerroin oheisen esimerkkilaskennan mukaisesti (**esimerkki 8**). Lattiaviilennykselle on huomioitu toteutettava välipohja eristeineen ja rakennekerroksineen sekä oikealla asennussyvyydellä, jolloin lämmönjohtavuuskerroin on pieni vaikutus järjestelmän viilennystehoon.

Kuten kaikessa mallintamisessa, kannattaa lämmönsiirron määriä tarkastella simulointituloksista. Lattiaviilennyksen osalta lämmönsiirron tehoa voidaan tarkastella mallinnetulta asennuspinnalta tilaan.

Esimerkki 8

Seuraavassa on esitetty betoniin upotettujen putkien putkipiiriin lämmönjohtavuuskertoimen laskeminen SFS-EN 11855-2 -standardin mukaisesti. Lähtötietoina laskentaa varten on huomioitu alla olevat parametrit. Lämmönjohtavuuskerroin on arvioitu huomioimalla laskentamenetelmän rajoitteet, jolloin valun syvyys on laskennassa hieman suurempi kuin toteutuksessa ja mallinnuksessa.

Putkien etäisyys toisistaan: $W = 0,15$ m

Putkien ulkohalkaisija $d_a = 0,017$ m

Putken seinämän paksuus: $s_r = 0,002$ m

Putkien yläpuolella olevan kerroksen syvyys: $s_1 = 0,04$ m

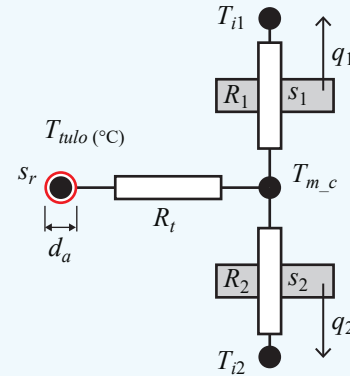
Putkien alapuolella olevan kerroksen syvyys: $s_2 = 0,01$ m

Rakennemateriaalin lämmönjohtavuus: $\lambda_b = 1,0$ W/mK
(λ_b esimerkiksi sementtipohjainen plaano)

Putken seinämän lämmönjohtavuus: $\lambda_r = 0,35$ W/mK

Suunnittelun mukainen nesteen massavirtaama (suhteessa putken peitettyyn pinta-alaan): $\dot{m}_{H,sp} = 0,032$ kg/s

Putkipiiriin pituus: $L = 66,7$ m



Laskettava lämmönjohtavuuskerroin $H\text{-water-pipe-fin} = 1 / (R_w + R_r + R_x)$, jossa

R_w = nesteen ja seinämän välinen vastus

R_r = seinämän vastus

R_x = putken ulkoseinän lämpötilan ja johtavan kerroksen keskimääräisen lämpötilan välinen vastus.

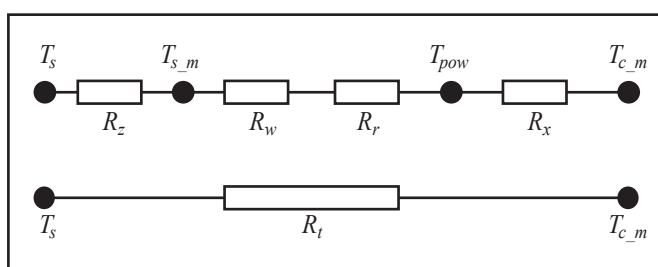
$$R_w = \frac{W^{0,13}}{8\pi} \cdot \left(\frac{d_a - 2s_r}{\dot{m}_{H,sp} L} \right)^{0,87} = \frac{(0,15 \text{ m})^{0,13}}{8\pi} \cdot \left(\frac{0,017 \text{ m} - 2 \cdot 0,002 \text{ m}}{0,032 \text{ kg/s} \cdot 66,7 \text{ m}} \right)^{0,87} = 0,00037 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_r = \frac{W \cdot \ln\left(\frac{d_a}{d_a - 2s_r}\right)}{2\pi\lambda_r} = \frac{0,15 \text{ m} \cdot \ln\left(\frac{0,017 \text{ m}}{0,017 \text{ m} - 2 \cdot 0,002 \text{ m}}\right)}{2\pi \cdot 0,35 \text{ W/mK}} = 0,01830 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_x = \frac{W \cdot \ln\left(\frac{W}{\pi d_a}\right)}{2\pi\lambda_b} = \frac{0,15 \text{ m} \cdot \ln\left(\frac{0,015 \text{ m}}{\pi \cdot 0,017 \text{ m}}\right)}{2\pi \cdot 1,0 \text{ W/mK}} = 0,02465 \text{ m}^2\text{K/W},$$

jolloin $H\text{-water-pipe-fin}$ lämmönjohtavuuskerroin $= 1 / (R_w + R_r + R_x) = 23,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Esimerkin 8 laskentamenetelmä on yksi standardin SFS-EN 11855-2 laskentamenetelmistä. Esimerkissä esitetyn menetelmän rajoituksina on, että virtaaman on oltava turbulentista ($Re > 2\,300$) ja suhteiden $s_i/W > 0,3$ ($i = 1,2$) ja $d_a/W > 0,2$ on täyttyvä. Laskennassa on huomioitava suunnittelun kokonaisuuden ominaisuudet, koska ne vaikuttavat lämmönjohtavuuteen.



T_s = supply ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{s,m}$ = mean supply ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{c,m}$ = mean conductive layer ($^{\circ}\text{C}$)

T_{pow} = pipe outside wall ($^{\circ}\text{C}$)

R_z = fictive resistance between T_s and $T_{s,m}$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

R_w = resistance between fluid and pipe wall [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

R_r = pipe wall resistance [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

R_x = resistance between T_{pow} and $T_{c,m}$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

R_t = resistance between T_s and $T_{c,m}$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

Mitoituksen tulokset

Mitoitukset tehtiin laadintaesimerkissä lattiaviilennykselle, jäähdytys-paneeleille ja ilmalämpöpumpulle. Tuloksissa on myös vaihtoehto, jossa huoneistossa on tuloilman jäähdytys, muttei jäähdyttäviä huonelaitteita. Mitoittavat mitoituspäivien kuukaudet ovat heinä- ja elokuu, sillä makuuhuoneiden 2 ja 3 jäähdytystarve on suurimmillaan heinäkuussa ja makuuhuoneen 1 ja olohuoneen elokuussa.

Kun ikkunoiden sälekaihtimien käyttöä tarkastellaan simulointimallista, voidaan todeta, että heinäkuun mitoituspäivänä kaakon ikkunoiden sälekaihtimet ovat käytössä kello 08:30 ja 13:00 välisenä aikana. Sen sijaan lounaan sälekaihtimet eivät ole tällöin käytössä parvekkeen varjostuksen takia. Olohuoneen suuren lounaansuuntaisen 5,5 m²:n ikkunan sälekaihtimet eivät ole alhaalla elokuun mitoituspäivänä, koska 100 W/m²:n sisäpuolisen auringonsäteilyn määrä ei ylitä. Suorasäteilyn määrä sisäpuolelle, mainitun 5,5 m²:n ikkunan läpi, on elokuun mitoituspäivänä korkeimmillaan 310 W (56 W/m²). Tällöin lämpökuorma on merkittävä, vaikka parveke varjostaakin ikkunaa osittain.

Huonelaitteiden mitoitukseen vaikuttavat olennaisesti ilmanvaihtokoneen toiminta ja se, minkälaista tuloilmaa se tuo tiloihin. Laadintaesimerkin simuloinnissa jäähdytyspatteri kuivaa ilman absoluuttista kosteutta korkeimmillaan 0,0024 kg/kg ja jäähdyttää kokonaislämmönsiirron teholla korkeimmillaan 1 150 W (normaalien ilmamäärien aikana korkeimmillaan 890 W). Tuloilman sisänpuhalluslämpötila on normaaleilla ilmavirroilla noin 16,7 °C ja tehostetuilla ilmavirroilla noin 17,0 °C. Mikäli huonetilat yllämpenevät (tapaus ilman jäähdyttäviä huonelaitteita) ja lämmöntalteenotolla saada ns. vähemmän jäähdytystä talteen, tehostamattomilla ilmavirroilla sisänpuhalluslämpötila on noin 16,8 °C ja tehostetuilla ilmavirroilla noin 17,2 °C.

Hankkeissa on hyvä esittää mitoituksen keskeiset tiedot muille suunnittelijoille, jotta mitoituksessa käytetyt lähtötiedot ja määritelmät ovat myös heidän tiedossansa. Mitoituksessa käytetyistä tiedoista merkittävästi poikkeava suunnittelu tai toteutus voi vaikuttaa jäähdytyksen tehontarpeeseen. Mitoituksen jäähdytystehojen lisäksi on keskeistä esittää ainakin seuraavat tiedot hankkeen jatkosuunnittelua varten:

- mitoituksessa huomioitujen ikkunoiden ja aurinkosuojaukset ominaisuudet
- mitoituksessa huomioitujen sisäiset lämpö- ja kosteuskuormat
- ilmanvaihdon lähtötiedot ilmamäärästä, asetusarvoista, jäähdytyspatterin tehosta ja ohjauksesta
- huonelaitteiden laitekoko, meno- ja paluuveden lämpötila ja muut huonelaitepesifiset parametrit. Mikäli laitemalli on määritetty, on laitteen äänitaso hyvä esittää, sillä sen tavoitetaso hankkeen osalta ei ole välttämättä tehomitoittajan tiedossa.
- huomioitu jäähdytyksen asetusarvo, huoneilman tavoitearvo ja jäähdytyksen muut ohjaukset.

Laadintaesimerkin tulokset eri huonelaitteiden vaihtoehdoille on esitetty **taulukoissa L 1.9 ... L 1.12.**

Pelkkä tuloilman jäähdytys eli ilman jäähdyttäviä huonelaitteita

Seuraavassa on esitetty tulokset ilman huonelaitteita, jotta tiedetään, onko jäähdytys lainkaan tarpeellista ja kuinka haastava skenaario on mitoituselle lähtötiedoista. **Taulukosta L 1.9** voidaan todeta, että huoneistossa tarvitaan jäähdytystä huomioitujen lähtötietojen olosuhteissa. Huoneistossa maksimilämpötila syntyy simuloinnin perusteella elokuun mitoituspäivänä.

Taulukko L 1.9. Ilman jäähdyttäviä huonelaitteita.

Tila	kpl	W	W/m ²	Ilman ka. / maks., °C ¹	RH % ²
OH+KT+ET	–	–	–	31,1 / 32,0	49
MH1	–	–	–	30,4 / 31,2	49
MH2	–	–	–	30,5 / 31,6	49
MH3	–	–	–	30,4 / 31,3	50

¹ Huoneilman lämpötilan keskiarvo sekä korkein lämpötila mitoituspäivänä.

² Suhteellisen kosteuden keskiarvo mitoituspäivänä.

Lattiaviilennys

Lattiaviilennyksessä putkiipiiri on huomioitu 48 mm:n asennussyvyydellä, 150 mm:n putkien asennusvälillä ja valuu upotettujen putkien lämmönjohtavuuskertoimella. Huomioitu lattiarakenne on lähtötiedoissa, ja lattiapinnalla ei ole huomioitu mattoja tai muita kalusteita, jotka voisivat eristää viilentävää tehoa. Lattiapinnan lämpötila on simuloinnin perusteella mitoituspäivänä matalimmillaan 22,8 °C kello 02:00, kun taas kastepistelämpötila on simuloinnissa hetkellisesti ruuanlaitoin yhteydessä 18,6 °C. Menoveden lämpötilan ohjauksessa on huomioitu kastepisteohjaus, joten kastepistelämpötila rajoittaa mahdollista viilennystehoa. Ilman kastepisteohjausta mitoituspäivien maksimilämpötilat olisivat noin 0,4 °C matalammat. **Taulukossa L 1.10** on esitetty lattiaviilennyksen tulokset heinä- ja elokuun mitoituspäivillä.

Taulukko L 1.10. Lattiaviilennys.

Tila	Putkipiirien pinta-ala, m ² ¹	W ²	W/m ² ³	Ilman ka. / maks., °C ⁴	RH % ⁵
OH+KT+ET	33,3	740	17,5 / 22,2	24,6 / 25,4	66
MH1	9,5	213	20,1 / 22,4	24,2 / 25,0	66
MH2	7,1	156	19,7 / 22,0	24,5 / 25,6	64
MH3	7,9	170	19,3 / 21,5	24,4 / 25,3	64
Yhteensä	57,8	1279	–	–	–

¹ Lattiaviilennyksen putkipiirien vapaan lattiapinnan asennuspinta-ala.

² Jäähdytysteho suurimmillaan lattiapiiristä välipohjarakenteeseen mitoituspäivänä.

³ Teho suhteessa huoneen pinta-alaan / teho suhteessa lattiaviilennyksen piirin pinta-alaan.

⁴ Huoneilman lämpötilan keskiarvo sekä korkein lämpötila mitoituspäivänä.

⁵ Suhteellisen kosteuden keskiarvo mitoituspäivänä.

Jäähdytyspaneelit

Jäähdytyspaneelien mitoitus varten tehtiin mitoitusoptimointi yksinkertaisten puhallinkonvektorikomponenttien avulla, joissa huomioitiin kastepisteohjaus, nesteen keskimääräisen lämpötilan ja huoneilman lämpötilan ero 8,5 °C ja nesteen lämpötilan nousu 3 °C. Jäähdytystehon mitoitukset ovat optimoinnin perusteella seuraavat: OH+KT+ET: 870 W, MH1: 80 W, MH2: 230 W ja MH3: 180 W.

Tuotevalmistajan mitoitusohjelmassa paneelien on määritelty asennetuiksi kattopintaan. Kosteuskuormat huoneistossa tuottavat haastetta paneelien mitoitukselle kastepisteohjauksen myötä, sillä menoveden lämpötilan asetusarvo on hetkellisesti ruoanlaitoin yhteydessä jopa 19,6 °C. Menoveden lämpötila paneeleille olisi maltillisempi, mikäli kastepisteohjaus olisi huonekohtaista huoneistokohtaisen sijaan. Tuotevalikoiman takia MH2:n teho on mitoitus hieman pienempi, mutta viereiseen makuuhuoneeseen MH3:ssa on vastaava paneeli, joka on tarvetta hieman suurempi.

Taulukko L 1.11. Jäähdytyspaneelit.

Tila	kpl (koko)	W/kpl / W yht. ¹	W/m ² ²	Ilman ka. / maks., °C ³	RH % ⁴
OH+KT+ET	3 (2,99 × 1,19)	354 / 1 062	25,0	24,5 / 25,4	66
MH1	1 (1,79 × 0,60)	117	11,0	24,4 / 25,2	65
MH2	1 (1,79 × 1,19)	221	28,0	24,4 / 25,6	64
MH3	1 (1,79 × 1,19)	221	25,1	24,4 / 25,3	64
Yhteensä	6 kpl	- / 1 621	-	-	-

¹ Jäähdytysteho, kun menovesi on 15 °C ja huonelämpötila 25 °C. Paluuv veden lämpötila riippuu suunnitellusta vesivirrasta paneeleille (laadintaesimerkin laitevalinnassa huomioitu 0,028 l/s).

² Teho suhteessa huoneen pinta-alaan.

³ Huoneilman lämpötilan keskiarvo sekä korkein lämpötila mitoituspäivänä.

⁴ Suhteellisen kosteuden keskiarvo mitoituspäivänä.

Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumpun tehovaihtoehtoja valikoitui 2,5 kW:n nimellisteho. Tarkastelussa ei ole tehty sijainnin mukaista laskentaa, vaan sisäyksikkö on yleisesti sijoitettu jäähdyttämään olohuonetta täysin sekoittuvan ilman huonemallissa. Tuloksista näemme, että vaikka olohuone pysyy hyvin viileänä, eivät makuuhuoneet ole yhtä viileitä.

Taulukko L 1.12. Ilmalämpöpumppu.

Tila	kpl	W/kpl	W/m ² ¹	Ilman ka. / maks., °C ²	RH % ³
OH+KT+ET	1	2 080	47,5	24,0 / 24,1	57
MH1	-	-	-	24,5 / 25,1	57
MH2	-	-	-	24,5 / 25,4	56
MH3	-	-	-	24,5 / 25,3	56

¹ Teho suhteessa huoneen pinta-alaan.

² Huoneilman lämpötilan keskiarvo sekä korkein lämpötila mitoituspäivänä.

³ Suhteellisen kosteuden keskiarvo mitoituspäivänä.

Herkkyystarkastelu

Herkkyystarkastelu on jaettu kolmeen osaan, joista ensimmäisessä tarkastellaan mitoitettujen huonelaitteiden simulointituloksia eri säätiedoilla ja jäähdytyksen asetusarvoilla. Toisessa osassa tarkastellaan kosteuskuormien muutosta ja kolmannessa osassa dynaamisen aurinkosuojauksen vaikutusta lämpöoloihin mitoitetuilla jäähdytystehoilla.

Säätieto ja asetusarvo

Herkkyystarkastelun ensimmäisessä osassa on tarkasteltu jäähdytyksen asetusarvon muutosta sekä mitoituspäivien säätiedoston muuttamista Vantaan vuoden 2020 nykyilmastosta ja 2 %:n riskitasosta vuoden 2050 Vantaan RCP4.5-skenaarion ja 2 %:n riskitason mitoituspäiviin. Jäähdytystehon mitoituksena on herkkyystarkastelussa käytetty samaa mitoitusta kuin mitoituksen tuloksissa on esitetty. Toimistotiloissa asetusarvo 23 °C on jäähdytykselle tavallinen, ja se voisi hyvinkin olla käytössä myös asuinkehteissa. Itse tehomitoituksessa käytetyllä 24 °C:n asetusarvolla on pienempi ero 25,5 °C:n tavoitelämpötilaan, mutta herkkyystarkastelulla nähdään mitoituksen suorituskyky myös matalammalla asetusarvolla. Herkkyystarkastelun eri skenaarioissa on käytetty aiemmin esitettyjä huonelaitteiden tehomitoituksia ja ilmanvaihdon jäähdytyspatterin mitoitusta.

Taulukko L 1.13. Säätieto ja asetusarvo.

Jäähdytysjärjestelmä	Säätieto	Aetusarvo	Tila	Maks., °C	ka. RH, %
Lattiaviilennys	2020	23	MH2	25,0	66
	2020	24	MH2	25,6	64
	2020	25	MH2	26,2	61
	2050, RCP4.5	24	MH2	25,8	63
Jäähdytyspaneelit	2020	23	MH2	25,0	68
	2020	24	MH2	25,6	64
	2020	25	MH2	26,1	61
	2050, RCP4.5	24	MH2	25,7	63
Ilmalämpöpumppu	2020	23	MH2	24,5	58
	2020	24	MH2	25,4	56
	2020	25	MH2	26,3	55
	2050, RCP4.5	24	MH2	25,5	56

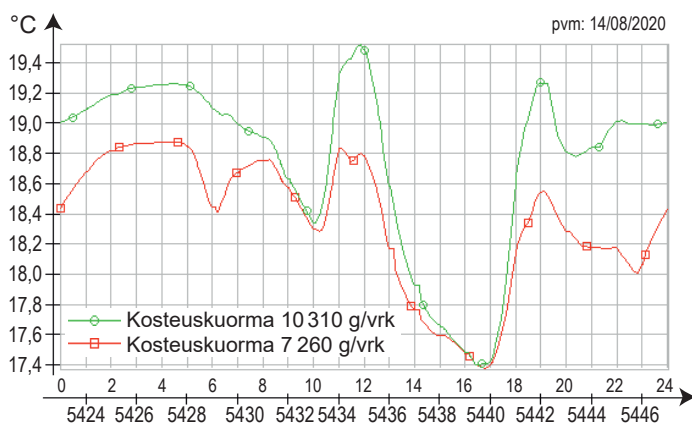
Kosteuskuorma

Kosteuskuormien herkkyytarkastelussa tarkastellaan huonelämpötilojen olosuhteiden ja kastepisteohjauksen muutosta, kun mitoituksen kosteuskuormista huomioidaan pelkästään kasvit, ruoanlaitto ja astianpesu. Tehomitoitukseen verrattuna sisäisistä kuormista on tarkastelua varten poistettu suihkun, pyykkipesun ja pyykinkuivauksen kuormat. Lisäksi ruoanlaiton kosteuskuormaa on vähennetty merkittävästi 1 200:sta 600:aan g/vrk. Kosteuskuorman summa on mitoituksessa 10 310 g/vrk, kun herkkyytarkastelussa summa on 7 260 g/vrk. Kosteuskuorman herkkyytarkastelussa käytetään Vantaan vuoden 2020 mitoituspäiviä, ja huonelaitteena on huomioitu jäähdytyspaneelien mitoituksessa käytettyjä ns. yksinkertaisia puhallinkonvektoreita.

Taulukko L 1.14. Kosteuskuorma.

Jäähdytysjärjestelmä	Tila	Jäähdytysteho, W	Kosteuskuorma, g/vrk	Maks., °C	ka. RH, %
Mitoitus-optimointi	OH+KT+ET	870	10 310	25,5	64
	MH1	80	10 310	25,5	63
	MH2	230	10 310	25,4	60
	MH3	180	10 310	25,2	63
	OH+KT+ET	870	7 260	25,4	68
	MH1	80	7 260	25,5	64
	MH2	230	7 260	25,3	61
	MH3	180	7 260	25,2	63

Kosteuskuorma vaikuttaa kastepisteeseen, jonka muutos voi vaikuttaa olennaisesti jäähdytystehoon, sillä kastepisteohjauksessa menoveden lämpötila on asteen korkeampi kuin kastepistelämpötila. Tarkastelussa varsinkin jäähdytettävissä tiloissa sijaitsevien kosteuskuormien vähennys, eli pyykinkuivauksen ja ruoanlaiton kosteuskuorman vähennykset, vaikutti kastepisteohjaukseen. **Kuvassa** alla on esitetty kastepisteohjauksen mukainen menoveden lämpötila kosteuskuormilla 7 260 ja 10 310 g/vrk. Yöaikana ilmanvaihdon jäähdytyspatteri kuivaa vähemmän, minkä takia kastepiste pysyy suhteellisen korkeana. Ulkoilman kastepiste pysyy Vantaa vuoden 2020 elokuun mitoituspäivän säätiedossa lähes vakiona, noin 17,3 °C. Samainen simulointi, mutta ilman ilmanvaihdon jäähdytystä, antaa kastepisteohjauksen menoveden lämpötilaksi hetkellisesti korkeimmillaan jopa 22,0 °C kosteuskuormalla 10 310 g/vrk ja 21,3 °C kosteuskuormalla 7 260 g/vrk.



Aurinkosuojaus

Aurinkosuojausten herkkyytarkastelussa on esitetty tulokset ilman aurinkosuojausta, tehomitoituksen ratkaisulla (sälekaihtimilla 45 asteen kulmassa 100 W/m² raja-arvolla), sälekaihtimet vuorokauden ympäri alhaalla ja dynaamisella screenkaihtimella. Sälekaihdin ja screenkaihdin sijaitsevat ikkunoiden uloimpien lasien välissä. Dynaamisella screenkaihtimella on tarkastelua varten määritelty yksinkertainen huonelämpötilan mukainen ohjaus. Ohjauksessa sälekaihtimia ohjataan huonekohtaisesti 24,5 °C:n asetusarvolla, ja ne avautuvat 30 min viiveellä, kun huonelämpötila on alle asetusarvon. Screenkaihtimen materiaalina on käytetty Serge 600 033 033 -tuotetta. Ikkunat ovat tarkastelussa muutoin samat kuin mitoituksessa on käytetty. Sätietona on käytetty vuoden 2020 mitoituspäiviä ja huonelaitteena on huomioitu tehomitoituksen optimoinnissa käytetty puhallinkonvektorin jäähdytysratkaisua. **Taulukon L 1.15** tuloksista huomataan, että aurinkosuoja käyttäessä voidaan lämpöolosuhteita parantaa, ja lämpötilan perusteella ohjautuva aurinkosuojaus on ennakoivampi kuin 100 W/m²:n raja-arvon mukainen ohjaus.

Taulukko L 1.15. Aurinkosuojaus.

Jäähdytysjärjestelmä	Tila	Jäähdytysteho, W	Aurinkosuoja	Maks., °C	ka. RH, %
Mitoitus- optimointi	OH+KT+ET	870	-	26,0	64
	MH1	80	-	25,9	62
	MH2	230	-	26,5	62
	MH3	180	-	26,2	62
	OH+KT+ET	870	Sälekaihdin	25,5	64
	MH1	80	Sälekaihdin	25,5	63
	MH2	230	Sälekaihdin	25,4	60
	MH3	180	Sälekaihdin	25,2	63
	OH+KT+ET	870	Sälekaihdin 24/7	24,8	67
	MH1	80	Sälekaihdin 24/7	24,7	65
	MH2	230	Sälekaihdin 24/7	24,9	66
	MH3	180	Sälekaihdin 24/7	24,9	66
	OH+KT+ET	870	Dyn. Screen	25,0	67
	MH1	80	Dyn. Screen	24,8	65
	MH2	230	Dyn. Screen	25,2	64
	MH3	180	Dyn. Screen	25,1	64

Mitoituksen prosessikuvaus

1. Laskentamallin luonti

Ennen mitoituksen laskentamallin luomista tulee kerätä tarvittavat lähtötiedot. Mikäli hankkeessa ei ole määritelty tai tiedossa tiettyä lähtötietoa, tulee puuttuva yksityiskohta sopia tilaajan kanssa. Jos kyse on marginaalisesta yksityiskohdasta, voi käytetystä parametrilla ilmoittaa mitoituksen lähtötiedoissa. Ilman lähtötietojen keräystä ja määrittelyä on tehomitoituksen soveltavuus kohteelle hyvin epävarmaa. Mitoituksessa ja laskentamallin luonnissa on useita askelia, joita on kuvattu seuraavassa:



- Mitoitettavan huoneiston laskentamallin geometrian ja pohjaratkaisun voi luoda BIM-mallin tai pohjapiirustuksen perusteella. Käytetyn mallin tai piirustuksen luontipäivämäärä on hyvä lisätä lähtötietoihin. Mikäli mitoittettavien tilojen vieressä sijaitsee yllämpeneviä tiloja, esimerkiksi etelänsuuntainen porrashuone, tulee ympäröivä tila myös mallintaa ja huomioida mitoituksessa.
- Rakenteet tulee määrittää niin ulkopuolisten kuin sisäpuolistenkin rakenteiden osalta, mieluiten niin, että ovat mahdollisimman yhdenmukaiset kohteen rakennetyyppien kanssa. Rakenteet koostuvat mallinnuksessa materiaalikerroksista, joiden lämmönjohtavuus $W/(m \cdot K)$, tiheys kg/m^3 ja ominaislämpökapasiteetti $J/(kg \cdot K)$ on määritelty, jotta rakenteiden termien massa on mahdollisimman todenmukainen. Ulkovaipan ilmantiiveys määritellään vakiovuotoilmavirtaamana, ja se perustuu tavoiteltuun q_{50} lukuun ($m^3/(h \cdot m^2)$).
- Ikkunat ja ovet tulee mallintaa suunnitellun mukaisiksi. Erityistä huomiota vaatii, ettei ikkunan kokonais- g_w -arvoa käytetä lasituksen g_g -arvona, sekä karmien osuuden ja sisäänvedon oikeinarviointi.
- Aurinkosuojaus huomioidaan sen mukaan, mitä on määritelty passiivisena keinona ennen varsinaista jäähdytystehon mitoitukseen ryhtymistä. Automatisoidun aurinkosuojauksen ohjaus huomioidaan suunnitellun mukaisesti, kun taas käyttäjän ohjaaman aurinkosuojauksen mahdollinen käyttö tulee arvioida kohdekohtaisesti. Käsien ohjautuvat sälekaihtimet ovat alas laskettuina hyvä huomioida korkeintaan 45 asteen kulmassa.
- Sisäisten kuormien osalta henkilömäärä tulee huomioida makuuhuoneiden määränä plus yksi henkilö, ja henkilöiden kuormien käyttöaste huomioidaan huoneistolle ympärivuorokautiseksi. Valaistuksen voidaan huomioida olevan päällä tilojen käyttöaikoina, vaikka päivänvalo voi olla tasoltaan riittävä ilmankin. Valaistuksen huomioimisella lämpökuormaa on kohtalaisesti enemmän verrattuna siihen, ettei sitä huomioitaisi. Valaistuksen teho voidaan kiinteäasenteisten valaistuksien osalta huomioida suunnittelun mukaisesti ja muutoin valaistuspistokkeiden perusteella energiatehokkaiden led-valaisimien perusteella. Laitteiden lämpökuormat ja muut kosteuskuormat tulee mallintaa kohtuullisen haastavan ja mahdollisen käytön mukaisesti. Kosteuskuormat huomioidaan lähteensä mukaisesti joko höyrynä ja/tai pisaroina ja kosteuskuorman vuorokautisena summana voidaan mallintaa oppaassa esitettyjen esimerkkien mukaisesti.
- Ympäröivien rakennuksien, parvekkeiden ja muut varjostavat elementit tulee huomioida. Heijastuskertoimet on hyvä määritellä tiedossa olevien pintojen perusteella.
- Sää tiedostoksi valitaan lähtötietojen mukainen tiedosto. Tiedosto sisältää ulkoilman kuivalämpötilan, suhteellisen kosteuden, tuulen suunnan ja nopeuden sekä auringon suorasäteilyn ja hajasäteilyn.

- Ilmanvaihto mallinnetaan suunnittelun mukaisilla ilmamäärillä, käyttöajoilla, tuloilman lämpötilan asetusarvolla ja lämmöntalteenotolla. Lisäksi ilmanvaihdon tehostukselle voidaan asettaa ilmamäärä ja käyttöaika esimerkiksi ruuanlaiton sisäisten kuormien ajaksi. Tuloilman lämpeneminen puhaltimessa ja kanavissa tulee huomioida mallinnuksessa. Mikäli ilmamääriä ohjataan automaation avulla, tulee sen mukainen ohjaus huomioida mallissa.
- Ilmanvaihtokoneen tuloilman jäähdytyspatteri voidaan mallintaa rajoittamattomalla teholla. Tällöin siitä ilmoitetaan lähtötietoihin ja mitoitustuloksiin on kirjattava jäähdytyspatterin kokonaisteho sekä siihen tulevan ilman korkein lämpötila ja entalpia. Mitoituspisteen mukainen jäähdytyspatteri voidaan mallinnuksessa huomioida tämän liitteen lähtötiedoissa esitettyjen parametrien avulla.
- Lämpimän käyttöveden kierron lämpökuorma tulee arvioida ja mallintaa tiloihin, joissa kiertoputki kulkee. Muut merkittävät jakeluhäviöt tiloihin tulee myös mallintaa.

2. Jäähdytyslaitteen mallinnus

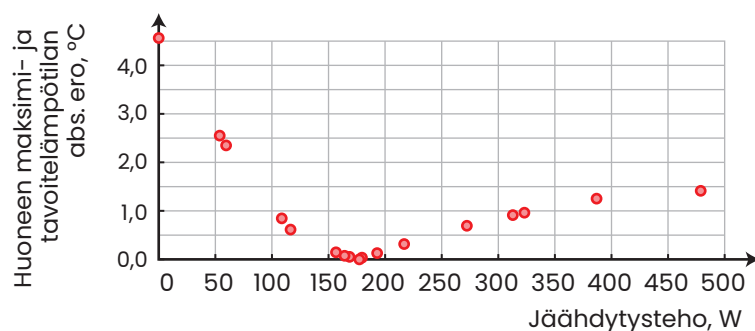
Kun mallinnus on muutoin paitsi jäähdytysjärjestelmän huonelaitteiden osalta valmis, voidaan keskittyä huonelaitteiden jäähdytystehon mitoituksen yksityiskohtiin:

- Jäähdytysjärjestelmälle mallinnetaan sisälämpötilan asetusarvo, mahdollinen kastepisteohjaus ja muut mahdolliset ohjaukset.
- Lattiaviilennyksen tapauksessa lattiapiiri on tyypillisesti mitoitettu lämmityksen ehdoilla. Tällöin varsinaista tehomitoitusta ei tehdä, mutta ratkaisulla toteutuvaa sisälämpötilaa jäähdytystehon mitoitusolosuhteissa voidaan tarkastella. Lattiaviilennyksen mallinnuksessa on tärkeä arvioida välipohjaratkaisu ja lattiapiiri suunnittelun mukaiseksi. IDA ICE -ohjelmistossa lattiapiiri tulee mallintaa suunnittelulle asennuspinta-alalle, syvyydelle ja nesteen laskennalliselle massavirtaamalle. Lisäksi veden ja rakenteen välinen lämmönsiirtokerroin tulee arvioida.
- Ilmalämpöpumpulle voidaan tehdä mitoitus, mutta vaihtoehtojen ollessa rajalliset voidaan myös tehdä tehovaihtoehtojen välinen vertailu. Valmistajilla on ilmalämpöpumppuja esimerkiksi nimellistehoilla 2,5, 3,0, 3,5 ja 4,0 kW, joiden riittävyyttä voi verrata. Ilmalämpöpumpun sisäyksikön sijainnilla huoneistossa on merkitystä, joten sen vaikutusta voi tarvittaessa tarkastella erillisellä CFD-laskennalla tai ns. kerrostuvan ilman huonemallin simuloinnilla täysin sekoittuvan ilman huonemallin sijaan.
- Jäähdytyspaneeleille tulee tehon mitoituksessa huomioida jäähdytystehoon vaikuttavat asiat, kuten nesteen ja huoneilman lämpötilaero, meno ja paluuveden lämpötilaero sekä kastepisteohjauksen vaikutus menoveden lämpötilaan. Mikäli valitaan useita eri jäähdytyspaneelin kokoja ja vertailaan niitä laskennallisesti, tulee mitoituksesta hyvinkin työläs ja iteratiivinen prosessi. Mitoitus voidaan IDA ICE -ohjelmistossa tehdä aluksi yksinkertaisemmalla konvektorimallilla, johon määritellään paneelin mukaiset lämpötilat ja kastepisteohjaus. Konvektorin jäähdytystehon mitoitus voidaan suorittaa optimoinnilla, jossa muuttujana on konvektorin jäähdytysteho ja minimoituna lämpötilaero sisäilman tavoitelämpötilasta. Mitoitetun tehon avulla tuoteluettelosta voidaan valita mitoituksen mukainen paneeli lopullisen mitoitus tuloksen tarkastelua varten.

3. Mitoituksen optimointi

Oleskelutilojen huonekohtaisen jäähdytystehon mitoituksen optimointi tehtiin laadintaesimerkille seuraavasti:

- Olohuoneelle sekä makuuhuoneille lisättiin yksinkertaiset konvektorimallit, joihin mitoitusteholle määritettiin nesteen keskimääräisen lämpötilan ja huoneilman lämpötilan eroaksi 8,5 astetta ja nesteen lämpötilan nousuksi 3 astetta. Tällöin parametrit ovat hyvin vastaavia kuin jäähdytyspaneelleilla.
- Jäähdytyslaitteen menoveden lämpötila ohjataan kastepisteohjauksella, jossa menoveden lämpötila on asteen korkeampi kuin oleskelutilojen korkein kastepiste, kun ohjaus antaa korkeampaa lämpötilaa kuin 15 astetta.
- Huonelaitteiden jäähdytystehon simulointi, jossa jäädytyksen asetusarvo on yhtä kuin ilman tavoitelämpötila, suoritettiin touko-, kesä, heinä-, elokuun syyskuun mitoituspäivillä, jotta makuuhuoneiden mitoittava kuukausi saadaan selvitettyä. Tällä simuloinnilla saadaan asetusarvon mukainen jäähdytysteho, joka ei vastaa mitoituksen lopullista tehoa. Simuloinnin perusteella makuuhuone 1:n mitoittava kuukausi on elokuun mitoituspäivä ja makuuhuoneiden 2 ja 3 heinäkuun mitoituspäivä.
- Optimointia varten luodaan laskenta, jossa huoneilman lämpötilan ja tavoitelämpötilan erosta saadaan absoluuttinen arvo, jota voidaan minimoida, kun muuttujana on jäähdytysteho.
- Kustakin makuuhuoneen vyöhykkeestä luodaan ns. kloonattu malli, joka on simulointimalli, jossa on ainoastaan makuuhuone ilman ympäröiviä vyöhykkeitä. Makuuhuoneille tehdään erilliset mallinsa, sillä ne ovat tiloja, joista ilmaa siirtyy siirtoilmana olohuoneeseen. Makuuhuoneiden malleilla optimointi voidaan tehdä niin, että se onnistuu tilakohtaisesti. Esimerkiksi makuuhuone 3:n osalta määriteltiin optimoinnissa simuloinnille mitoituspäivän kuukaudeksi heinäkuu, jäähdytystehon muuttujalle arvoalueeksi 1–500 resoluutiolla 100 ja optimoinnille 18 simulointia. Optimoinnin tulokseksi saatiin, että 179 W:lla minimoitu absoluuttinen lämpötilaero on 0,04 °C ja 177 W:lla 0,02 °C, eli jäähdytystehoksi saadaan mitoituksella noin 180 W.
- Kun mitoituksen optimointi on suoritettu kloonatuissa malleissa makuuhuoneille, voidaan mitoitetut tehot määrittää koko huoneiston simulointimallille, jolloin olohuoneelle voidaan suorittaa optimointi niin, että koko huoneisto on mallissa.
- Optimoinnilla suoritettun tehomitoituksen perusteella voidaan tuotevalmistajan tuoteluettelosta tai mitoitusohjelmasta valita tuotteet tiloille.
- Valituille tuotteille voidaan simulointimallissa mallintaa jäähdytyspaneelin mukaiset laskentamallit, joissa voidaan esimerkiksi määrittää tuotteen teho 25 °C:n huonelämpötilassa, mikä on paneelin nesteen ja huoneilman lämpötilaero sekä nesteen lämpötilan nousu tehopisteissä. Jäähdytyspaneelin mallilla simuloidaan erikseen lopullinen tulos valittujen tuotteiden parametreilla.

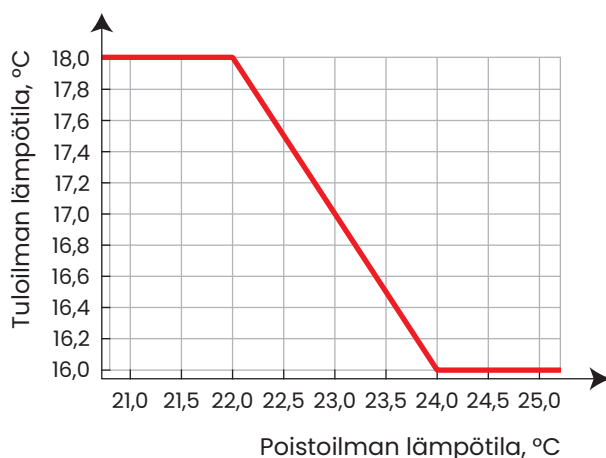


Sisäilmastoluokituksen 2018 mukainen olosuhdetarkastelu

Sisäilmastoluokituksen 2018 mukainen olosuhdetarkastelu on tehty laadinta-esimerkille mitoitettujen jäähdytyspaneelien eli säteilypaneelien järjestelmälle. Tarkastelussa selvitetään, täyttääkö ratkaisu Sisäilmastoluokituksen 2018 S2-luokan tavoitearvot operatiivisen lämpötilan osalta neljässä eri skenaariossa. Skenaarioiden avulla ymmärretään, kuinka jäähdytys ja aurinkosuojaus sekä niiden ohjaus vaikuttavat lämpöolosuhteisiin vuositasolla.

Lähtötiedot

Säätietona on huomioitu Vantaan vuoden 2018 koko vuoden toteutunut sää, laadintaesimerkin paikkakunnan ja *Sisäilmaoppaassa 11* käytetyn sää-tiedon mukaan. Lähtötiedot on olosuhdetarkastelussa muutoin huomioitu hyvin vastaavina kuin jäähdytystehon mitoituksessa, mutta sisäisten lämpökuormien käyttöaikoja on muokattua *Sisäilmaoppaan 11* liitteen 4 laadintaesimerkin mukaisiksi. Lisäksi kosteuskuormaa tuottavat komponentit, kuten kasvit, on poistettu mallista. Koska lieden käyttöaikaa on muokattu, myös IV tehostuksen liesikuvun käyttöaikaa on muokattu lieden käyttöajan mukaiseksi. Ilmanvaihdon tuloilman asetusarvoa on muokattu alla olevan **kuvan** mukaiseksi vakio 16,0 °C:n sijaan. Olosuhdetarkastelun perusteella sisäänpuhalluslämpötila on tällöin vuoden simulointijakson aikana 18,8 °C:n ja 16,8 °C:n välillä.



Mitoitettujen säteilypaneelien lämmitysteho tarkastettiin ennen varsinaista olosuhdesimulointia. Ilmeni, että päämakuuhuoneen pienen jäähdytystehontarpeen mukaisella mitoituksella ei ole riittävä lämmitysteho. Makuuhuoneen paneelin kokoa kasvatettiin koosta 1,7 × 0,6 m kokoon 1,7 × 1,19 m, joka on samaa kokoluokkaa kuin makuuhuoneissa kaksi ja kolme. Jäähdytystehoa kasvatettiin näin ollen mitoituksen tehosta 117 W tehoon 221 W ja lämmitystehoa tehosta 173 W tehoon 331 W. Laadintaesimerkin huoneiston yksi tila on näin ollen mitoitettu lämmitysteho edellä. Olosuhdetarkastelussa käytettiin lämmityksen asetusarvona 21 °C ja jäähdytyksen asetusarvona 24 °C. Lämmityskauden rajana käytettiin ulkolämpötilan 24 tunnin keskiarvona 12,5 °C, jota lämpimämpänä ulkolämpötilana säteilypaneelit voivat jäähdyttää.

Sisäilmastoluokituksen 2018 luokan S2 laskentatulokset

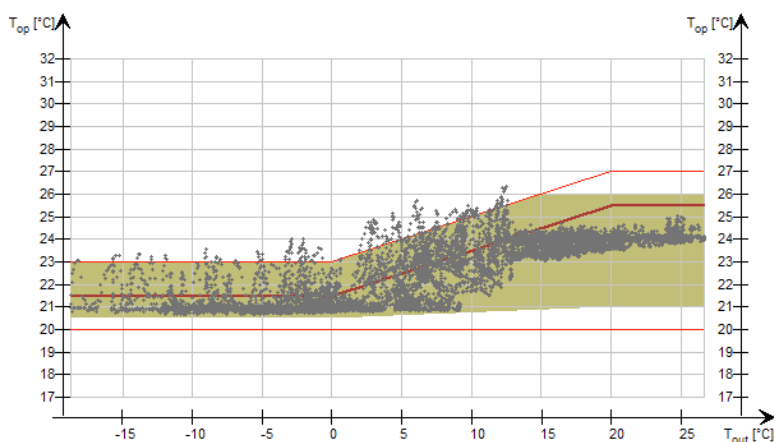
Laskenta on tehty IDA Indoor Climate and Energy 5.1 -ohjelmistolla. Laskennasta esitetään viiden erillisen tarkastelun tulokset, joista nähdään, täyttääkö ratkaisu Sisäilmastoluokituksen 2018 S2-luokan tavoitetta operatiivisen lämpötilan osalta. Ensimmäisessä tarkastelussa sälekaihtimien ohjauksessa käytetään tavanomaista 100 W/m² aurinkosäteilyn sisäpuolisen lämpökuorman asetusarvoa. Toisessa pidetään sälekaihtimia jatkuvasti alhaalla 45 asteen kulmassa, jotta näemme, voidaanko lämmityskauden enimmäisarvon ylityksiä rajata tehokkaasti aurinkosuojauksen avulla. Kolmannessa tarkastellaan tilannetta, jossa sälekaihtimet ovat jatkuvasti ylhäällä, jotta nähdään olosuhteet tilanteessa, jossa käyttäjä ei suojaa huoneistoa lainkaan aurinkosäteilyn lämpökuormilta. Neljännessä tarkastelussa jäähdytyksen asetusarvoa ohjataan ja myös lämmityskaudella jäähdytetään. Viidennessä tarkastelussa huomioidaan neljännessä tarkastelun lisäksi muita asumisen aktiviteetteja kuin henkilöiden kosteuskuormia. Tarkasteluissa raportoidaan operatiivisen lämpötilojen pysyvyys asuinhuoneissa jatkuvan käytön mukaisilta tunneilta (eli koko vuoden tunneilta), vaikka tilat ovatkin tyhjillään osan aikaa mallinnetun käyttäjän mukaisesti.

Olosuhdetarkastelu 1. Säteilypaneelit

Olosuhdetarkastelussa 1 esitetään laskentatulokset, kun 45 asteen kulmassa olevien sälekaihtimien käytön ohjauksessa käytetään aurinkosäteilyn 100 W/m²:n sisäpuolista lämpökuorman raja-arvoa. Tarkastelun tulokset on esitetty olohuoneelle ja makuuhuoneelle kaksi, sillä ne ovat lämpöolosuhteiden kannalta huoneistossa vaativimpia tiloja. Tuloksista huomaa, että jäähdytyskausi rajoittuu 12,5 °C:n ulkolämpötilaan.

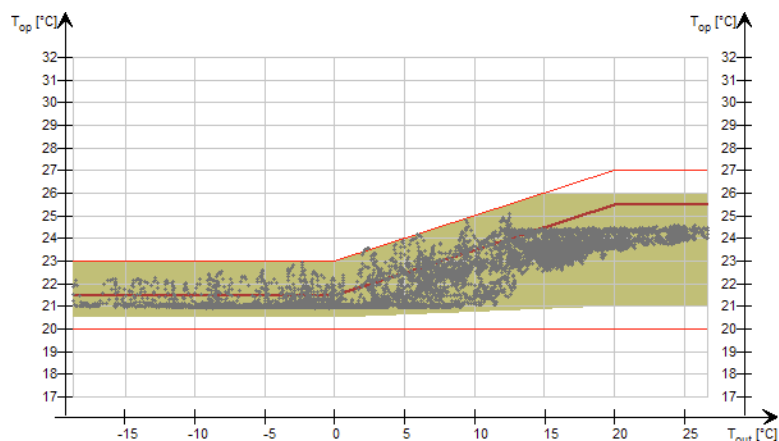
Olohuone-keittiö-eteinen, Sisäilmastoluokitus 2018, S2

Käyttöaika tunteina	
Pysyvyys alueella	
T_{op}	8 532 (97 %)
$T_{op,min} - T_{op,max}$	8 532 (97 %)
Yhteensä	8 760



Olohuoneen keskellä oleva operatiivinen lämpötila ylittää enimmäisarvon lämmityskauden läsnäoloaikana 228 tunnin ajalla. Kun ulkolämpötila on yli 12,5 °C, operatiivisen lämpötilan tavoitearvot saavutetaan.

Makuuhuone 2, Sisäilmastoluokitus 2018, S2



Käyttöaika tunteina

Pysyvyys alueella

T_{op} 8 757 (100 %)

$T_{op,min} - T_{op,max}$ 8 757 (100 %)

Yhteensä 8 760

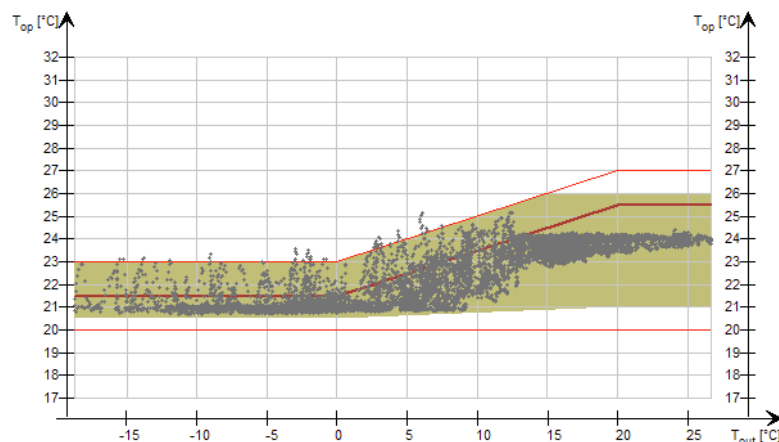
Makuuhuoneen 2 keskellä oleva operatiivinen lämpötila ylittää enimmäisarvon lämmityskauden läsnäoloaikana 4 tunnin ajalla. Ylitys on tosin hyvin maltillinen, joten tarkastelun perusteella voidaan todeta, että makuuhuone saavuttaa olosuhdetarkastelun 1 perusteella Sisäilmastoluokituksen luokan S2-operatiivisen lämpötilan tavoitearvot.

Koska tarkastelussa jäähdyttäminen lakkaa, kun ulkolämpötila on 24 tunnin keskiarvon ollessa alle 12,5 °C, ei huoneistoissa ole aktiivista jäähdytystä, joka estäisi enimmäisarvon ylitystä lämmityskaudella. Mikäli lämmitys- ja jäähdytysverkostoille on oma piirinsä säteilypaneeleille, voisivat paneelit jäähdyttää myös, kun ulkolämpötila on alle 12,5 °C. Tällöin voisi välttää ns. lämmityskauden enimmäisarvon ylityksiä.

Olosuhdetarkastelu 2. Säteilypaneelit ja sälekaihtimet alhaalla

Olosuhdetarkastelussa 2 esitetään laskentatulokset, kun sälekaihtimet ovat jatkuvasti alhaalla 45 asteen kulmassa.

Olohuone-keittiö-eteinen, Sisäilmastoluokitus 2018, S2



Käyttöaika tunteina

Pysyvyys alueella

T_{op} 8 714 (99 %)

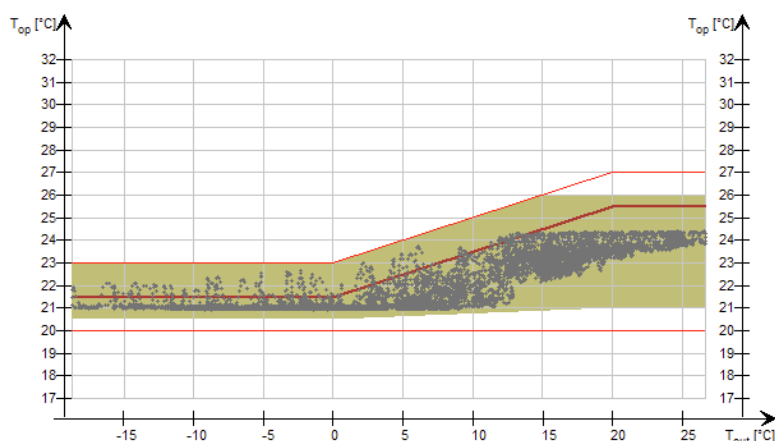
$T_{op,min} - T_{op,max}$ 8 714 (99 %)

Yhteensä 8 760

Olohuoneen keskellä oleva operatiivinen lämpötila ylittää enimmäisarvon lämmityskauden läsnäoloaikana 46 tunnin ajalla. Lämmityskauden enimmäisarvon ylityksiä on vähemmän, kun sälekaihtimia käytetään jatkuvasti. Kesäaikaan operatiivisen lämpötilan tavoitearvot saavutetaan.

Makuuhuone 2, Sisäilmastoluokitus 2018, S2

Käyttöaika tunteina	
Pysyvyys alueella	
T_{op}	8 760 (100 %)
$T_{op,min} - T_{op,max}$	8 760 (100 %)
Yhteensä	8 760



Makuuhuoneessa 2 saavutetaan säteilypaneeleilla ja ilmanvaihdon jäähdytyksellä Sisäilmastoluokituksen S2-luokan operatiivisen lämpötilan tavoitearvot, kun sälekaihtimia pidetään alhaalla.

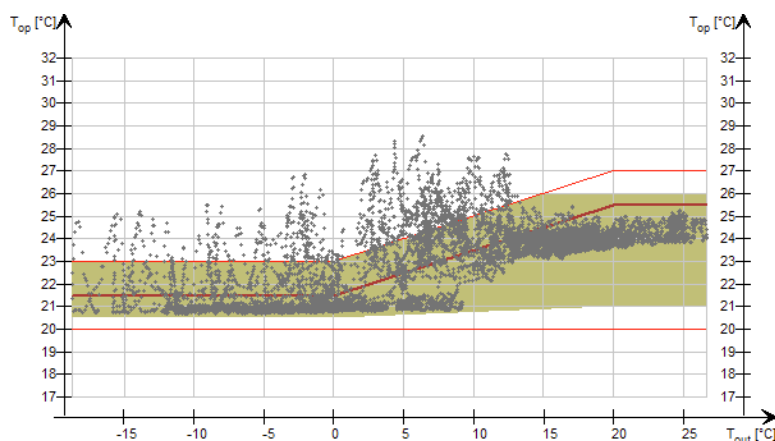
Olosuhdetarkasteluun 1 verrattuna tarkastelussa 2 saavutetaan olohuoneessa kohtuullisempi määrä lämmityskauden enimmäisarvon ylityksiä. Tarkastelun perustella ei kuitenkaan voida olohuoneen osalta todeta, että Sisäilmastoluokituksen S2-luokan operatiivisen lämpötilan tavoitearvot saavutettaisiin lämmityskaudella.

Olosuhdetarkastelu 3. Säteilypaneelit ja sälekaihtimet ylhäällä

Kolmannessa tarkastelussa sälekaihtimet pidetään jatkuvasti ylhäällä, eli ne eivät ole lainkaan käytössä koko vuoden aikana.

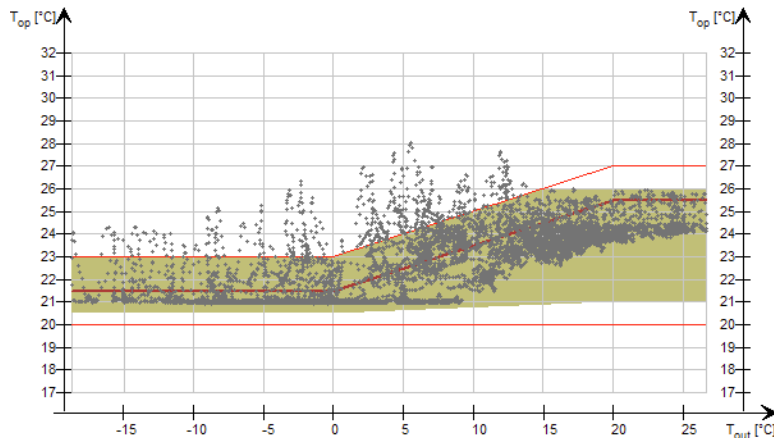
Olohuone-keittiö-eteinen, Sisäilmastoluokitus 2018, S2

Käyttöaika tunteina	
Pysyvyys alueella	
T_{op}	7 777 (89 %)
$T_{op,min} - T_{op,max}$	7 777 (89 %)
Yhteensä	8 760



Olohuoneessa operatiivinen lämpötila ylittää enimmäisarvon lämmityskaudella 983 tuntia.

Makuuhuone 2, Sisäilmastoluokitus 2018, S2



Käyttöaika tunteina

Pysyvyys alueella

T_{op} 8 221 (94 %)

$T_{op,min} - T_{op,max}$ 8 221 (94 %)

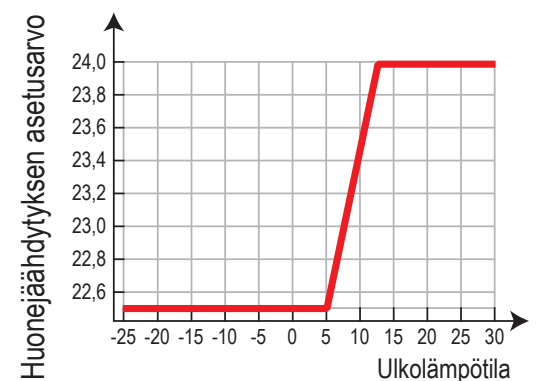
Yhteensä 8 760

Makuuhuoneessa operatiivinen lämpötila ylittää enimmäisarvon 539 tuntia.

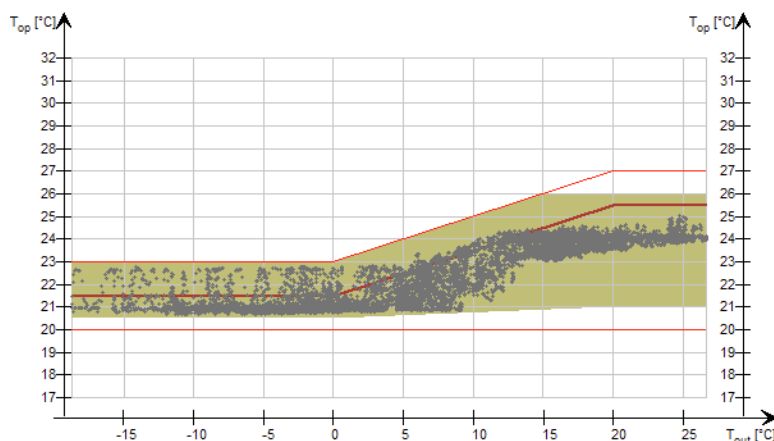
Tuloksissa korostuu, että matalalta kulmalta paistava aurinko tuo merkittävää lämpökuormaa tiloihin, jolloin enimmäisarvon ylityksiä on huomattavasti enemmän. Aurinkosuojauksen käytöstä ei ole hyötyä pelkästään kesäaikaan, vaan myös lämmityskaudella. Operatiivinen lämpötila huomioidaan tarkastelussa huoneiden keskeltä, joten ikkunan välittömässä läheisyydessä operatiivinen lämpötila voi kesäaikaan ylittää tummennetun tavoitearvoalueen.

Olosuhdetarkastelu 4. Säteilypaneelit, jäähdytyksen asetusarvon ohjaus

Olosuhdetarkastelussa 4 esitetään laskentatulokset, kun jäähdytyksen asetusarvo on asetettu ulkolämpötilan 24 tunnin keskiarvon perusteella ohjautuvaksi viereisen **kuvan** mukaisesti. Ikkunoiden sälekaihtimet ovat alhaalla 45 asteen kulmassa, kun aurinkosäteilyn sisäpuolinen lämpökuorma on yli 100 W/m² ilman sälekaihtimia.



Olohuone-keittiö-eteinen, Sisäilmastoluokitus 2018, S2



Käyttöaika tunteina

Pysyvyys alueella

T_{op} 8 760 (100 %)

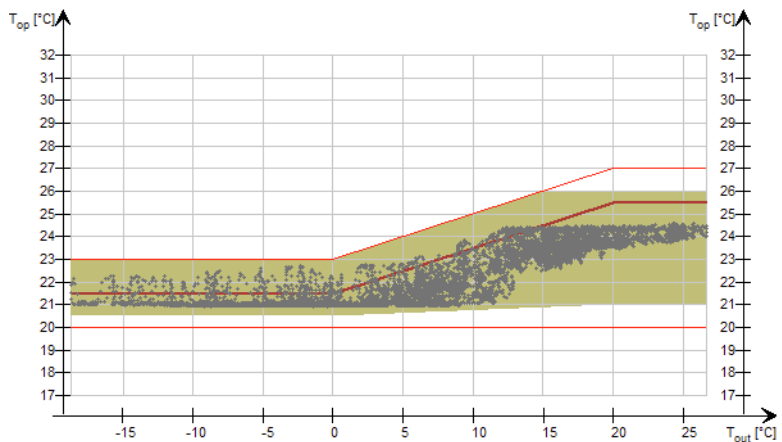
$T_{op,min} - T_{op,max}$ 8 760 (100 %)

Yhteensä 8 760

Olohuoneen keskellä oleva operatiivinen lämpötila saavuttaa SIL2018 luokan S2 tavoitearvot.

Makuuhuone 2, Sisäilmastoluokitus 2018, S2

Käyttöaika tunteina	
Pysyvyys alueella	
T_{op}	8 760 (100 %)
$T_{op,min} - T_{op,max}$	8 760 (100 %)
Yhteensä	8 760



Makuuhuoneen 2 keskellä oleva operatiivinen lämpötila saavuttaa Sisäilmastoluokituksen luokan S2 tavoitearvot.

Jos jäähdytystä on saatavilla ja jäähdytyksen asetusarvoa ohjataan ulkolämpötilan mukaan lämmityskaudella, voidaan operatiivisen lämpötilan osalta saavuttaa Sisäilmastoluokituksen luokan S2 tavoitearvot.

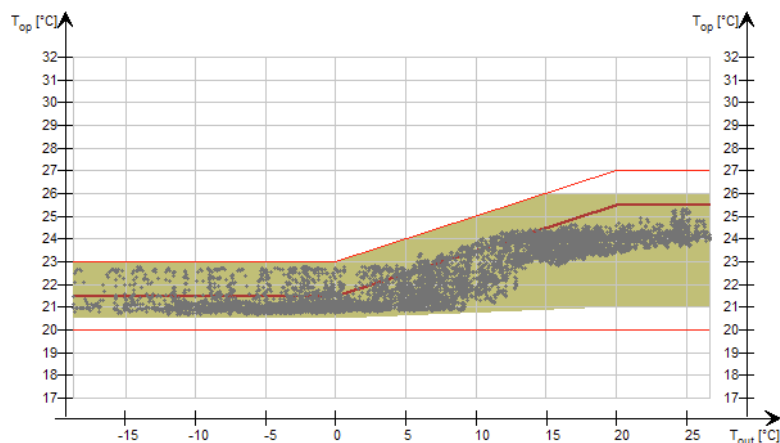
Olosuhdetarkastelu 5. Säteilypaneelit, jäähdytyksen asetusarvon ohjaus, kosteuskuormilla

Olosuhdetarkastelussa 5 esitetään laskentatulokset, kun jäähdytyksen asetusarvolla on ohjaus, ikkunoiden sälekaihtimet ohjautuvat 100 W/m^2 :n mukaan ja tiloihin on lisätty vastaavia kosteuskuormia kuin jäähdytystehon mitoituksessa on käytetty.

Henkilöiden kosteuskuormat ovat samat kuin aikaisemmissa olosuhdetarkasteluissa. Kosteuskuormaa on lisätty kasveista, suihkusta, pyykin kuivauksesta, astianpesusta ja ruoanlaitosta. Kasvien kosteuskuorma on pisaroina olohuoneessa 300 g/vrk ja makuuhuoneissa 200 g/vrk . Suihkun kosteuskuorma on höyrynä 800 g/vrk mitoituksessa käytetyn aikataulun mukaisesti. Pyykkiä kuivataan olohuoneessa olosuhdesimuloinnin mukaisesti pyykinpesukoneen käytön jälkeen keskiviikkoisin, lauantaisin ja sunnuntaisin, jolloin kosteuskuorma on 10 tunnin ajalle $1\,250 \text{ g}$. Astianpesun kuormassa on käytetty mitoituksessa käytettyä kuormaa g/h , mutta olosuhdesimuloinnin mukaisia astianpesukoneen aikatauluja, jolloin sunnuntaisin kosteuskuorma höyrynä on 500 g/vrk . Ruoanlaiton höyryn kosteuskuorman summa on sama kuin mitoituksessa käytetty $1\,200 \text{ g/vrk}$ keittiön tilaan. Kun henkilöiden kosteuskuorma on $0,7 \text{ MET}$:n yhteydessä $48,6 \text{ g/h}$ ja $1,2 \text{ MET}$ yhteydessä $65,9 \text{ g/h}$, on vuorokauden

kosteuskuormien summa olosuhdetarkastelussa sunnuntaisin 7 160 g/vrk. Ero mitoituksen ja olosuhdetarkastelun kosteuskuormien summassa johtuu suurimmilta osin henkilöiden kosteuskuormasta. Kastepisteohjauksen menoveden lämpötila on tarkastelussa korkeimmillaan 19,5 °C, joka hetkellisesti rajoittaa jäähdytystehoa.

Olohuone-keittiö-eteinen, Sisäilmastoluokitus 2018, S2



Käyttöaika tunteina

Pysyvyys alueella

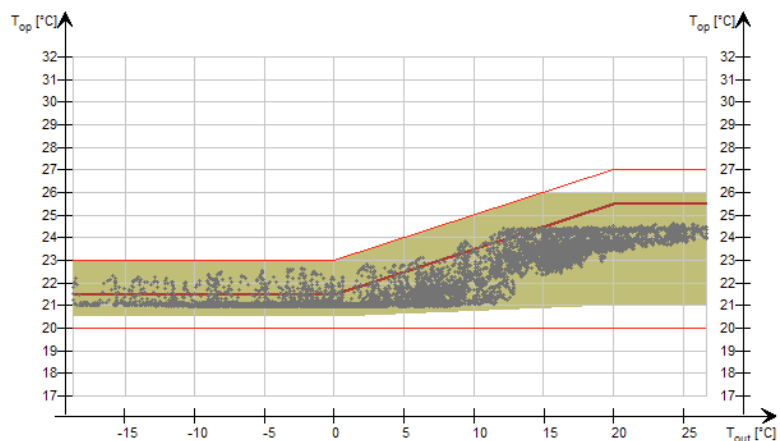
T_{op} 8 760 (100 %)

$T_{op,min} - T_{op,max}$ 8 760 (100 %)

Yhteensä 8 760

Olohuoneen keskellä oleva operatiivinen lämpötila saavuttaa Sisäilmastoluokituksen luokan S2 tavoitearvot.

Makuuhuone 2, Sisäilmastoluokitus 2018, S2



Käyttöaika tunteina

Pysyvyys alueella

T_{op} 8 760 (100 %)

$T_{op,min} - T_{op,max}$ 8 760 (100 %)

Yhteensä 8 760

Makuuhuoneen 2 keskellä oleva operatiivinen lämpötila saavuttaa Sisäilmastoluokituksen luokan S2 tavoitearvot. ■

Liite 2: Toimistotilojen jäähdytystehon mitoitus

Liitteessä on esitetty laadintaesimerkki toimistotilojen jäähdytystehon mitoituksesta. Mitoituksella selvitetään jäähdytyksen tehontarve sekä huonelaitemitoitukset, jotta lämpöolosuhteiden tavoitearvo saavutetaan mitoituspäivinä tilojen muuntojoustavuus huomioiden. Toimiston ilmanvaihto on varustettu jäähdytetyllä tuloilmalla. Jäähdytyksen huonelaitteita mitoitetaan toimistohuoneissa ja avotoimistoissa, ja vaihtoehtoina ovat lattiaviilennys ja puhallinkonvektorit yhdessä, aktiiviset jäähdytyspalkit ja jäähdytyspaneelit. Neuvotteluhuoneiden huonelaiteen mitoitetaan vaihtoehtoille lattiaviilennys ja puhallinkonvektorit yhdessä.

Lähtötiedot

Rakennuksen tiedot

Rakennuskohde	Toimisto Oy
Osoite	Toimistotie 1, 90999 Talopiha
Käyttötarkoitus-luokka	3, Toimistorakennukset
Suunnitteluvaihe	Jäähdytystehon mitoitusoppaan laadintaesimerkki 2, 27.5.2024

Rakennuksen ympäristö

Ympäristöön ei ole rakennettu muita rakennuksia, joten varjostavia rakennuksia ei ole mallinnettu. Ympäröivän maaston heijastuskertoimena on käytetty arvoa 0,2.

Säätieto

Säätietona on mitoituksessa käytetty Vantaan testivuoden 2020 ja 2 %:n riskitason jäähdytyksen mitoituspäiviä.

Mitoitettavat tilat

Mitoitusraportti on tehty esimerkkitoimiston tiloille pohjapiirustuksen perusteella. Avotoimistotilojen osuuksille on huomioitu muuntojoustavuus, jossa avotilat voidaan muuttaa erillisiksi työtiloiksi. Pohjapiirustuksen luontipäivämäärä on 24.5.2024. Muuntojoustavuuden tilat huomioidaan yhden hengen työtiloiksi paitsi kulmahuoneet, jotka huomioidaan kahden hengen työtiloiksi. Mitoitettavat tilat on esitetty **taulukossa L 2.1**.

Taulukko L 2.1. Mitoitettavat tilat.

Tila	Vyöhykkeen pinta-ala, m ²	Henkilötiheys, hlö/m ²	Kerros	Ikkunoiden ilmansuuntaus
1 - Aula	70,5	0,17	4. krs	-
2 - Avotoimisto (6 työpistettä)	26,1	0,23	4. krs	Kaakko
3 - Neuvotteluhuone (8 hlöä)	19,5	0,41	4. krs	Kaakko + Lounas
5 - Työhuone (1 työpiste)	10,5	0,10	4. krs	Lounas
7 - Avotoimisto (18 työpistettä)	87,5	0,21	4. krs	Lounas + Luode + Koillinen
8 - Neuvotteluhuone (8 hlöä)	16,4	0,49	4. krs	Koillinen

Mallin geometria leikkauksella

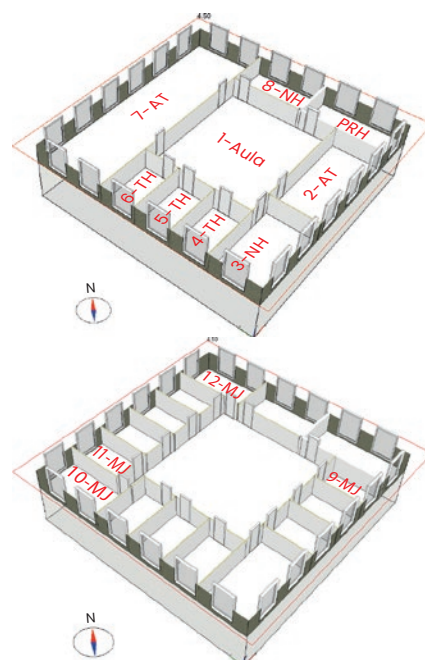
Viereisen **kuvan** malli perustuu perustapaukseen. Alemmassa kuvassa pelkästään muuntojoustavuuden mahdollistamista varten mitoitettavat tilat on korostettu punaisella tekstillä.

Rakenteet ja ilmanpitävyys

- Ulkoseinät ovat betoniseinäelementtejä mineraalivilla eristeellä, U -arvo $0,17 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.
- Välipohja on O37-ontelolaattarakenteinen lattiaeristeellä ja valulla.
- Porrashuoneen vastaiset seinät ovat betoniseiniä, ja muutoin väliseinät ovat eristämättömiä kevyitä kipsiseiniä.
- Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku q_{50} on $1,0 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ hankkeen tavoitearvon mukaisesti.

Ikkunat ja auringonsuojaus

Ikkunat ovat kaksipuitteisia puu-alumiini-ikkunoita (MSE). Ikkunoiden uloimpien lasien välissä on dynaamiset screenkaihtimet, jotka ovat alhaalla, kun auringonsäteilyn määrä lasituksen ulkopuolella on yli 95 W/m^2 (noin $12\,000 \text{ lux}$). Screenkaihtimet avautuvat 30 minuutin viiveellä siitä, kun aurinkosäteilyn raja-arvo alittuu ulkopuolisessa anturoidinnissa. Screenkaihtimen materiaalina on käytetty Serge 600 033 033 -tuotetta. Myös porrashuoneen ikkunat ovat varustettu dynaamisilla screenkaihtimilla. Ikkunoiden ja niiden lasituksen keskeiset ominaisuudet on esitetty **taulukossa L 2.2**. Ikkunoiden ja aurinkosuojauksen ominaisuudet on määriteltä ennen jäähdytystehon mitoitusta.



Taulukko L 2.2. Toimistotilan lasituksen keskeiset ominaisuudet.

Ikkunat – ilmansuunta	Ala m^2	Lasitus g -arvo ¹	T_e ²	T_{vis} ³	Lasitus U -arvo	Umpi- osan osuus ⁴	Umpi- osan U -arvo	Ikk. kok. U -arvo ⁵	Sisään- vedon syvyys	Aurinko- suojaus
	m^2	%	%	%	$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$	0...1	$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$	$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$	m	
Koillinen	19,8	38	28	67	0,90	0,15	1,0	0,91	0,15	Screenkaihdin, uloin lasiväli
Kaakko	19,8	38	28	67	0,90	0,15	1,0	0,91	0,15	Screenkaihdin, uloin lasiväli
Lounas	19,8	38	28	67	0,90	0,15	1,0	0,91	0,15	Screenkaihdin, uloin lasiväli
Luode	19,8	38	28	67	0,90	0,15	1,0	0,91	0,15	Screenkaihdin, uloin lasiväli

¹ g_g -arvo eli auringon lämpösäteilyn kokonaisläpäisykerroin ikkunan lasirakenteen läpi, mukaan lukien lasi-in absorboituneesta energiasta tilaan sisään tuleva osuus.

² Suorana säteilyinä lasin läpi menevän auringonsäteilyn osuus. Tunnetaan myös merkinnällä T_{sol} tai ST.

³ Lasin läpi menevän näkyvän valosäteilyn osuus. Tunnetaan myös merkinnällä $\tau_{visible}$ tai LT.

⁴ Umpiosan osuus on karmin osuus koko ikkunan pinta-alasta. Ikkunan koko pinta-ala koostuu lasirakenteesta ja karmirakenteesta.

⁵ U_w -arvo eli ikkunan kokonais- U -arvo ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$), jossa on huomioitu lasitus ja umpiosat.

Sisäiset kuormat

Henkilöt

Kymmenen tunnin työpäivät eivät ole todennäköisiä. Mahdollisten aamu- tai iltapäivän lämpökuormien piikkien arvioimiseksi käyttöajat ovat jäähdytystehon mitoitus varten hieman normaalia laajemmat. Mallinnuksessa henkilöiden aktiivisuus on 1,2 MET ja kosteuskuorma 65,9 g/h ($1,83 \cdot 10^{-5}$ kg/s). Kosteuskuorma vastaa 10 tunnin ajalta noin 0,66 kg/hlö. Käyttöajat ja läsnäolo on esitetty **taulukossa L 2.3**. Aulan osalta henkilöiden sisäiset kuormat ovat huomioitu taukotilan mukaisesti, jossa 12 henkilön kuormat on huomioitu pidemmäksi aikaa. Henkilöiden sisäiset lämpökuormat on esitetty **taulukossa L 2.3**.

Valaistus

Valaistuksen lämpökuormissa käytetään valaistustehoa, joka hankkeen valaistussuunnittelun tavoitteiden mukaan tulee olemaan alle mitoituksessa käytettyjen arvojen. Porrashuoneeseen, jossa ei ole jäähdytyslaitetta mutta joka on lämpenevä tila, on huomioitu 4 W/m² valaistus kello 07:00 ja 18:00 väliselle ajalle. Valaistustehot on esitetty **taulukossa L 2.4**.

Laitteet

Laitekuormat on huomioitu tyypillisen toimistorakennuksen mukaisiksi. Mahdollisten laitteiden nimellistehosta on arvioitu ainoastaan se osuus, joka voidaan arvioida tulevana lämpökuormana tiloihin. Mahdolliset kopio-, tulostuslaite tai serverihuoneet eivät sijaitse tarkastelun kerroksessa, eikä niitä siten huomioida kuormana mitoituksessa. Laitteiden lämpökuormat ja käyttöasteet on huomioitu mitoituksessa **taulukon L 2.5** mukaisesti.

Taulukko L 2.3. Henkilökuormat.

Aula	Läsnäoloaste 0,25: 3 hlöä 08:00–08:30, 09:30–11:00, 12:30–13:30, 14:30–16:00 Läsnäoloaste 1,0: 12 hlöä 08:30–09:30, 11:00–12:30, 13:30–14:30 (1,2 MET ja henkilömäärä korkeimmillaan ~25 % kerroksen työpisteistä)
Avo-toimistot	Työpisteiden mukainen henkilömäärä: 07:00–17:00, (1,2 MET)
Toimisto-huoneet	1 hlö: 07:00–17:00, (1,2 MET) Muuntojoustavuutta varten suuremmissa n. 16 m ² toimistohuoneissa: 2 hlöä: 07:00–17:00, (1,2 MET)
Neuvottelu-huoneet	Henkilömitoituksen mukainen läsnäolo: 08:00–11:30, 12:00–18:00, (1,2 MET)

Taulukko L 2.4. Valaistusteho.

Aula	8 W/m ² 07:00–18:00
Avo-toimistot	8 W/m ² 07:00–17:00
Toimisto-huoneet	8 W/m ² 07:00–17:00
Neuvottelu-huoneet	10 W/m ² 08:00–18:00

Taulukko L 2.5. Laitteet ja muut sisäiset kuormat.

Aula	Keittiön laitteet: 960 W 07:00–17:00, muutoin 150 W, jotka ovat arvioitu koostuvan seuraavista laitteista: Jääkaapit 2 × 100 W, Pakastimet 2 × 80 W, Kahvinkeitin 300 W, Tulostimet 3 × 100 W. Iso näyttö: 100 W, 07:00–18:00 Pistokkeet: 20 W, 24/7
Avo-toimistot	Kannettava tietokone + Näytöt: 80 W/työpiste, 07:00–17:00
Toimisto-huoneet	Pöytäkone + Näytöt: 150 W / työpiste, 07:00–17:00
Neuvottelu-huoneet	Kannettava tietokone: 35 W/hlö, 08:00–11:30, 12:00–18:00 Iso näyttö: 100 W, 08:00–11:30, 12:00–18:00

Ilmanvaihto

Toimistossa on kerroskohtainen ilmanvaihtokone, paitsi porrashuoneessa, jossa on oma koneensa. Ilmanvaihtokoneiden käyntiaika on arkisin kello 06:00–19:00. Toimistotilojen ilmanvaihtokoneessa on 70 %:n lämpötilansuhteen lämmöntalteenotto, ominaissähköteho $1,6 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$, lämmityspatteri ja jäähdytyspatteri. Tuloilman lämpötilan asetusarvo on $16 \text{ }^\circ\text{C}$. Tuloilma lämpenee puhaltimessa hyötysuhteen mukaisesti ja lisäksi kanavistossa $0,2 \text{ }^\circ\text{C}$. Aulassa, yhden työpisteen ja kahden työpisteen työhuoneissa ja porrashuoneessa on ilmanvaihdossa vakioilmavirtaama. Ilmanvaihdon tulo- ja poistoilman virtaamat ovat aulassa 72 l/s ja porrashuoneessa $0,5 \text{ l/h}$. Muissa tiloissa ilmamäärät ovat arvioitu Sisäilmastoluokituksen taulukon 2.4.3 ja S2-luokan mukaisesti. Avotoimistotilojen ja neuvottelu- huoneiden ilmamääriä säädetään hiilidioksidipitoisuuden perusteella PI-säätimellä, jonka asetusarvo on 900 ppm . Laskennassa ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on 400 ppm . Sisäilman lämpötilan ilmamäärän säätöä ohjataan asetusarvolla $23,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Koska ilmanvaihdon ja jäähdytyksen lämpötilan asetusarvoa ei ohjauksen kannalta tule määrittää samaksi, huomioidaan ilmanvaihdon asetusarvo $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ jäähdytyslaitteiden asetusarvoa, $23,1 \text{ }^\circ\text{C}$, matalammaksi.

Ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterille huomioitu seuraavien parametrien mukainen mitoitus:

- kokonaislämmönsiirto nimellisteholla: 10 350 W
- nesteen massavirta: $0,493 \text{ kg/s}$
- nesteen menolämpötila: $7 \text{ }^\circ\text{C}$
- ilmavirtaus: 497 l/s
- tulevan ilman lämpötila $30 \text{ }^\circ\text{C}$, märkälämpötila $19,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ja entalpia 57 kJ/kg
- lähtevän ilman lämpötila $16 \text{ }^\circ\text{C}$.

Järjestelmähäviöt

Mallinnuksessa ei ole huomioitu järjestelmähäviöiden lämpökuormia. Lämpimän kiertoveden putket sijaitsevat eristettyinä hormissa. Kerroksessa ei ole vaakavetoja, jolloin häviön lämpökuorma on hyvin pieni osa lämpökuormien kokonaisuudesta.

Taulukko L 2.6. Ilmanvaihtojärjestelmien ilmavirrat.

IV-kone	Järjestelmä	Ohjaus	Tuloilma		Poistoilma		Sisäänpuh. lämpötila Jääh. $^\circ\text{C}$	η_{LTO} %
			min. l/s	maks. l/s	min. l/s	maks. l/s		
IVK-xxx	Kerroskoht.	IMS	301	497	286	497	16,9	70
IVK-xxx	Porrashuone	Vakio	7	7	7	7	17	70

Jäähdytys, asetus- ja tavoitearvot

Raportissa tarkastellaan eri jäähdytysvaihtoehtojen tehontarpeita, joilla lämpöolosuhteiden tavoitearvot saavutetaan mitoituspäivinä. Toimistotilojen huonelaitteina tarkastellaan vaihtoehtoja jäähdytyspaneelit, aktiiviset jäähdytyspalkit ja yhdistelmää lattiaviilennys + puhallinkonvektorit, jossa konvektorit on kondenssiviemäröity. Neuvotteluhuoneille mitoitetaan puhallinkonvektorit, joissa on kondenssiviemäröinti.

Taulukko L 2.7. Jäähdytysjärjestelmien vaihtoehdot.

Jäähdytysjärjestelmien vaihtoehdot	Verkosto, °C
Lattiaviilennys	16,0 / 19,0
Jäähdytyspaneelit	15,0 / 18,0
Aktiiviset jäähdytyspalkit	15,0 / 18,0
Puhallinkonvektori	7,0 / 15,0

Jäähdytyspaneelien ja jäähdytyspalkkien järjestelmille on huomioitu kastepisteohjaus, jossa menoveden lämpötila on asteen korkeampi kuin oleskelutiloissa sijaitsevien antureiden korkein kastepiste. Lattiaviilennykselle ei ole huomioitu kastepisteohjausta, mutta toteutuksessa on kuitenkin hyvä huomioida suhteellisen kosteuden seuranta, jonka perusteella piirien viilennyksen voi tarvittaessa sulkea. Puhallinkonvektoreille neuvotteluhuoneissa ei ole huomioitu kastepisteohjausta.

Taulukko L 2.8. Jäähdytysjärjestelmät, asetus- ja tavoitearvot.

Vyöhyke	Jäähdytyksen asetusarvo °C	Ilman lämpötilan tavoitearvo °C	RH % tavoitearvo %
Toimistotilat	23,1 ¹	25,0	< 70
Neuvotteluhuoneet	23,1 ¹	25,0	< 70

¹ Lattiaviilennyksen + puhallinkonvektorien järjestelmässä lattiaviilennyksen asetusarvo on 23,1 °C ja puhallinkonvektorien 24 °C.

Lattiaviilennyksen mallinnusta varten tulee välipohjarakenteisiin ja lattiapiireihin kiinnittää erityisesti huomioita. Laadintaesimerkin mallinnuksessa on huomioitu seuraavan mukainen välipohja (rakenteet lattiapinnasta alaspäin) ja lattiapiirit:

- laminaatti 0,008 m ($\lambda = 0,166 \text{ W/(m K)}$, $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 1\,000 \text{ J/(kg K)}$)
- tasoitevalu 0,04 m ($\lambda = 1,0 \text{ W/(m K)}$, $\rho = 1\,700 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 1\,000 \text{ J/(kg K)}$)
- eriste 0,03 m ($\lambda = 0,0037 \text{ W/(m K)}$, $\rho = 15 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 11\,30 \text{ J/(kg K)}$)
- ontelolaatta 0,37 m ($\lambda = 1,64 \text{ W/(m K)}$, $\rho = 1\,396 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 993 \text{ J/(kg K)}$).

Lattiapiirien vapaiden pinta-alojen on arvioitu olevan 95 % vyöhykkeiden lattiapinnasta. Piirien laskennalliset massavirtaukset on määritetty parametreilla ΔT 3 °C teholla 25 W/m². Asennussyvyys on 0,04 m ja SFS-EN 11855-2 -standardiin perustuva ns. *H-water-pipe-fin* -lämmönjohtavuuskerroin on 8,4 W/(m²·K), joka on arvioitu laadintaesimerkin putkipiirille, kun putkien asennusväli on 300 mm.

Mitoituksen tulokset

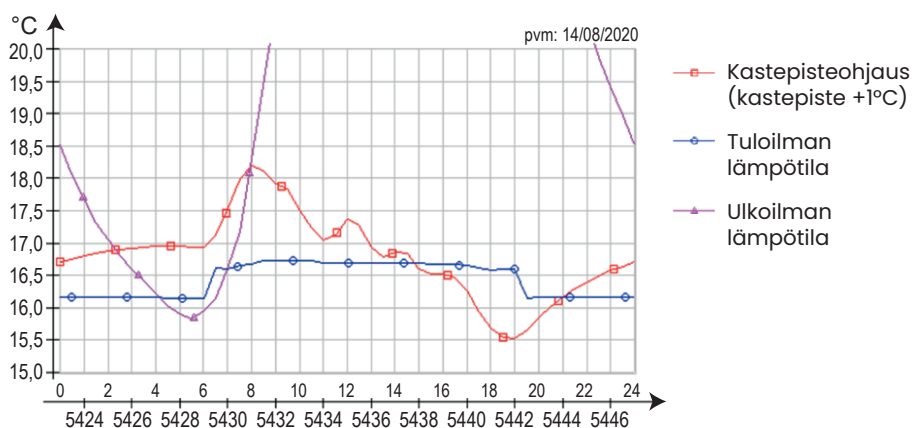
Mitoitukset ovat tehty laadintaesimerkin toimistotiloille huonelaitteilla jäähdytyspaneelit, aktiiviset jäähdytyspalkit ja yhdistelmälle lattiviilennys ja puhallinkonvektorit sekä neuvotteluhuoneiden puhallinkonvektoreille sekä yhdistelmälle lattiviilennys ja puhallinkonvektorit. Mitoittavien mitoituspäivien kuukaudet ovat tiloille kesä-, heinä- ja elokuu simuloitujen lämpökuormien perusteella.

Ikkunoille on ennen jäähdytystehon mitoitusta määritetty uloimpien lasien väliin screenkaihtimet, sillä sisäpuolisilla kaihtimilla tehontarve on merkittävästi suurempi. Sisäpuolisen screenvaihtoehdon tuloksia on esitetty laadintaesimerkin herkkyystarkastelussa. Porrashuoneen ikkunoille on myös katsottu tarpeelliseksi uloimman lasin välinen screenkaihdin, sillä muutoin porrashuone lämpenee merkittävästi mitoituspäivinä. Tällöin lämpökuorma rakenteiden läpi vaikuttaisi jäähdytystehon mitoitukseen viereisissä toimistotiloissa. Koska porrashuoneen mahdollinen yllilämpeneminen on ratkaistu, ei porrashuonetta tarvitse huomioida toimistotilojen huonelaitteiden jäähdytystehon mitoituksessa.

Sisäänpuhallusilman ominaisuudet vaikuttavat olennaisesti huonelaitteiden mitoitukseen. Laadintaesimerkin simuloinnissa toimistotilojen ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatteri kuivaa ilman absoluuttista kosteutta korkeimmillaan 0,0028 kg/kg ja jäähdyttää kokonaislämmönsiirron teholla korkeimmillaan 10,4 kW. Jäähdytyspatterin jälkeinen ilman lämpötila on 16 °C, mutta puhaltimen ja kanaviston jälkeinen tuloilman sisäänpuhalluslämpötila on käyttöaikana noin 16,9 °C. Lämmöntalteenotossa on huomioitu myös jäähdyttävä talteenotto. Ilman lämpötila ennen lämmöntalteenottoa heinäkuun mitoituspäivänä on korkeimmillaan noin 29,9 °C ja ennen jäähdytyspatteria noin 26,1 °C.

Kastepisteohjauksen lämpötila on elokuun mitoituspäivän aikana korkeimmillaan noin 18,2 °C ja matalimmillaan 15,5 °C yksinkertaisten puhallinkonvektorien jäähdytystehon mitoitusoptimoinnissa. Kun ulkoilma on viileää, ilmanvaihdon jäähdytyspatteri ei kykene kuivaamaan ilmaa. Tällöin ulkoilman ollessa viileän lisäksi kosteaa, tilojen kastepisteet nousevat tuloilman kosteuden sekä sisäisten kosteuskuormien takia. Kastepisteohjauksen vaihtelu ja vaikutus eri huonelaitteiden jäähdytystehtoihin on huomioitu mitoitus- ja simuloinneissa.

Hankkeissa on hyvä esittää mitoituksen keskeiset tiedot muille suunnittelijoille, jotta mitoituksessa käytetyt lähtötiedot ja määritelmät ovat myös heidän tiedossansa. Mitoituksessa käytetyistä tiedoista merkittävästi poikkeava suunnittelu tai toteutus voi vaikuttaa jäähdytyksen tehontarpeeseen.



Mitoituksen jäähdytystehojen lisäksi on keskeistä esittää ainakin seuraavatkin tiedot hankkeen jatkosuunnittelua varten:

- mitoituksessa huomioitujen ikkunoiden ja aurinkosuojuukset ominaisuudet
- mitoituksessa huomioitua sisäiset lämpö- ja kosteuskuormat
- ilmanvaihdon lähtötiedot ilmamäärästä, asetusarvoista, jäähdytyspatterin tehosta ja ohjauksesta
- huonelaitteiden laitekoko, meno- ja paluuveden lämpötila ja muut huonelaitepesifiset parametrit. Mikäli laitemalli on määritetty, on laitteen äänitaso esimerkiksi hyvä esittää, sillä sen tavoitetaso hankkeen osalta ei ole välttämättä tehomitoittajan tiedossa.
- huomioitu jäähdytyksen asetusarvo, huoneilman tavoitearvo ja jäähdytyksen muut ohjaukset.

Laadintaesimerkin tulokset eri huonelaitteiden vaihtoehdoille on esitetty **taulukossa L 2.9 ... L 2.15**.

Taulukko L 2.9. Jäähdytystehon mitoitus yksinkertaisille puhallinkonvektoreille.

Tila	Teho
1 – Aula	1 500 W
2 – Avotoimisto (6 työpistettä)	1 260 W
5 – Työhuone (1 työpiste)	460 W
7 – Avotoimisto (18 työpistettä)	2 580 W
9 – MJ työhuone (1 työpiste)	410 W
10 – MJ työhuone (2 työpistettä)	990 W
11 – MJ työhuone (1 työpiste)	270 W
12 – MJ työhuone (2 työpistettä)	640 W

Jäähdytyspaneelit

Jäähdytyspaneelien mitoitusta varten tehtiin mitoitusoptimointi yksinkertaisten puhallinkonvektori-komponenttien avulla. Siinä huomioitiin kastepisteohjaus, nesteen keskimääräisen lämpötilan ja huoneilman lämpötilan ero 8,5 °C ja nesteen lämpötilan nousu 3 °C. Optimoinnin perusteella tehdyt jäähdytystehon mitoitukset on esitetty **taulukossa L 2.9**.

Mitoitettujen tehojen perusteella saadaan selvitettyä muuntojoustavuutta varten mitoittavat skenaariot. 2 – Avotoimiston tarvittava teho on 1 260 W, kun sen muuttaminen kolmeksi työhuoneeksi vaatii 1 380 W. Siksi jäähdytyslaitteiden tehot tulee mitoittaa työhuoneiden tarpeen mukaisesti. Sama pätee 7 – Avotoimistotilaan, jonka mitoitus on 2 580 W, kun taas erillisten työtilojen mitoitus on yhteensä 2 710 W. Näin ollen avotoimistotiloille huomioidaan jäähdytyspaneelien mitoituksessa muuntojoustavuuden mukainen tehontarve. **Taulukossa L 2.10** esitetään jäähdytyspaneelien mitoitukset, joissa on hyödynnetty aiemman yksinkertaisten puhallinkonvektorien optimoinnin mukaisia tehoja.

Taulukko L 2.10. Jäähdytyspaneelit.

Tila	kpl (koko)	W/kpl/W yht. ¹	W/m ² ²	Ilman maks., °C ³	RH % ⁴
1 – Aula	10 (2,39 × 0,60)	154 / 1 540	21,3	25,0	59
2 – Avotoimisto (6 työpistettä)	6 (2,99 × 0,90)	264 / 1 584	60,8	25,0	56
5 – Työhuone (1 työpiste)	2 (2,99 × 0,90)	264 / 528	50,2	24,8	56
7 – Avotoimisto (18 työpistettä)	8 (2,39 × 1,19)	283 / 2 264	33,8	24,6	57
	2 (2,99 × 1,19)	344 / 688			
Yhteensä	28 kpl	– / 6 604	–	–	–

¹ Jäähdytysteho, kun menovesi on 15 °C ja huonelämpötila 25 °C. Paluuveden lämpötila riippuu suunnitellusta vesivirrasta paneeleille (laadintaesimerkin laitevalinnassa huomioitu 0,028 l/s).

² Kokonaisteho suhteessa huoneen pinta-alaan.

³ Ilman korkein lämpötila mitoituspäivänä.

⁴ Suhteellinen kosteus korkeimman huonelämpötilan hetkenä.

Aktiiviset jäähdytyspalkit

Jäähdytyspalkkien mitoituksessa hyödynnettiin jäähdytyspaneelleille tehtyä yksinkertaisten puhallinkonvektorien mitoitusoptimointia, sillä järjestelmille huomioidaan samat lämpötilatasot ja kastepisteohjaus. Optimoinnin tehontarpeet ovat esitetty edellisellä sivulla. Tehontarpeista on huomioitava, että ne vastaavat jäähdytyspalkkeissa tarvittavaa veden jäähdytystehoa eikä palkkien kokonaistehoa, joka koostuu ilman ja veden jäähdytystehosta. Avotoimistojen osalta tehot, laitekoot ja -sijoittelut huomioitiin muuntojoustavuuden tarpeen eli yksittäisten toimistohuoneiden tarpeiden perusteella.

Tehontarpeita voisi myös hyödyntää ns. ilmastointimoduulien mitoitukseen, joissa moduuli puhalttaa ilmaa neljään suuntaan palkin kahden suunnan sijaan. **Taulukossa L 2.11** on esitetty palkkien mukaiset mitoitukset, joissa väljä kokovalikoima johtaa tarvetta suurempaan tehoon.

Taulukko L 2.11. Aktiiviset jäähdytyspalkit.

Tila	kpl (koko)	Ilmamäärä / palkki	W/kpl ¹ Vesi / Ilma	W yht. / W/m ² ²	Ilman maks., °C ³	RH % ⁴
1 – Aula	2 (2,40 × 0,45)	36 l/s	890 / 350	1 780 / 24,6	24,6	60
2 – Avotoimisto (6 työpistettä)	3 (1,80 × 0,45)	11 l/s	540 / 110	1 620 / 62,2	24,2	59
5 – Työhuone (1 työpiste)	1 (1,80 × 0,45)	11 l/s	540 / 110	540 / 51,4	24,5	55
7 – Avotoimisto (18 työpistettä)	1 (1,80 × 0,45) 2 (1,80 × 0,45) 4 (1,20 × 0,45)	11 l/s 22 l/s 11 l/s	540 / 110 650 / 210 450 / 110	3 640 / 40,3	24,4	55
Yhteensä	13 kpl	215 l/s	-	7 580 / -	-	-

¹ Veden ja ilman jäähdytystehot eroteltuina. Palkin kokonaisjäähdytysteho koostuu tehojen summasta. Tehot on esitetty menoveden lämpötilalla 15 °C, huonelämpötila 25 °C, paluuv veden lämpötila palkkikohtaisesti suunnitellun vesivirran mukaan ja tuloilman lämpötilalla 17 °C.

² Nesteen jäähdytysteho yhteensä ja suhteessa huoneen pinta-alaan.

³ Huoneilman korkein lämpötila mitoituspäivänä.

⁴ Suhteellinen kosteus korkeimman huonelämpötilan hetkenä.

Puhallinkonvektorit neuvotteluhuoneissa

Yksinkertaista puhallinkonvektorin komponenttia hyödynnettiin myös puhallinkonvektorien mitoitusoptimointia varten. Optimoinnissa jäähdytyslaitteelle huomioitiin nesteen keskimääräisen lämpötilan ja huoneilman lämpötilan ero 17,5 °C ja nesteen lämpötilan nousu 5 °C. Optimoinnin tulosten perusteella ”3 – Neuvotteluhuoneen” tehontarve on 1 360 W ja ”8 – Neuvotteluhuoneen” 1 040 W. Mikäli neuvotteluhuoneella ei olisi merkittävää lämpökuormaa auringosta, esimerkiksi rakennuksen keskellä sijaitseva tila, jäähdytyksen tehontarve voisi perustua talvitilanteeseen, jolloin tilan tavoitelämpötila on matalampi. Tehon optimointi tarkastettiin myös talvitilanteessa, jossa tavoitelämpötila on 23 °C ja tehontarve on tiloissa pienempi talvella kuin kesällä. Laadintaesimerkissä puhallinkonvektoreille huomioitu sähkön ottoteho on 3 % jäähdytystehosta. **Taulukossa L 2.12** on esitetty puhallinkonvektorien laitemitoitukset neuvotteluhuoneille.

Taulukko L 2.12. Puhallinkonvektorien laitemitoitukset neuvotteluhuoneille.

Tila	PK malli	W ¹	W/m ² ²	Ilman maks., °C ³	RH % ⁴
3 – Neuvotteluhuone (8 henk.)	Type 2	1 560	80,0	24,1	52
8 – Neuvotteluhuone (8 henk.)	Type 1	1 230	75,0	24,0	55
Yhteensä	-	2 790	-	-	-

¹ Puhallinkonvektorin kokonaisjäähdytysteho. Tehot on esitetty laitevalmistajan määrittämien vakio-olosuhteiden mukaisesti: menoveden lämpötila 7 °C, paluuv veden lämpötila 12 °C ja huonelämpötila 27 °C.

² Jäähdytysteho suhteessa huoneen pinta-alaan.

³ Huoneilman lämpötilan keskiarvo sekä korkein lämpötila mitoituspäivänä.

⁴ Suhteellinen kosteus korkeimman huonelämpötilan hetkenä.

Lattiaviilennys + puhallinkonvektorit

Lattiaviilennyksen ja puhallinkonvektorien järjestelmän osalta kummatkin järjestelmät huomioitiin ulkoseiniin rajattuihin tiloihin. Sen sijaan sisäpuolisessa tilassa, eli aulassa, huomioitiin pelkästään puhallinkonvektori. Mitoituksen oletuksena on, että lattiapiirejä sijoitetaan ainoastaan lämmitettäviin tiloihin. Kun lattiapiirien tarkempi suunnittelu on kesken, on piirien asennus-pinta-alojen ja putkien asennusvälien osalta tehty kohdekohtainen arvio puhallinkonvektorien mitoitusta varten. Siinä asennuspinta-alat ovat 95 % tilojen lattiapinnasta ja lämmönjohtavuuden ominaisuudet ovat 300 mm:n asennusvälillä. Välipohjarakenteen ominaisuuksien tarkempi selostus on laadintaesimerkin Jäähdytys, asetus- ja tavoitearvot -otsikon alla.

Kun lattiapiirit ovat mallinnettu, voidaan puhallinkonvektorien tehontarpeen mitoitusoptimointi tehdä yksinkertaisella puhallinkonvektorin komponentilla. Optimoinnissa jäähdytyslaitteelle huomioitiin nesteen keskimääräisen lämpötilan ja huoneilman lämpötilan ero 17,5 °C ja nesteen lämpötilan nousu 5 °C. Jäähdytyksen asetusarvoina huomioitiin lattiaviilennykselle 23,1 °C ja puhallinkonvektoreille 24,0 °C. Huonelämpötilan tavoitearvo on, kuten muillakin järjestelmillä, 25,0 °C. **Taulukossa L 2.13** on esitetty optimoinnin tulokset tehontarpeista.

Taulukko L 2.13. Jäähdytystehon mitoitus yksinkertaisille puhallinkonvektoreille.

Tila	Teho
1 – Aula	1 930 W
2 – Avotoimisto (6 työpistettä)	760 W
3 – Neuvotteluhuone (8 henk.)	900 W
5 – Työhuone (1 työpiste)	280 W
7 – Avotoimisto (18 työpistettä)	160 W
8 – Neuvotteluhuone (8 henk.)	620 W
9 – MJ työhuone (1 työpiste)	260 W
10 – MJ työhuone (2 työpistettä)	700 W
11 – MJ työhuone (1 työpiste)	70 W
12 – MJ työhuone (2 työpistettä)	360 W

2 – Avotoimiston tehontarve on 760 W, kun sen muuttaminen kolmeksi työhuoneeksi vaatii 780 W. Siten puhallinkonvektoreille tulee huomioida vähintään työhuoneiden tehontarve. Samoin 7 – Avotoimistotilan osalta mitoitus on 160 W, kun taas erillisten työtilojen mitoitus on yhteensä 1 340 W. Muuntojoustavuutta varten suunnittelussa tulee huomioida, että mikäli toimiston pohja koostuisi yksittäisistä tiloista eikä avotoimistoista, jokainen tila tulee varustaa lattiaviilennyksen lisäksi lisäjäähdetyksellä.

Muuntojoustavuutta varten vähintään putkivedoissa on huomioitava, että muuntojoustavuuden yksittäiset tilat vaativat lattiaviilennyksen lisäksi jäähdytystä. Lattiaviilennyksen ohjauksessa täytyy myös huomioida muuntojoustavuuden mahdollisuus. Yksi ratkaisu voisi olla, että piirejä ohjataan julkisivuittain lämpimimmän tilan mukaan.

Taulukoissa L 2.14 ja 2.15 esitetään ratkaisun laitemitoitukset, joissa huomioidaan toteutettava pohjaratkaisu. Muuntojoustavuuden osalta putki-verkostolle huomioidaan varaukset erillisten tilojen puhallinkonvektoreille.

Taulukko L 2.14. Lattiaviilennyksen ominaisuudet ja tulokset.

Tila	Putkipiirien pinta-ala m ² ¹	W ²	W/m ² ³	Ilman maks., °C	RH % ⁴
1 – Aula	–	–	–	24,2	54
2 – Avotoimisto (6 työpistettä)	23,9	453	18,0 / 19,0	24,1	55
3 – Neuvotteluh. (8 henk.)	18,1	362	19,0 / 20,0	24,2	54
5 – Työhuone (1 työpiste)	9,5	165	16,5 / 17,4	24,0	55
7 – Avotoimisto (18 työpistettä)	82,4	1393	16,1 / 16,9	24,3	55
8 – Neuvotteluh. (8 henk.)	14,7	272	17,6 / 18,5	24,1	64
Yhteensä	148,6	2645	–	–	–

¹ Lattiaviilennyksen putkipiirien vapaan lattiapinnan asennuspinta-ala yhteensä.

² Lämpövirta (viilennys) tilasta lattiaviilennyksen asennuspinta-alaan suurimmillaan mitoituspäivänä.

³ Lämpövirta suhteessa vyöhykkeen pinta-alaan / suhteessa lattiaviilennyksen piirin pinta-alaan.

⁴ Suhteellinen kosteus korkeimman huonelämpötilan hetkenä.

Taulukko L 2.15. Puhallinkonvektorien laitevalinnat ja tulokset.

Tila	PK malli	W ¹	W/m ² ²	Ilman maks., °C	RH % ³
1 – Aula	Type 3	2 160	29,9	24,2	54
2 – Avotoimisto (6 työpistettä)	Type 1	1 230	47,2	24,1	55
3 – Neuvotteluh. (8 henk.)	Type 1	1 230	63,1	24,2	54
5 – Työhuone (1 työpiste)	Type 1	1 230	117,0	24,0	55
7 – Avotoimisto (18 työpistettä)	Type 2	1 560	17,8	24,3	55
8 – Neuvotteluh. (8 henk.)	Type 1	230	75,0	24,1	64
Yhteensä	–	8 640	–	–	–

¹ Puhallinkonvektorin kokonaisjäähdytysteho. Tehot on esitetty laitevalmistajan määrittämien vakio-olosuhteiden mukaisesti: menoveden lämpötila on 7 °C, paluuv veden lämpötila 12 °C ja huonelämpötila 27 °C.

² Jäähdytysteho suhteessa huoneen pinta-alaan.

³ Suhteellinen kosteus korkeimman huonelämpötilan hetkenä.

Herkkyystarkastelu

Herkkyystarkastelu on jaettu kolmeen osaan, joista ensimmäisessä tarkastellaan mitoitettujen huonelaitteiden simulointituloksia eri säätiedoilla ja jäähdytyksen asetusarvoilla. Toisessa osassa tarkastellaan aurinkosuojauksen muutosta ja kolmannessa osassa yöjäähdytystä ilmanvaihdolla.

Säätieto ja asetusarvo

Tarkastelussa jäähdytyksen asetusarvon muutosta sekä mitoituspäivien säätiedoston muuttamista verrataan Vantaan 2020 nykyilmastosta ja 2 %:n riskitasosta vuoden 2050 Vantaan RCP4.5-skenaariota ja 2 %:n riskitason mitoituspäiviin. Jäähdytystehon mitoituksena on herkkyystarkastelussa käytetty samaa mitoitusta kuin mitoituksen tuloksissa on esitetty. Ilmanvaihdon asetusarvot, ilmamäärät ja ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterin mitoitus on sama kuin mitoituksissa. **Taulukossa L 2.16** on esitetty säätietojen ja asetusarvon herkkyystarkastelun tulokset.

Taulukko L 2.16. Säätietojen ja asetusarvon herkkyystarkastelun tulokset.

Jäähdytysjärjestelmä	Säätieto	Asetusarvo	Tila	Maks., °C	RH % ¹
Jäähdytyspaneelit	2020	23,1	2 – AT 5 – TH	25,0 24,8	56 56
	2020	24	2 – AT 5 – TH	25,4 25,1	55 55
	2050, RCP4.5	23,1	2 – AT 5 – TH	25,1 25,0	56 56
Jäähdytyspalkit	2020	23,1	2 – AT 5 – TH	24,2 24,5	59 55
	2020	24	2 – AT 5 – TH	24,5 25,1	58 52
	2050, RCP4.5	23,1	2 – AT 5 – TH	24,3 24,6	59 55
Lattiaviilennys + Puhallinkonvektori	2020	23,1 (24) ¹	2 – AT 3 – NH 5 – TH	24,1 24,2 24,0	55 54 55
	2020	24 (25) ¹	2 – AT 3 – NH 5 – TH	25,0 25,1 25,0	59 55 61
	2050, RCP4.5	23,1 (24) ¹	2 – AT 3 – NH 5 – TH	24,1 24,3 24,0	54 53 55
Puhallinkonvektori	2020	23,1	3 – NH	24,1	52
	2020	24	3 – NH	24,5	51
	2050, RCP4.5	23,1	3 – NH	24,3	51

¹ Lattiaviilennyksen asetusarvo ja suluissa puhallinkonvektorin asetusarvo.

² Suhteellinen kosteus korkeimman huonelämpötilan hetkenä.

Aurinkosuojaus

Tarkastelussa verrataan aurinkosuojauksen eri ratkaisuja. Niistä yhdessä screenkaihtimen sijainti muutetaan sisäpuolelle ja toisessa aurinkosuojaus hoidetaan markiisilla. Ikkunan rakenne on ratkaisuissa sama kuin varsinaisessa mitoituksessa, ainoastaan aurinkosuojaus muuttuu. Mikäli aurinkosuojauksen vaihtoehtoja sovelletaan työhuoneeseen 5 jäähdytyspaneelien mukaisella mitoitusoptimoinnin teholla ja neuvotteluhuoneessa 3 puhallinkonvektorin mitoitusoptimoinnin teholla, saadaan esimerkitiloissa seuraavat tulokset:

Taulukko L 2.17. Aurinkosuojaus.

Jäähdytysjärjestelmä	Sää-tieto	Asetus-arvo	Aurinkosuojaus	Tila	Maks., °C	RH % ¹
Mitoitusoptimointi	2020	23,1	Screenkaihdin uloim. las. väl.	3 - NH 5 - TH	25,0 25,0	55 63
	2020	23,1	Screenkaihdin sisäpuolella	3 - NH 5 - TH	26,9 27,3	48 55
	2020	23,1	Markiisi	3 - NH 5 - TH	25,2 25,1	54 62

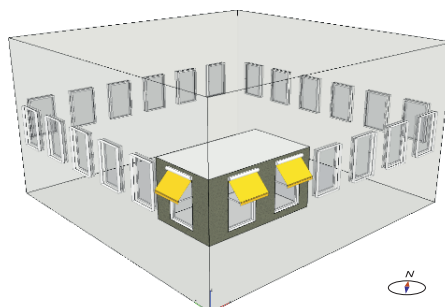
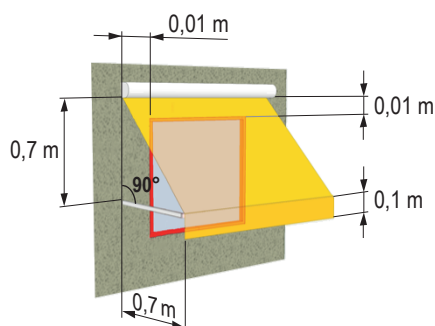
¹ Suhteellinen kosteus korkeimman huonelämpötilan hetkenä.

Mikäli mitoitusoptimointi suoritetaan sisäpuolisilla screenkaihtimilla tai markiisilla, tehot muuttuvat **taulukon L 2.18** mukaisesti.

Taulukko L 2.18. Mitoitusoptimointi sisäpuolisilla screenkaihtimilla tai markiisilla.

Jäähdytysjärjestelmä	Sää-tieto	Asetus-arvo	Aurinkosuojaus	Tila	Mitotus	Maks., °C
Mitoitusoptimointi	2020	23,1	Screenkaihdin uloim. las. väl.	3 - NH 5 - TH	1360 W 460 W	25,0 25,0
	2020	23,1	Screenkaihdin sisäpuolella	3 - NH 5 - TH	2140 W 880 W	25,0 25,0
	2020	23,1	Markiisi	3 - NH 5 - TH	1440 W 480 W	25,0 25,0

Tarkastelun perusteella screenkaihdin sisäpuolella olevana ratkaisuna tarvitsee neuvotteluhuoneeseen 57 % ja työhuoneeseen 91 % suuremman jäähdytystehon verrattuna uloimpien lasien välisen screenkaihtimen ratkaisuun, kun halutaan saavuttaa 25 °C:n maksimilämpötila. Markiisilla tehontarve on suurempi kuin uloimpien lasien välisellä screenkaihtimella, mutta tehontarpeen ero on kohtuullisempi.



Yöjäähdytys

Yöjäähdytystä tarkasteltiin herkkyystarkastelussa ilmanvaihdon käyntiaikaa muuttamalla. Referenssivaihtoehdossa on varsinaisen mitoituksen mukaiset tulokset. Toisessa vaihtoehdossa ilmanvaihdon käyntiaikaa aikaisutettiin kahdella tunnilla, jolloin käyntiaika on kello 04:00–19:00. Kolmannessa vaihtoehdossa ilmanvaihto käy jatkuvasti. Tarkastelussa puhutaan yötuuletuksen sijaan yöjäähdytyksestä, sillä ilmanvaihtokoneessa tuloilmaa jäähdytetään myös yöaikana asetusarvoonsa. Sisäänpuhalluslämpötila on käyntiaikana noin 16,9 °C. **Taulukossa L 2.19** on esitetty yöjäähdytyksen vaikutukset neuvotteluhuoneen ja työhuoneen minimi- ja maksimilämpötiloihin mitoituspäivinä. On huomioitava, että neuvotteluhuoneessa on IMS, joka aamuyön tunteina rajaa ilmanvaihdon ilmamäärää puoleen. Tällöin huoneen ilman lämpötila ei laske merkittävästi mitoituspäivinä.

Yöjäähdytyksen vaikutus tehontarpeen mitoitukseen on esitetty **taulukossa L 2.20**. Tarvittavaan tehoon ei ole suurta muutosta tarkastelun perusteella.

Taulukko L 2.19. Yöjäähdytyksen vaikutukset neuvotteluhuoneen ja työhuoneen minimi- ja maksimilämpötiloihin mitoituspäivinä.

Jäähdytysjärjestelmä	Sää-tieto	Asetus-arvo	IV yö-jäähdytys	Tila	Min. / Maks., °C	RH % ¹
Mitoitus-optimointi	2020	23,1	Ilman yöjäähdytystä	3 - NH 5 - TH	22,9 / 25,0 23,0 / 25,0	55 63
	2020	23,1	Yöjäähdytys 2h ennen käytt.	3 - NH 5 - TH	22,8 / 25,0 23,0 / 25,0	55 63
	2020	23,1	Ilmanvaihto jatkuva	3 - NH 5 - TH	22,7 / 24,8 22,8 / 24,8	55 63

¹ Suhteellinen kosteus korkeimman huonelämpötilan hetkenä.

Taulukko L 2.20. Yöjäähdytyksen vaikutus tehontarpeen mitoitukseen.

Jäähdytysjärjestelmä	Sää-tieto	Asetus-arvo	IV yö-jäähdytys	Tila	Mitoitus	Maks., °C
Mitoitus-optimointi	2020	23,1	Ilman yöjäähdytystä	3 - NH 5 - TH	1360 W 460 W	25,0 25,0
	2020	23,1	Yöjäähdytys 2h ennen käytt.	3 - NH 5 - TH	1350 W 450 W	25,0 25,0
	2020	23,1	Ilmanvaihto jatkuva	3 - NH 5 - TH	1290 W 430 W	25,0 25,0

Mitoituksen prosessikuvaus

1. Laskentamallin luonti

Ennen kuin laskentamalli luodaan, tulevat kohteen lähtötiedot olla kerättyinä. Hankkeen tilaajalta ja tilojen tulevalta käyttäjältä on hyvä pyytää lähtötietoja, jotka vaikuttavat mitoittamiseen. Tällaisia tietoja ovat esimerkiksi käyttäajat, henkilömäärät, käyttöasteet ja laitteet. Muutoin suurin osa lähtötiedoista tulisi olla saatavilla projektin suunnitteluryhmän jäseniltä. Mikäli laitteiden lähtötiedot ovat hyvinkin epävarmat, voi jäähdytystehon mitoittamista varten olla hyvä esittää herkkyystarkastelu eri laitteista. Näin tiedetään, millä tehoilla pysytään tavoitelämpötiloissa. Jos hankkeesta on saatavilla pelkästään alustavat ikkunoiden aukotukset, tulee arkkitehdin kanssa keskustella siitä, tuleeko valmistautua suurempiin aukotuksiin ja määritetäkö aukotusten maksimikoot jäähdytystehojen mitoittamisen perusteella. Yleisesti ottaen suunnittelussa tulisi ensin huomioida passiivisten ratkaisujen tarkastelu tai suunnittelu. Näihin kuuluvat niin ikkunoiden aukotusten koot kuin myös ikkunoiden g -arvo, näkyvän valon läpäisy ja aurinkosuojausten huomiointi.

Toimistorakennuksen suunnitteluprosessi on usein täydentävä, joten mahdollisiin muutoksiin on hyvä varautua ja tarkempaa jäähdytystehon mitoittamista voi joskus olla tarpeen lykätä myöhemmäksi. Lähtötiedot ovat lähtökohtaisesti suunnittelun ja käyttötarkoituksen mukaisia. Mikäli merkittäviä yksityiskohtia ei ole suunnittelussa määritetty, tulee niistä sopia tilaajan kanssa.

Seuraavia askelia huomioidaan jäähdytystehon mitoituksen laskentamallin luonnissa:

- Mitoitettavien tilojen laskentamallin geometria voidaan luoda pohjaratkaisun tai BIM-mallin perusteella. Muuntojoustavuutta varten vaihtoehtoiset pohjaratkaisut on hyvä mallintaa omana kerroksenaan tai kerroksinaan mitoittamista varten. Esimerkiksi avotoimistovyöhykettä voi olla tarpeen eritellä toimistohuoneiksi kaikkiin ilmansuuntiin.
- Yhteistiloja, kuten aulat ja wc-tilat, voidaan yhdistää yhdeksi vyöhykkeeksi yksinkertaistaakseen mallia. Vyöhykkeitä voidaan myös jakaa, mikäli jäähdytysteho tarvitsee mitoittaa avotilan eri osille. Tilat, joissa on merkittävästi lämpökuormaa ja oma jäähdytyksensä, kuten serverihuoneet, tulee mallintaa omana vyöhykkeenään. Yliämpenevät tilat, joissa ei ole jäähdytystä ja jotka lämmittävät merkittävästi väliseiniä, tulee huomioida viereisen tilan jäähdytystehon mitoituksessa. Yleensä yliämpeneville tiloille tulisi kuitenkin ensin etsiä ratkaisu esimerkiksi passiivisin keinoin.
- Rakenteet tulee määrittää niin ulkopuolisten kuin myös sisäpuolisten rakenteiden osalta ja mieluiten niin, että ne ovat mahdollisimman yhdenmukaiset kohteen rakennetyyppien U -arvoilta ja termiseltä massiivisuudeltaan. Ulkovaipan ilmantiiveys määritellään vakiovuotoilmavirtaamana ja tavoitellun q_{50} -luvun perusteella.
- Ikkunat ja ovet tulee mallintaa suunnitellun mukaisiksi. Lasitetut välit ovet on hyvä mallintaa ikkunoina, ellei laskentaohjelmassa ole erillistä ikkunallista ovea ole. Erityistä huomiota edellyttää sekä karmien osuuden että sisäänvedon oikeinarviointi ja se, ettei ikkunan kokonais- g -arvoa käytetä lasituksen g -arvona.

1. Laskentamallin luonti

lähtötietojen perusteella

2. Jäähdytyslaitteen mallinnus

mitoittavilla lämpötila-eroilla, asetusarvolla ja ohjauksilla

3. Mitoituksen optimointi

Mitoittavien kuukausien tarkastelu



Optimoinnin luonti jäähdytystehon mitoittamiseen, tehontarve tavoitelämpötilan saavuttamiseksi



Mitoitus optimoinnilla vyöhykekohtaisesti

- Aurinkosuojauksen mahdollisuudet on selvitettävä ennen jäähdytystehon mitoitus. Suojauksen automatisoitu ohjaus huomioidaan laskentamallissa suunnitellun mukaisesti.
- Sisäisten kuormien osalta henkilömäärä mallinnetaan suunnitellun käyttäjämäärän mukaisesti. Käyttöprofiileissa voidaan huomioida normaali lounastauko, mutta muutoin tilat ovat käyttöaikana täydellä käytöllä. Valaistuksen huomioidaan käyttöaikoina olevan päällä, sillä käyttäjät voivat kokea, että työvalaistukselle on tarvetta, vaikka päivänvalo olisikin saatavilla. Valaistuksen tehoksi huomioidaan suunniteltu tai tavoitteellinen teho. Laitteiden lämpökuormina huomioidaan tilojen kalustus sekä muut käyttötarkoituksen tyyppilliset laitteet. Mikäli tiloihin on tulossa kosteuskuormaa lisääviä elementtejä, kuten viherseinä tai viherkasveja, tulee ne huomioida mallinnuksessa.
- Ympäröivien rakennusten, parvekkeiden ja muut varjostavat elementit tulee huomioida. Heijastuskertoimet on hyvä määritellä tiedossa olevien pintojen perusteella.
- Sää tiedostoksi valitaan lähtötietojen mukainen tiedosto. Tiedosto sisältää ulkoilman kuivalämpötilan, suhteellisen kosteuden, tuulen suunnan ja nopeuden sekä auringon suorasäteilyn ja hajasäteilyn.
- Ilmanvaihto mallinnetaan suunnittelun mukaisilla ilmamäärillä, käytöajoilla, ilmanvaihdon ohjauksilla, ohjauksen asetusarvoilla, tuloilman lämpötilan asetusarvolla ja lämmöntalteenotolla. Tuloilman lämpeneminen puhaltimessa ja kanavissa tulee laskea tai arvioida ja huomioida mallinnuksessa.
- Ilmanvaihtokoneen tuloilman jäähdytyspatteri voidaan mallintaa joko mitoituksen mukaisesti tai rajoittamattomalla teholla. Mikäli käytetään rajoittamatonta tehoa, se ilmoitetaan lähtötiedoissa. Mitoitustuloksiin kirjataan jäähdytyspatterin kokonaisteho sekä siihen tulevan ilman korkein lämpötila ja entalpia.
- Lämpimän käyttöveden kierron lämpökuorma tulee arvioida. Mikäli se on merkittävä, tulee se mallintaa laskentamalliin. Muut merkittävät jakeluhäviöt tiloihin tulee myös huomioida mallissa.

2. Jäähdytyslaitteen mallinnus

Jäähdyttävien huonelaitteiden osalta on seuraavia yksityiskohtia, joita tulee huomioida mallinnuksessa:

- Jäähdytysjärjestelmälle mallinnetaan sisälämpötilan asetusarvo, mahdollinen kastepisteohjaus ja muut mahdolliset ohjaukset. Ohjaukset voivat olla verkosto- tai järjestelmäkohtaisia, mikäli useampaa jäähdyttävää tai viilentävää järjestelmää käytetään samaan aikaan.
- Huonelaitteiden jäähdytystehon mitoitus on mahdollista tehdä aluksi yksinkertaisemmalla komponentilla, jossa ei määritellä laitteen fyysistä kokoa tai sijaintia, vaan ainoastaan jäähdytysteho tietyssä nesteessä ja huoneilman lämpötilaerossa sekä meno- ja paluuv veden lämpötilaerossa.

- Jäähdytyspaneelien mallinnuksessa huomioidaan tehonmitoituksen perusteella paneelin koko ja sijainti vyöhykkeeseen. Mitoituspisteen mukaiset nesteen ja huoneilman lämpötilaero sekä meno ja paluuveden lämpötilaero mallinnetaan.
- Aktiivisen jäähdytyspalkin mallinnuksessa huomioidaan vastaavat yksityiskohdat kuin jäähdytyspaneelille. Lisäksi palkin komponentille on huomioitava palkin tuloilman virtaus jäähdytystehon mitoituspisteessä ja palkin jäähdytysteho ilman tuloilman virtausta. Laitteen tehon määrittelyssä on mallinnuksessa huomioitava, onko kyse jäähdytyksen kokonaistehosta, jossa on ilman ja veden yhteenlaskettu teho, vai vesivälitteisestä jäähdytystehosta.
- Puhallinkonvektorin mallinnuksessa tulee jäähdytysteho olla määritetty tietyn nesteen ja huoneilman lämpötilaeron sekä meno- ja paluuveden lämpötilaeron mukaisesti, tyypillisesti tuoteluettelon perusteella määritetyn mukaisesti. Tuoteluettelosta on myös hyvä tarkastaa puhaltimen ja muu sähköteho, joka voidaan mallintaa lämpökuormana puhallinkonvektorille. Suuressa tai monimutkaisessa tilassa puhallinkonvektorien sijoittelulla voi olla merkitystä, jolloin tilaa voi olla tarve jakaa eri vyöhykkeisiin laitteiden tehon määrittämistä varten. Ohjaukset, kuten kastepisteohjaus, tulee myös huomioida puhallinkonvektorille, sillä kaikki ratkaisut eivät ole kondenssiviemäroityjä.
- Lattiaviilennyksen lattiapiiri mitoitetaan yleensä lämmityksen tehontarpeen perusteella. Se voidaan mitoittaa myös huomioimalla viilennyksen tarve muuttamalla esimerkiksi putkien asennustiheyttä ja asennuspinta-alaa. Lattiaviilennyksen mallinnuksessa on tärkeä arvioida välipohjaratkaisu ja lattiapiiri suunnitellun mukaiseksi. Mallinnuksessa lattiapiiri tulee mallintaa suunnittelulle asennuspinta-alalle, syvyydelle ja nesteen laskennalliselle massavirtaamalle. Lisäksi tulisi arvioida veden ja rakenteen välinen lämmönsiirtokerroin.
- Mitoituksen jälkeen eri huonelaitteiden sijoittelua voi tarvittaessa tarkastaa CFD-simuloinnein tai huonemallilla, jossa esitetään ilman kerrostumaa, jotta käyttäjien operatiivisesti lämpötilasta voidaan olla varmempia.

3. Mitoituksen optimointi

Prosessikuvauksessa käydään läpi mitoitusta aktiivisille jäähdytyspalkeille laadintaesimerkissä.

- Vyöhykkeisiin mallinnettiin yksinkertainen konvektorimalli, johon mitoitusteholle määritettiin nesteen keskimääräisen lämpötilan ja huoneilman lämpötilan eroksi 8,5 astetta ja nesteen lämpötilan nousuksi 3 astetta. Tällöin parametrit ovat samat tai hyvin vastaavia kuin jäähdytyspalkeilla.
- Jäähdytyslaitteen menoveden lämpötila ohjataan kastepisteohjauksella, jossa menoveden lämpötila on asteen korkeampi kuin oleskelutilojen korkein kastepiste, kun ohjaus antaa korkeampaa lämpötilaa kuin 15 astetta.

- Mallille, joka sisältää mitoittavan kerroksen vyöhykkeet ja jäähdytettävissä tiloissa yksinkertainen konvektorimallit, suoritetaan huonelaitteiden jäähdytystehon simulointi, jossa jäähdytyksen asetusarvo on yhtä kuin ilman tavoitelämpötila. Mitoituspäivien kuukausina huomioidaan touko-, kesä-, heinä-, elo- ja syyskuu, jotta mitoittava kuukausi saadaan eri tiloille selvitettyä. Tällä simuloinnilla saadaan asetusarvon mukainen jäähdytysteho, joka ei vastaa mitoituksen lopullista tehoa. Simuloinnin perusteella laadintaesimerkin toimiston eri tiloissa mitoituspäivät koostuvat kuukausista kesä-, heinä- ja elokuu.
- Optimointia varten luodaan laskenta, jossa huoneilman lämpötilan ja tavoitelämpötilan erosta saadaan absoluuttinen arvo, jota voidaan minimoida, kun muuttujana on jäähdytysteho.
- Mitoitettavat tilat tulee määrittää, jotta välttyään samanlaisten tilojen turhalta tehon optimoinnilta. Jos samaan ilmansuuntaan on useampia identtisiä tiloja, voidaan mitoitus tehdä kaikille tiloille haastavimman huoneen mukaan. Tällöin tulee kuitenkin huomioida, ettei jonkun tilan vieressä ole poikkeavasti yllämpenevä tila. Mikäli tilasta tulisi siirtoilmaa toiseen, tulee ensin mitoittaa vyöhyke, josta ilma siirretään toiseen. Vasta sen jälkeen tulisi mallintaa siirtoilmaa sisältävä vyöhyke mallissa, myös muut vyöhykkeet ovat mukana.
- Kustakin optimoinnilla mitoittavasta vyöhykkeestä luodaan ns. kloonattu malli. Se on simulointimalli, jossa on ainoastaan valittu tila ilman ympäröiviä vyöhykkeitä. Mikäli jokin tiloista sijaitisi merkittävästi yllämpenevän tilan vieressä, kloonattuun malliin on hyvä sisällyttää viereinen tila, josta voi syntyä lämpökuormaa viereiseen tilaan. Kloonatuille malleille suoritetaan optimointi. Esimerkiksi työhuoneen 5 optimoinnille määritettiin mitoituspäivän kuukaudeksi elokuu, jäähdytystehon muuttujalle arvoalueeksi 100–1000, resoluutiolla 100 ja 18 simulointimäärän optimointi. Työhuoneen 5 esimerkissä tulokseksi saatiin, että noin 450 W:lla minimoitu absoluuttinen lämpötilaero on 0,04 °C ja maksimilämpötila 25,04 °C, joten jäähdytystehoksi määritettiin mitoitus 460 W.
- Optimoinnilla suoritettujen tehomitoitusten perusteella voidaan tiloille valita tuotteet laitevalmistajan mitoitusohjelman, -luettelon tai verkkosivun mukaan. Aktiivisia jäähdytyspalkkeja tarkastaessa on huomioitava, että yksinkertaisen puhallinkonvektorin mallin optimoitu jäähdytysteho koostuu tarvittavasta veden jäähdytystehosta eikä palkin kokonaisjäähdytystehosta. Aktiivisen jäähdytyspalkin jäähdytystehoa määrittäessä malliin on kuitenkin huomioitava palkin tuloilman virtaus, tuloilman lämpötila palkkiin, huonelämpötilan ja nesteen lämpötilan ero sekä nesteen lämpötilan nousu. Nesteen lämpötilan nousu on riippuvainen nesteen virtauksesta ja määriteltävästä painehäviön tasosta.
- Kun laitevalinnat on tehty kaikkiin tiloihin, lopullinen tulos tavoitelämpötilan osalta on hyvä varmistaa yhdellä mallilla, joka sisältää kaikki vyöhykkeet ja mitoitetut huonelaitteet.

Sisäilmastoluokituksen 2018 mukainen olosuhdetarkastelu

Sisäilmastoluokituksen 2018 mukainen olosuhdetarkastelu on tehty laadintaesimerkille mitoitetuilla aktiivisilla jäähdytyspalkeilla. Tarkastelussa selvitetään, täyttääkö ratkaisu Sisäilmastoluokituksen 2018 S2-luokan tavoitearvot operatiivisen lämpötilan osalta jäähdytysmitoitetuissa tiloissa. Laskenta on suoritettu IDA Indoor Climate and Energy 5.1 -ohjelmistolla.

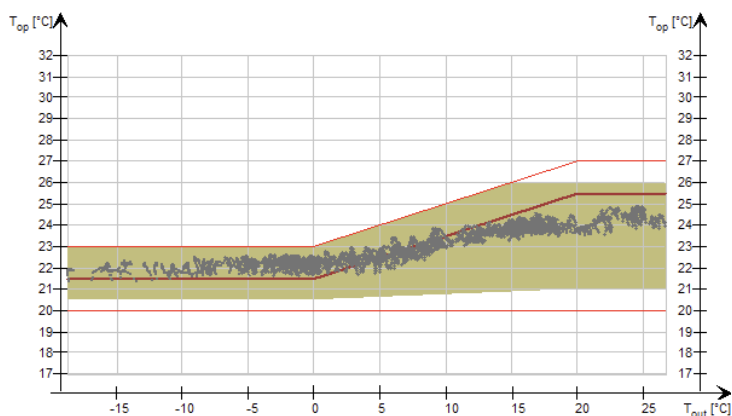
Lähtötiedot

Säätietona on huomioitu Vantaan 2018 koko vuoden toteutunut sää laadintaesimerkin paikkakunnan ja *Sisäilmaoppaassa 11* käytetyn säätiedon mukaan. Ilmanvaihdon tuloilman asetusarvoa on muokattu niin, että asetusarvo on toukokuusta syyskuuhun 16 °C ja muutoin 18 °C. Tällöin sisäänpuhalluslämpötila on vuoden simulointijakson aikana 18,9 °C:n ja 16,9 °C:n välillä. Jäähdytyksen ja IMS-ilmamäärän asetusarvolle lisättiin säädöt, joissa asetusarvoa ohjataan 24 tunnin liukuvan ulkoilman lämpötilan perusteella. Kun liukuva ulkolämpötila on yli 10 °C, jäähdytyksen asetusarvo on 23,1 °C. Kun ulkolämpötila on alle 5 °C, asetusarvo on 21,6 °C. Ilmamäärän asetusarvo on aina 0,1 °C alle jäähdytyksen asetusarvon. Lähtötiedot ovat muutoin vastaavat kuin jäähdytystehon mitoituksessa. Operatiivisen lämpötilan tarkastelupisteet on määriteltävä kalustekuvan perusteella, joissa henkilöiden työpisteet sijaitsevat noin 0,8–1,5 metrin etäisyydellä ikkunoista.

Sisäilmastoluokituksen 2018 luokan S2 laskentatulokset

Tarkastelluissa tiloissa saavutetaan pääosin Sisäilmastoluokituksen 2018 luokan S2 operatiivisen lämpötilan tavoitearvot. Työhuoneessa 5 on talvikaikana yksittäisiä enimmäisarvon ylityksiä, jotka ovat niin pieniä, ettei tehojen tai ohjauksen muutoksia katsottu tarpeelliseksi. Tarkastelussa huomioitiin jäähdytystehon mitoituksessakin käytetyt sisäiset lämpökuormat, jotka olosuhdetarkastelussa olisivat voineet olla hieman kevyemmät.

1 – Aula, Sisäilmastoluokitus 2018, S2:



Käyttöaika tunteina

Pysyvyys alueella

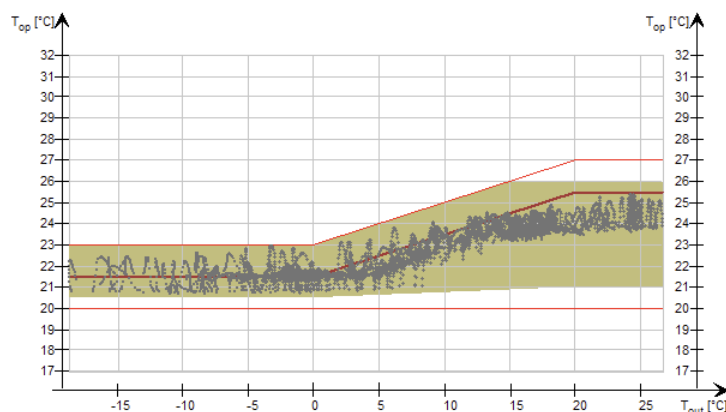
T_{op} 2 088 (100 %)

$T_{op,min} - T_{op,max}$ 2 088 (100 %)

Yhteensä 2 088

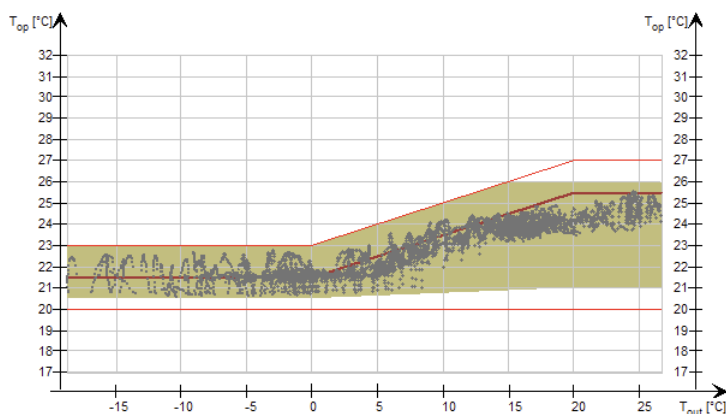
2 – Avotoimisto (6 työpistettä) Sisäilmastoluokitus 2018, S2

Käyttöaika tunteina	
Pysyvyys alueella	
T_{op}	2 610 (100 %)
$T_{op,min} - T_{op,max}$	2 610 (100 %)
Yhteensä	2 610



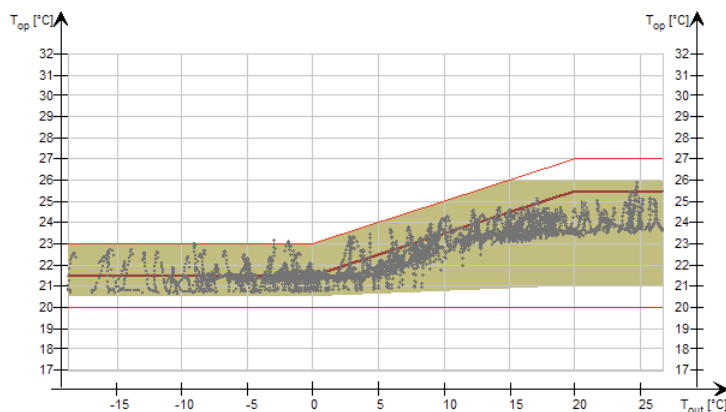
3 – Neuvotteluhuone (8 hlöä) Sisäilmastoluokitus 2018, S2

Käyttöaika tunteina	
Pysyvyys alueella	
T_{op}	2 480 (100 %)
$T_{op,min} - T_{op,max}$	2 480 (100 %)
Yhteensä	2 480



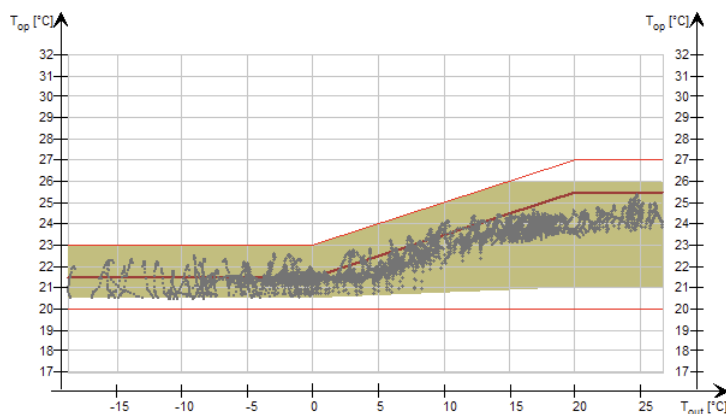
5 – Työhuone (1 työpiste) Sisäilmastoluokitus 2018, S2

Käyttöaika tunteina	
Pysyvyys alueella	
T_{op}	2 606 (100 %)
$T_{op,min} - T_{op,max}$	2 606 (100 %)
Yhteensä	2 610

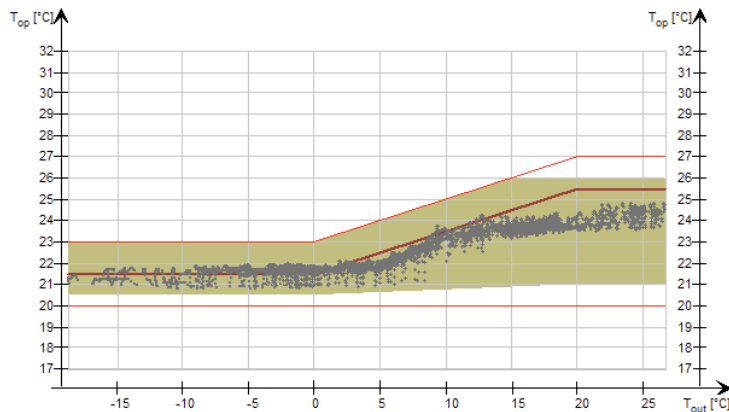


7 – Avotoimisto (18 työpistettä) Sisäilmastoluokitus 2018, S2

Käyttöaika tunteina	
Pysyvyys alueella	
T_{op}	2 608 (100 %)
$T_{op,min} - T_{op,max}$	2 610 (100 %)
Yhteensä	2 610



8 – Neuvotteluhuone (8 hlöä) Sisäilmastoluokitus 2018, S2



Käyttöaika tunteina

Pysyvyys alueella

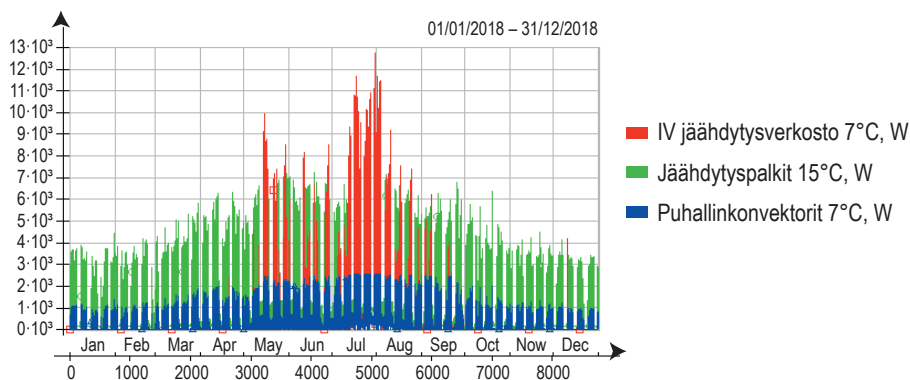
T_{op} 2 480 (100 %)

$T_{op,min} - T_{op,max}$ 2 480 (100 %)

Yhteensä 2 480

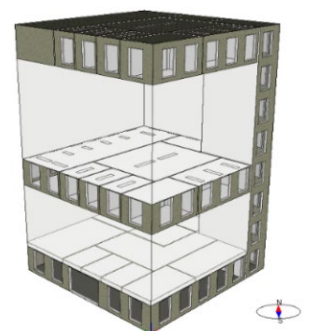
Olosuhdetarkastelun jäähdytystarve

Olosuhdetarkastelun mukaisilla ohjauksilla ja järjestelmällä jäähdytystä tarvitaan toimistokerroksessa vuoden ympäri. Alla olevassa **kuvas**sa ilmanvaihdon, jäähdytyspalkkien ja puhallinkonvektorien piirien tehot ovat jaettuina. Tarkastelussa yksittäisten piirien korkein tarvittava teho on ilmanvaihdon jäähdytyspatterille 12,7 kW, jäähdytyspalkeille 7,6 kW ja puhallinkonvektoreille 2,6 kW.



Kokonaistehontarpeen tarkastelu

Kokonaistehontarpeen tarkastelussa määritetään toimiston laadintaesimerkille mitoituspäivän samanaikainen jäähdytyksen kokonaistehontarve sekä energiantarve. Tuloksia voisi hyödyntää jäähdytysjärjestelmän tuotantoyksikön ja varaajan mitoittamiseen.



Lähtötiedot

Säätietona on käytetty Vantaan testivuoden 2020 ja 2 %-n riskitason jäähdytyksen mitoituspäiviä touko-syyskuulta. Laadintaesimerkkiä on tarkastelua varten laajennettu kuvan mukaiseksi. Ensimmäisen kerroksen aulalle ja tekniselle tilalle on määritetty sisäiset lämpökuormat ja ilmanvaihdon mitoitus. Lisäksi ensimmäisen kerroksen ikkunat ovat ilman screenkaihtimia.

Ylin kerros on varustukseltaan suurilta osin samanlainen kuin keskimäinen kerros, mutta kerroksen luoteinen osuus koostuu ilmanvaihtokonehuoneesta. Keskimmaisella kerroksella on kuusinkertainen monistus, jotta malli vastaa koko rakennusta. Monistuksella simulointi on huomattavasti kevyempi verrattuna siihen, että jokainen kerros olisi erikseen mallinnettu. Monistuksen takia mitoituspisteen mukaisen jäähdytyspatterin ilmanvaihtokone on korvattu rajoittamattoman jäähdytyspatterin ilmanvaihtokoneella, jotta jäähdytysteho riittää monistusta varten. Jäähdytysverkostojen lämpöhäviöiden on laskennassa huomioitu vastaavan 10 % tuotetusta energiasta.

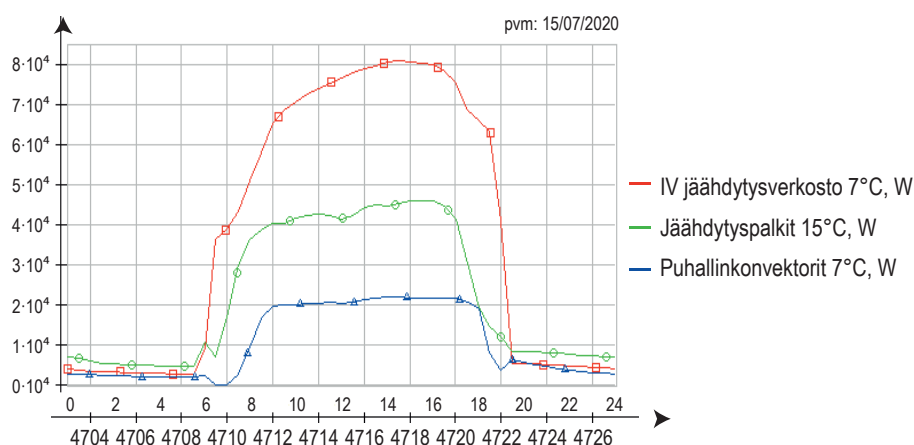
Tulokset

Tulosten perusteella suurin tehontarve jäähdytyspalkin verkostolle on toukokuussa. Muutoin heinäkuu on niin tehontarpeen kuin myös vuorokauden energiantarpeen kannalta vaativin kuukausi laadintaesimerkissä. Myös elokuu on hyvin vaativa kuukausi, mutta se on hieman kevyempi kuin heinäkuu kaikkien jäähdytyspiirien osalta. Simulointitulosten perusteella jäähdytysverkostojen tehontarve on korkeimmillaan seuraavasti: ilmanvaihdon jäähdytysverkosto 80,8 kW, puhallinkonvektorien jäähdytysverkosto 22,0 kW ja jäähdytyspalkkien verkosto 47,4 kW. Hetkellinen yhteenlaskettu jäähdytystehontarve on korkeimmillaan 148,6 kW heinäkuun mitoituspäivänä kello 15:07. Mallissa huonelaitteiden jäähdytystehon mitoituksen summa on puhallinkonvektoreilla 24,5 kW ja jäähdytyspalkkeilla 57,8 kW. **Seuraavassa kaaviossa** on heinäkuun mitoituspäivän koko vuorokauden jäähdytystarve, jonka dataa voisi yksityiskohtaisemmassa suunnittelussa hyödyntää jäähdytystuotannon ja varaajien mitoitukseen.

Muut huomiot

Mitoituspäivän jäähdytyksen energiantarve ei yksinään riitä vapaajäähdytyksen (esim. porakaivojen) riittävyyden tarkasteluun, vaan energiantarvetta tulisi tarkastella koko jäähdytyskauden tai vuoden ajalta.

Tarkastelussa on käytetty nykyilmaston 2 %:n riskitasoa, jossa korkein entalpia on 62,6 kJ/kg. Nykyilmaston 1 %:n riskitasolla entalpia on 68,9 kJ/kg ja vuoden 2050 Vantaan säätiedolla ja RCP4.5-skenaariolla sekä 1 %:n riskitasolla entalpia on korkeimmillaan peräti 73,2 kJ/kg. Mikäli entalpien nousuun halutaan varautua, vaikuttaa se merkittävästi ilmanvaihdon jäähdytyspatterin mitoitukseen. ■



Liite 3: Ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterin mitoitus

Hellepäivän aikana tuloilman lämpötila voi hetkellisesti olla korkeampi kuin asetusarvon lämpötila. Sillä ei välttämättä ole merkittävää vaikutusta jäähdyttävien huonelaitteiden mitoitukseen. Mikäli ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatteri on säätietoa vasten alimitoitettu, voi tuloilman viilentävä ja kuivaava vaikutus olla riittämätön hyvien sisäolosuhteiden ylläpitämiseen hellejaksolla.

Hankkeissa jäähdytyspatteri yleisesti mitoitetetaan tietyn entalpian ja lämpötilatason mukaan, josta on mahdollisesti sovittu tilaajan kanssa. Sisäilmastoluokituksen 2018 mukaan ilmastoinnin kesätilanteen mitoitus-

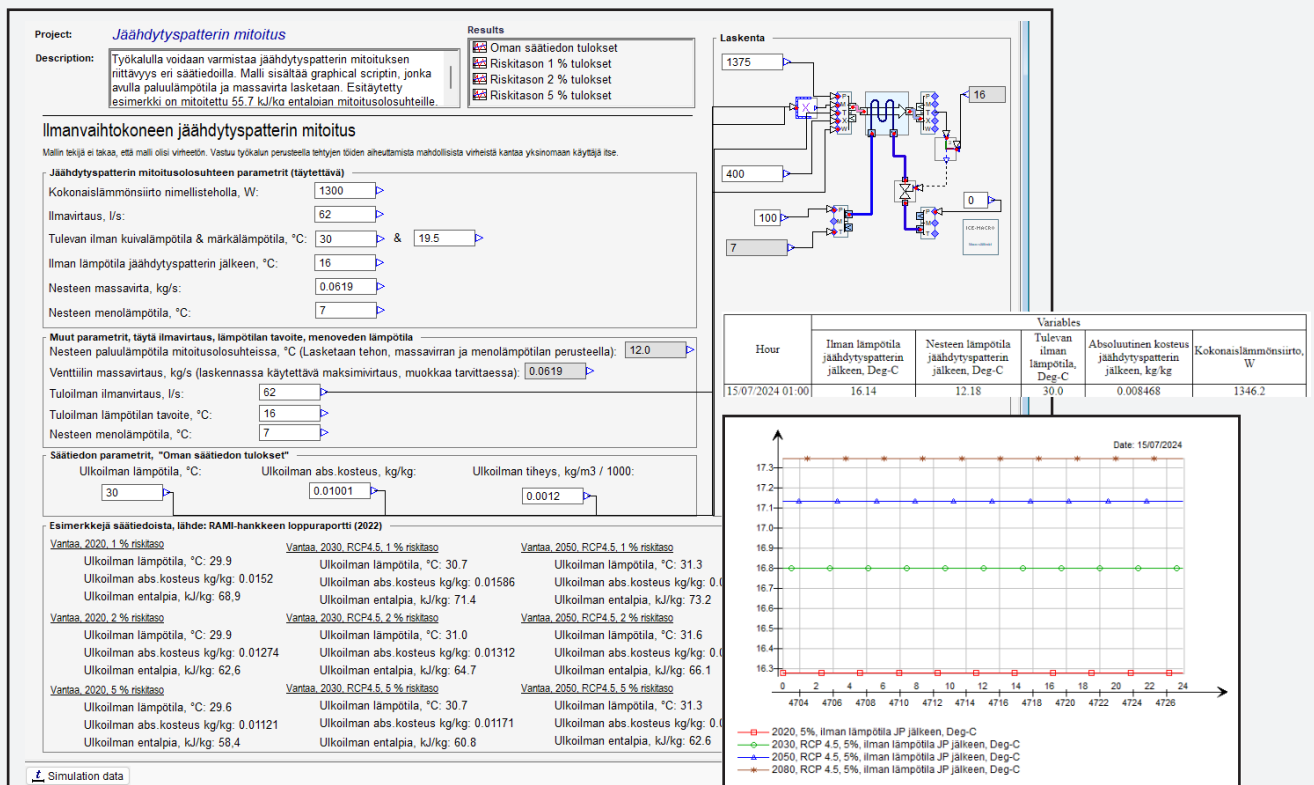
sessä käytetään arvona 57 kJ/kg (Pohjois-Suomessa 52) ja lauhduttimelle tulevan ilman lämpötilana käytetään vähintään +30 °C. Raken- tamisen mitoitusarvot (RAMI) -hank- keessa määritellyt Vantaan vuoden 2020 nykyilmaston 5 %:n riskitasolla on mitoituspäivänä maksimiulko- lämpötila 29,6 °C ja maksimiental- pia 58,4 kJ/kg. Hankkeen mukaan tulevaisuuden ilmastoskenaari- on RCP4.5 ja riskitason 5 % perusteel- la Vantaan tulevaisuuden sää- tiedoilla maksimientalpia on vuon- na 2030 60,8 kJ/kg, vuonna 2050 62,6 kJ/kg ja vuonna 2080 64,0 kJ/kg. Tulevaisuuteen varautuminen voi siis vaatia suurempaa jäähdytys-

patterin mitoitusta tai tilanvarausta kuin on aiemmin totuttu. On kuiten- kin huomioitava, että ilmanvaihto- koneen lämmöntalteenotolla voi viilentää ulkoilmaa ennen jäähdy- tyspatteria. Tällöin jäähdytystehon- tarve voi olla pienempi kuin mitä se olisi aiemmin mainituilla olosuhteilla.

Kylmän tuotannon lähde voi rajata menoveden lämpötilaa, joka myös vaikuttaa jäähdytyspatterin mitoitus- seen. Esimerkiksi vapaajäähdytyksen kohteissa menoveden lämpötila voi vuositasolla vaihdella, jolloin vaihte- lun vaikutusta tuloilman ominaisuuks- siin voi olla hyvä tarkastella.

Työkalu

Mitoitusoppaan liitteeksi on luotu IDA ICE -ohjelmistolla toimiva työkalu, jolla jäähdytyspatterin mitoituksen suorituskykyä voi verrata eri säätietoihin. Työkaluun määritetään muualla tehdyn jäähdytyspatterin mitoituksen mitoitusolosuhteet, jonka jälkeen laskentaskenaariolle voi määritellä eri parametreja. Mikäli tilaaja on asettanut, että jäähdytyspatterin tulee pystyä saavuttamaan tietty ilman lämpötila tulevaisuuden säätiedostolla, voi työkalua hyödyntää esimerkiksi tämän tarkasteluun.



Liite 4: Erityishuomiot eri rakennustyyppien tiloissa

Jäähdytystehon mitoituksessa tai sisälämpötilojen tarkastelussa on huomioitava useita eri muuttujia kohteen mukaan. Tässä liitteessä käydään läpi, mitä erityishuomioita eri rakennustyypeillä on ja joita ei välttämättä huomioda jäähdytystehon mitoituksessa. Ne ovat kuitenkin asioita, jotka voivat vaikuttaa tilojen sisälämpötiloihin.

KerrostaloHuoneistot

Asuinrakennuksissa kaikilla asukkailla on omat tottumuksensa ja tapansa, jotka vaikuttavat tilojen sisäisiin lämpö- ja kosteuskuormiin. Yksilö voi vaikuttaa ulkopuolisiin lämpökuormiin myös aurinkosuojauksella, kuten sälekaihtimilla. Niitä käyttämättä kirkaalla säällä auringonsäteily tuottaa merkittävästi enemmän lämpökuormaa. Jäähdytystehon mitoituksessa ja olosuhdetarkasteluissa onkin kohtuutonta, että kaikkien yksilöiden tottumuksia tai yllämpenemistä merkittävästi edistävää käytäntöjä. Simuloinnissa sisäiset lämpökuormat ja käytännöt tulee määritellä johonkin kohtuulliseen tasoon, joka vastaa mahdollisimman hyvin normaalin asumisen käytäntöjen kuormia, jottei jäähdytystehontarve ole järjetön.

Kun sisälämpötilat nousevat, asukas voi, ja yleisesti ottaen sopeuttaakin, käyttäytymistään ja vähentää sisäisiä lämpökuormia, esimerkiksi vähentämällä sähkölaitteiden käyttöä. Näitä kaikkia ei välttämättä simuloinnissa huomioda. On toki myös melko tavallista, että asukas ymmärtämättään lisää lämpökuormia, jolloin jo lämmin asunto lämpenee entisestään. Tästä esimerkkinä on märkätilojen mukavuuslämmityksen käyttö, vaikkei lämmitykselle olisi tarvetta.

Kylpyhuoneen ovea on hyvä pitää kiinni suihkun jälkeen, jottei kosteutta siirry muihin tiloihin. Oletuksena tällöin on, että asunnon ilmanvaihto toimii oikein ja kylpyhuoneessa ilma vaihtuu oven ollessa kiinni. Mikäli räätipatteria ei tarvita, on sen sammuttaminen suositeltavaa, mikäli mahdollista. Myös saunan käytön vähentäminen kannattaa harkita, varsinkin hellejaksolla, jos sisälämpötilat ovat jo valmiiksi lämpimät.

Kun asuntoa jäähdytetään kastepisteen ohjauksella toimivilla laitteilla, on kosteuskuormien hallinta tärkeää. Pyykkien kuivaaminen ei välttämättä ole mahdollista kaikkien asuntojen parvekkeilla.

Siksi laskennassa on hyvä huomioida pyykkien kosteuskuorma. Ihmisistä tuleva kosteuskuorma huomioidaan laskennassa asunnon suunnitellun asukasmäärän ja normaalien aktiivisuustasojen mukaan. Kosteuskuormia tulee myös kasveista, joita on hyvä huomioida laskennassa kohtuullisin määrin. Asunnoissa, joissa on merkittävästi kasveja, on myös tilojen suhteellinen kosteus korkeampi, jolloin kastepisteohjaus jäähdytysjärjestelmässäkin on mahdollisesti rajoittamassa saatavaa tehoa. Ikkunatuuletuksella voi parantaa lämpöolosuhteita sisällä, mutta ulkoilman ollessa lämmin ja kostea, voi kastepisteohjaus rajoittaa saatavaa jäähdytystehoa. Monesti ikkunoissa voi olla sensori, joka ikkunan auetessa sulkee jäähdytyksen.

Keittiössä ruuanlaiton lämpö- ja kosteuskuormat ovat olennaista huomioida laskennassa. Käytännössä kuormat vaihtelevat paljon niin asukkaiden kuin ruoanvalmistuksenkin välillä. Asuntoihin on kuitenkin huomioitava ruonlaiton mahdollisuus myös kesähelteillä, mutta esimerkiksi uunin pitkäaikaista käyttöä kannattaa rajoittaa. Ruuanlaiton yhteydessä tulee tietysti käyttää liesikupua, jotta suuri osa ruonlaiton kosteuskuormista ja käryistä ohjataan suoraan poistoilmaan.

Koneellisen ilmanvaihdon tehostusta kannattaa hyödyntää, kun tuloilma on viileämpää kuin sisäilma. Tehostusta ei kuitenkaan kannata jäähdytystehon mitoituksessa välttämättä huomioida jatkuvaksi, varsinkaan jos tuloilman lämpötilan asetusarvo on niin matala, että se voi aiheuttaa vedon tunnetta. Tehostus huomioidaan laskennassa tietysti silloin, kun liesikupua käytetään ruonlaitossa.

Asukkaan on hyvä ymmärtää, että jäähdytysjärjestelmälle on suunnittelussa huomioitu asetusarvo. Sen perusteella jäähdytysjärjestelmä on suunniteltu niin, että sisälämpötilan maksimitavoitearvo saavutetaan laskennallisissa tarkasteluissa. Mikäli asetusarvo nostetaan, voi olla, että kesähelteillä jäähdytysjärjestelmä ei kykene pitämään lämpötilaa alle tavoitearvon koko vuorokautta. Asetusarvon hetkellinen nosto voi kuitenkin olla perusteltua, esimerkiksi jos asukas kokee vedon tunnetta. Asetusarvon pidemmän ajan nosto johtaa kesähelteillä todennäköisesti tavoitearvon ylitykseen.

Asukkaalle on hyvä esittää, millä tavalla aurinkosuojaus on suunnittelussa huomioitu. Mikäli aurinkosuojaus on automatiikalla ohjautuva, voi sen toiminnasta antaa kuvauksen. Jos aurinkosuojaus hoituu käsin, esimerkiksi sälekaihtimilla, on suunnittelussa huomioitu käyttö hyvä kuvata asukkaalle. Tyypillisesti sälekaihtimet huomioidaan laskennassa siten, että sälekaihtimet ovat alhaalla 45 asteen kulmassa auringon paistaessa ikkunaan. Tällöin päivänvaloa saadaan edelleen asuntoon, mutta suorasäteilyä rajoitetaan.

Asukkaan on hyvä ymmärtää, että tavoitelämpötiloja ei saavuteta, mikäli aurinkosuojausta ei käytetä.

Makuuhuoneiden väliovet voi olla hyvä pitää auki päivisin, jos asunnossa ei ole huonekohtaista jäähdytystä. Näin esimerkiksi olohuoneen jäähdytyslaite pystyy vaikuttamaan myös makuuhuoneiden lämpötilaan. Jos makuuhuoneen ovi on kiinni päivän ajan, jolloin huoneessa työskennellään tietokoneen ja näyttöjen lämpökuormien kera, nousee huoneen lämpötila kesähelteellä todennäköisesti yli tavoitteen.

Kerrostalo- ja huoneistoissa on usein lasitetut parvekkeet, jotka lämpenevät merkittävästi jo keväällä. Parvekelasitusta on hyvä pitää auki, mikäli parvekkeen lämpötilaa ja sen tuomaa lämpökuormaa halutaan rajoittaa. Simuloinnin perusteella ei-jäähdytetyn asunnon keskimääräinen vuorokauden lämpötila voi nousta jopa asteella, mikäli parvekelasitus jätetään kiinni kesällä viikonlopun ajaksi. Kun asuntoa lämmitetään ilmalämpöpumpulla, jonka ulkoyksikkö sijaitsee lasitetulla parvekkeella, tulee lasituksen olla auki, kun lämpöpumppua käytetään jäähdytykseen.

Uusien rakennusten suunnittelussa on toivottavaa, ettei porrashuone lämpenisi haitallisesti kesähelteillä. Ylilämmennyt porrashuone tuo lämpökuormaa myös asuntoihin, mikä siten vaikuttaa jäähdytystehontarpeeseen. Jos kyseessä on olemassa oleva kohde, kannattaa aurinkosuojauksen keinoja harkita ylilämpenevän porrashuoneen ikkunoille.

Kerrostalojen sisälämpötiloista voi lukea lisää Taltekan verkkosivuilta Equa Simulation Finland Oy:n oppaasta **Kerrostalon kesäajan sisälämpötilaopas parannustoimenpiteineen***. Oppaassa esitellään ei-jäähdytetyille parannustoimenpiteitä 1990- ja 2010-luvulla rakennetuille esimerkkirakennuksille ja toimenpiteiden vaikutusta lämpötiloihin.

Toimistorakennus

Toimistorakennuksen työhuoneet ja neuvottelu- ja kokoushuoneet ovat pääsääntöisesti jäähdytettyjä. Jäähdytyksen huonelaiteiden mitoituksella on vaikutusta investointikustannuksiin, jolloin ylimitoitusta välttämällä voi isossa kohteessa säästää merkittävästi. Toimistotilat ovat nykyään usein muuntojoustavia. Tällöin eri tilaratkaisuiden jäähdytystehontarvetta tulee tarkastella, jotta jäähdytysjärjestelmillä varaudutaan suuremman jäähdytystarpeen ratkaisuihin. Kuten muissakin rakennustyypeissä, myös toimistoissa

* https://talteka.fi/wp-content/uploads/2022/07/kerrostalon_sisalampotilaopas.pdf

tulee ennen jäähdytystehon mitoitusta huomioida aurinkosuojauksen mahdollisuudet, jotta tehontarpeet ja tuleva energiankulutus on kohtuullisempaa.

Toimistorakennuksissa on usein ympärivuotista jäähdytyksen tarvetta. Tarve voi tulla esimerkiksi serverihuoneista, joita varten lämpökuorma tulee arvioida jäähdytysjärjestelmän mitoitusta varten. Myös muita erikoistiloja voi sijaita toimistossa, esimerkiksi suuremmissa kopiohuoneissa laitteista kertyy merkittävästi lämpökuormaa. Toimistorakennusten käyttöaikataulut ovat myös hyvin vaihtelevia toiminnan mukaan. Joissakin toimistoissa voi olla vuorotoimintaa, jolloin käyttöajan poikkeama normaaleista toimistotunneista tulee huomioida laskennassa.

Niin työ- kuin neuvotteluhuoneissakin lämpökuormat koostuvat ihmisistä, laitteista ja valaistuksesta. Kuormille tulee huomioida jäähdytystehon mitoitusta varten suunnittelut ja mahdolliset lämpökuormat sekä käyttöaikataulut. Varsinkin neuvotteluhuoneissa laitteiden lämpökuorman aliarviointi voi johtaa alimitoitukseen. Televisionäytön ja usean kannettavan tietokoneen lämpökuormat voivat olla niin merkittävät, että rakennuksen sisällä sijaitsevan neuvotteluhuoneen jäähdytystehontarve on korkeimmillaan lämmityskaudella, jolloin tilassa on matalampi sisälämpötilan tavoitearvo.

Myös viherseiniä näkyy toimistoissa. Viherseinät lisäävät viihtyvyyttä, varsinkin talvisin, lisäämällä kosteutta ilmaan. Mikäli jäähdytysjärjestelmä on kastepisteohjattu, tulee viherseinän kosteuskuorma huomioida jäähdytystehon mitoituksessa.

Mikäli rakennuksessa on tiloja, jotka eivät ole jäähdytettyjä ja jotka voivat yllämmetä, tulee niiden lämpökuorma huomioida jäähdytettyn tilan jäähdytysmitoituksessa. Lähtökohtaisesti tiloja, esimerkiksi porrashuoneita, tulee suunnitella niin, etteivät ne kesälläkään lämpene liikaa. Mikäli hankkeessa on mahdollisesti yllämpenevä tila, kannattaa sen sisälämpötilaa tarkastella ja ensi sijassa harkita aurinkosuojauksia.

Hotellihuoneet

Hotellihuoneiden käyttöaikatauluja voi olla vaikea arvioida. Tyypillinen asiakas viettää huoneessa todennäköisesti ainoastaan aamun ja illan, mutta on mahdollista, että huoneessa vietetään koko päivä. Olosuhdesimuloinnissa voidaan huomioida huoneiden vähäisempi käyttö päivällä. Jäähdytysmitoituksen skenaariossa on kuitenkin suositeltavaa käyttää kohtalaista käyttöastetta, jossa huone on myös päivällä käytössä.

Asiakkaalla tulee olla mahdollisuus myös nostaa jäähdytyksen asetusarvoa. Kesäaikaan, kun asiakas on huoneessa kevyellä vaatetuksella tai nukkuu ilman peittoa, voidaan matala asetusarvo ja ilman lämpötila, kuten 21 tai 22 °C, kokea hyvinkin epämiellyttävänä. Mitoituksessa kannattaakin harkita pienempää lämpötilaeroa asetusarvolle ja tavoitelämpötilalle. Mitoituksessa lämpötilaero voisi olla korkeintaan yhden asteen, jotta asiakas ei käytännössä huomaisi pientä muutosta sisälämpötilassa ja mitoitus olisi edelleen maltillinen.

Hotellihuoneen tyyppitilan oikea mitoitus on hyvin tärkeää, sillä samaa jäähdytyslaitetta monistetaan useaan tilaan. Mikäli jokin tila eroaa tyyppitilasta, vaikka hieman suuremmalla ikkunalla, tulee tilan jäähdytystehontarve laskea erikseen.

Myös hotellihuoneille tulee harkita aurinkosuojauksen mahdollisuuksia. Automatisoiduilla aurinkosuojaratkaisuilla voidaan merkittävästi rajoittaa aamulla ja päivällä tulevaa lämpökuormaa, jolloin asiakas ei välttämättä ole lainkaan tilassa.

Parvellisia ja korkeampia tiloja kannattaa tarkastella laskentamallilla, jossa huomioidaan lämpötilan kerrostuma. CFD-simulointi voi olla hyvä teettää, jotta varmistutaan monimutkaisen tilan toimivuudesta.

Ryhmätilat ja luokkahuoneet

Ryhmätiloissa ja luokkahuoneissa voi olla paljonkin ihmisiä suhteessa huoneen pinta-alaan. Siksi ihmismäärän, aktiivisuuden ja käyttöaikojen oikeinmäärittely on hyvin tärkeää laskentaa varten. Mikäli käyttöajat ja tyypilliset tauot eivät ole tiedossa, on niitä hyvä tiedustella tulevalta käyttäjältä. Ihmisistä muodostuu kosteutta tilaan. Kun myös ulkoilma on kostea ja tuloilma on jäähdyttämättöä, voi sisäänpuhallettava ilma olla hyvinkin kostea. Näin on usein elo- sekä syyskuussa, jolloin sisätilojen suhteellinen kosteus voi nousta epämiellyttäväksi.

Myös laitteista voi kertyä tiloihin merkittävää lämpökuormaa. Mikäli laitteet eivät ole suunnitteluryhmän tiedossa, on niitä hyvä tiedustella käyttäjältä.

Hellejaksoja esiintyy nykyään myös lukukauden aikana, joten hellepäivien säätietoja tulee huomioida myös opetusrakennuksien jäähdytystehon mitoituksissa ja olosuhdetarkasteluissa. Ylilämpenemistä varten tulee ensi sijassa selvittää aurinkosuojauk-

sen mahdollisuudet. Liiallisen sisäilman kosteuden estämiseksi voi hankkeessa olla tarve tuloilman jäähdytyksen suunnittelulle, jotta ulkoilmaa kuivataan ennen sisäänpuhallusta. Mikäli tuloilman jäähdytys ei riitä viilentävänä ratkaisuna sisälämpötilojen hallintaan, voi olla tarve jäähdyttävälle huonelaitteille.

Ravintolasalit

Ravintolasalit, joissa on suuret ikkunapinta-alat, voivat olla hyvinkin haastavia lämpöviihtyvyyden osalta, varsinkin lounasravintoloissa. Suurilla lämpökuormilla jäähdytyksen tarve on taattu, mutta vaikka saavutettaisiin kohtuullinen ilman lämpötila, voi auringon suorasäteily tuntua edelleen epämiellyttävänä. Tarvittaessa auringsäteily voidaan sisällyttää operatiivisen lämpötilan laskentaan, vaikkei se normaalisti kuulu yhtälöön. Sillä voi hyvin osoittaa kyseisen ongelmatilanteen. Suurille ikkunapinnoille kannattaa harkita aurinkosuojausta, varsinkin automaattisella ohjauksella olevaa, jotta jäähdytystehon ja energiantarvetta rajoitetaan ja lämpöviihtyvyyttä parannetaan.

Salin jäähdytystehon mitoituksessa ihmisten lämpökuormien käyttöaika tulee huomioida ravintolan ruokatarjoilun mukaan. Mikäli käyttöasteessa on merkittävästi vaihtelua kiireisempien päivien aikana, on mahdollinen vaihtelu hyvä huomioida mitoituksessa.

Auditoriot

Yleensä pelkkien ihmisten lämpökuorma voidaan kattaa tuloilman viilennyksellä, mutta eri kokoisille saleille on kuitenkin hyvä tehdä jäähdytystehontarpeen tarkastelu. Pienemmissä tiloissa laitteiden lämpökuorma korostuu ihmisten lämpökuormaan nähden, jolloin huonelaitteille voi tietyissä tapauksissa olla tarve. Korkeisiin tiloihin suositellaan tekemään tarkastelut laskentamallissa, jossa tilan lämpötilan kerrostuma huomioidaan. Kerrostuman laskennasta nähdään, pysykö lämpötilataso tavoitteessa myös tilan korkeammassa osassa.

Museot

Museoissa tilaaja voi määrittää hyvinkin tarkat raja-arvot sisäilmalle niin lämpötilan kuin kosteudenkin osalta. Tällöin ilmanvaihtokoneen suunnittelu voi olla vaativampaa, varsinkin jos esimerkiksi tuloilmaa ensin lämmitetään, sitten kuivataan jäähdyttämällä tai kostutetaan ja lopuksi vielä tarvittaessa lämmitetään toiseen kertaan tarvittavan sisäänpuhalluslämpötilan ominaisuuksien saavuttamiseksi. ■

Liite 5: Lähtötietojen taulukot jäähdytystehon mitoitukseen

Liitteessä on *Jäähdytystehon mitoitusoppaan* laadintaesimerkeissä käytettyjä lähtötietojen taulukoita, joita saa vapaasti hyödyntää ja muokata. Laadintaesimerkkien taulukot sisältöineen on luotu vain laadintaesimerkkejä varten, eikä niiden ole tarkoitus olla ilman muokkausta päteviä muihin hankkeeseen.

Lähtötiedot

Rakennuksen tiedot

Rakennuskohde	
Osoite	
Käyttötarkoitusluokka	
Suunnitteluvaihe	

Rakennuksen ympäristö

Kuvaus:

Säätieto

Kuvaus:

Mitoitettavat tilat

Vyöhyke	Lattiapinta-ala, m ²	Kerros	Ikkunoiden ilmansuuntaus

Mallin geometria *(kuvakaappaus mallinnuksen geometriasta)*

Rakenteet ja ilmanpitävyys

Kuvaus:

Ikkunat ja auringonsuojaus

Kuvaus ikkunoista ja aurinkosuojuksesta ja mahdollisista ohjauksista:

Ikkunat	Ala	Lasitus g -arvo ¹	T_e ²	T_{vis} ³	Lasitus U -arvo	Umpi- osan osuus ⁴	Umpi- osan U -arvo	Ikk. kok. U -arvo ⁵	Sisään- vedon syvyys	Aurinko- suojaus
Ilman- suunta	m ²	%	%	%	W/m ² ·K	0...1	W/m ² ·K	W/m ² ·K	m	

¹ g_g -arvo, eli auringon lämpösäteilyn kokonaisläpäisykerroin ikkunan lasirakenteen läpi, mukaan lukien lasiin absorboituneesta energiasta tilaan sisään tuleva osuus.

² Suorana säteilyinä lasin läpi menevän auringonsäteilyn osuus. Tunnetaan myös merkinnällä T_{sol} tai ST.

³ Lasin läpi menevän näkyvän valosäteilyn osuus. Tunnetaan myös merkinnällä $\tau_{visible}$ tai LT.

⁴ Umpiosan osuus on karmin osuus koko ikkunan pinta-alasta. Ikkunan koko pinta-ala koostuu lasirakenteesta ja karmirakenteesta.

⁵ U_w -arvo, eli ikkunan kokonais- U -arvo (W/(m²·K)), jossa huomioitu lasitus ja umpiosat.

Sisäiset kuormat

Henkilöt

Vyöhyke	Henkilömäärä, käyttöasteet, käyttöaikataulut ja aktiivisuus (MET)

Valaistus

Vyöhyke	Lämpökuorma, käyttöasteet ja käyttöaikataulut

Laitteet ja muut sisäiset kuormat

Vyöhyke	Kuorman lähde, lämpökuorma / kosteuskuorma, käyttöasteet ja käyttöaikataulut

Talotekniikka

Ilmanvaihto

Kuvaus mitoituksessa huomioitavasta ilmanvaihdon järjestelmästä, esim. IV:n jäähdytyspatterin mitoitus:

.....

Ilmanvaihtojärjestelmä								
IV-kone	Järjestelmä	Ohjaus	Tuloilma		Poistoilma		Sisäänpuh. lämpötila	η_{LTO}
			min.	maks.	min.	maks.	min.	
			l/s	l/s	l/s	l/s	°C	

Järjestelmähäviöt

Kuvaus:

Jäähdytysjärjestelmät, asetus- ja tavoitearvot

Kuvaus mitoitettavien vyöhykkeiden jäähdytyksestä ja jäähdytyksen ohjauksesta (esim. kastepisteohjaus):

.....

Jäähdytysjärjestelmä	Verkoston Meno- / Paluulämpötila °C

Asetusarvot ja tavoitearvot			
Vyöhyke	Jäähdytyksen asetusarvo	Ilman lämpötilan tavoitearvo	Ilman suhteellisen kosteuden tavoitearvo
	°C	°C	%

Tämän oppaan ohjeistuksella ja laskennallisten tarkastelujen laadintaesimerkeillä halutaan selkeyttää jäähdytystehon mitoituksen menettelyyn sisältyviä lähtötietoja, mallinnusta ja asetus- sekä tavoitearvojen mahdollisuuksia. Menettelyä noudattamalla rakennushankkeille voidaan määrittää selkeä ja tarkka mitoituksen tavoitetaso, jotta tiedetään, millä mitoitusolosuhteilla saavutetaan tavoitelämpötilat mitoitetulla jäähdytysteholla. Opas ei kuitenkaan ole mikään standardi, jonka perusteella tietyt mitoituksen lähtötiedot määritellään. Opas ei siis määritä jäähdytystehon mitoitus- tavoitetasoa, vaan se määrittyy hankekohtaisesti käytettävillä lähtötiedoilla. Tilaaja voi käyttää tätä opasta lähteenä, kun vaatimuksena on, että suunnittelija tuntee oppaan sisällön ja pystyy mitoittamaan huonelaitteiden jäähdytystehot oppaan laadintaesimerkkien tarkkuustasolla tai hankkeessa erikseen määritetyllä tavalla.

