



Hannu Onkamo

Päivittyneiden mitoitusperusteiden vaikutus asuinkerrostalojen jäähdytysratkaisuihin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

03.11.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Hannu Onkamo
Otsikko:	Päivittyneiden mitoitusperusteiden vaikutus asuinkerrostalojen jäähdytysratkaisuihin
Sivumäärä:	51 sivua + 3 liitettä
Aika:	03.11.2023
Tutkinto:	Insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma:	Talotekniikka
Ammatillinen pääaine:	LVI-tekniikka
Ohjaajat:	Yliopettaja Aki Valkeapää Kehityspäällikkö Ossi Kaihua

Insinööriyö käsittelee asuinkerrostalojen kesäajan lämpöolosuhteiden hallintaa, joka hankaloituu ilmaston muuttuessa tulevaisuudessa. Sisäolosuhteiden hallitsemiseksi arkkitehtonisten passiivisten rakenneratkaisujen lisäksi korostuu tarve koneellisille viilennys- ja jäähdytysratkaisuille. Toistaiseksi rakennuksille ei ole määritetty virallisia jäähdytystehon mitoitusäätiä ja huonelämpötilojen määräysten mukaisuus on tullut osoittaa keskimääräisiä sääoloja kuvaavalla energialaskennan TRY-testivuodella.

Työssä tutkittiin, miten keväällä 2022 Rakentamisen mitoitusäätiä (RAMI) -hankkeessa määritetyt uudet mitoitusäätiä vaikuttavat asuinkerrostalojen jäähdytysratkaisujen mitoitukseen. Työssä käsiteltiin jäähdytyksen mitoitusta simulointien avulla ja huonelaitteiden vertailua. Tavoitteena oli laatia aineisto asuinkerrostalojen jäähdytyksen mitoituksesta ja esittää kustannustehokkaimmat jäähdytyksen huonelaitteet.

Työssä on kuvattu asuinrakennusten sisäolosuhteisiin liittyviä määräyksiä, ohjeita ja erilaisia jäähdytysratkaisuja. Asuinkerrostalon case-kohteen sisäolosuhteiden määräysten mukaisuutta ja jäähdytystehontarpeita tarkasteltiin uusilla mitoitusäätiä tiedoilla dynaamisen laskentatyökalun (IDA ICE) avulla simuloimalla. Jäähdytysratkaisujen huonelaitteita vertailtiin jäähdytystehojen ja kustannusten kannalta.

Asuinkerrostalon olosuhdesimuloinneista saatujen tulosten perusteella todettiin, että uusilla mitoitusäätiä kesäajan sisäolosuhteiden vaatimuksen mukaisuuden saavuttaminen muuttuu vaikeammaksi tulevaisuudessa, koska tavallisilla passiivisilla rakenneratkaisuilla ja ilmanvaihdon tehostuksilla kesäajan astetunteja ei mahdollisesti saada täyttämään määräyksiä. Uudiskerrostalossa tämä voi johtaa vähintään koneellisen tuloilman viilennyksen toteuttamiseen, jotta määräykset saadaan täytettyä.

Insinööriyön tuloksena laadittiin aineisto asuinkerrostalon jäähdytyksen mitoituksesta uusilla mitoitusäätiä ja aineistoa voidaan hyödyntää tulevien hankkeiden suunnittelussa. Jäähdytysratkaisujen huonelaitteiden vertailussa kustannustehokkaimmaksi ratkaisuksi osoittautui lattiaviilennys, kun lattialämmityksen kanssa hyödynnetään yhteistä tekniikkaa ja putkiverkostoja. Patterilämmityksellä varustettavissa asunnoissa kustannustehokkaimmaksi jäähdytysratkaisuksi osoittautui puhallinkonvektori.

Avainsanat: asuinkerrostalo, jäähdytys, viilennys, mitoitusäätiä, olosuhdesimulointi

Abstract

Author: Hannu Onkamo
Title: Impact of Updated Dimensioning Criteria on Cooling Solutions for Residential Buildings
Number of Pages: 51 pages + 3 appendices
Date: 3rd of November 2023

Degree: Master of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: HVAC Engineering
Supervisors: Aki Valkeapää, Principal Lecturer
Ossi Kaihua, Business Development Manager

The thesis looked at the management of summertime indoor thermal conditions in apartment buildings, a task that will become more difficult as the climate changes. The goal was to establish how the recently determined new climatic design days affect the design of cooling for apartment buildings. Furthermore, the dimensioning of cooling was studied through simulations and by comparing various cooling solutions. The goal was to compile an information package on the dimensioning of cooling, and to present cost-effective cooling solutions for apartments.

Regulations and guidelines related to indoor conditions for residential buildings and various cooling solutions were studied. The compliance of indoor conditions with the regulations and the demand for cooling power were simulated with IDA ICE, by using the new climatic design days. The cooling power and costs of cooling solutions were compared.

Based on the simulation results, it was concluded that it will be more difficult to meet the requirements of summertime indoor conditions with the new climatic design days as common passive structures and increased ventilation may not be enough. To meet the regulations in new apartment buildings, mechanical cooling, at least in form of cooled supply air, may be required.

The comparison of cooling solutions showed floor cooling as the most cost-effective solution when using the same plumbing with floor heating. In apartments with radiator heating, fan coil unit was the most cost-effective cooling solution.

The thesis resulted in an information material on dimensioning cooling for apartment buildings. The material can be utilized for designing future projects.

Keywords: apartment building, cooling, weather data, indoor climate simulation

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	1
1.2	Tavoitteet ja tutkimusmenetelmät	1
1.3	Rajaus	2
2	Asuinrakennusten jäähdytystarve	3
2.1	Sisälämpötilan tavoitearvot ja tulevaisuuden haasteet	4
2.2	Lainsäädäntö, ohjeet ja asemakaavan määritykset	6
3	Asuinrakennusten jäähdytysratkaisut	8
3.1	Passiiviset rakenneratkaisut	10
3.2	Vedenjäähdytyskone	10
3.3	Kaukojäähdytys tai jäähdytys kaukolämmön CHC-lämpöpumpulla	12
3.4	Lämpöpumput	14
3.4.1	Maalämpöpumppu	14
3.4.2	Vesi-ilmalämpöpumppu	15
3.4.3	Ilmalämpöpumppu	16
3.5	Huonelaitteet	17
3.5.1	Tuloilman viilennys tuloilman päätelaitteilla	17
3.5.2	Lattiaviilennys	18
3.5.3	Puhallinkonvektorit	19
3.5.4	Jäähdytyspalkit ja kattosäteilijät	20
4	Asuinkerrostalon olosuhdesimulointi	22
4.1	Päivitetyt mitoitusperusteet jäähdytystehontarpeelle	22
4.2	Jäähdytystehontarpeen ja kesäajan sisäolosuhteiden mitoitus	24
4.3	Simuloitava kohderakennus	25
4.4	Rakennuksen mallin laadinta IDA ICE -simulointiohjelmistolla	26
4.4.1	Rakenteet, vyöhykkeet ja varjostukset	28
4.4.2	Sisäiset lämpökuormat	31
4.4.3	Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät	32
4.4.4	Ilmanvaihtokoneet	32

5	Olosuhdesimuloinnin tulosten tarkastelu	33
5.1	Rakennuksen kesäajan lämpöolosuhteet	33
5.2	Passiivisten varjostavien rakenteiden vaikutus	34
5.3	Yötuuletus	35
5.4	Ilmanvaihdon tehostus	36
5.5	Tuloilman viilennys	37
5.6	Lattiaviilennys	38
5.7	Jäähdytys puhallinkonvektorilla	39
5.8	Jäähdytyspalkit ja kattosäteilijät	40
6	Jäähdytysratkaisujen huonelaitteiden vertailu	42
6.1	Jäähdytystehot	45
6.2	Investointi- ja huoltokustannukset	47
6.3	Vertailun päätelmät	48
7	Yhteenveto	50
	Lähteet	52
	Liitteet	
	Liite 1: Puhallinkonvektorin mitoitus tiedot	
	Liite 2: Jäähdytyspalkin mitoitus tiedot	
	Liite 3: Kattosäteilijän mitoitus tiedot	

Lyhenteet ja käsitteet

Viilennys: Jäähdytystä pienitehoisempi järjestelmä, jolla sisäilman lämpötilan nousua rajoitetaan ja mahdollisesti poistetaan sisäilmasta kosteutta.

Jäähdytys: Viilennystä tehokkaampi järjestelmä, jossa huonelaitteilla sisäilman lämpötila saadaan pidettyä haluttuna lähes kaikissa olosuhteissa.

Ilmastointi: Sisäilman lämpötilan, kosteuden ja puhtauden hallintaa. Ilmanvaihto on eri asia, jossa sisäilman laatua hallitaan ilmaa vaihtamalla.

Testivuosi: Lämmitys- ja jäähdytysenergiankulutuksen laskennassa käytettävä säätiedosto, joka sisältää testivuoden ulkoilman lämpötila-arvot ja auringon säteilytehot tuntia kohden, esimerkiksi testivuosi TRY2012.

Astetunti: Lämpötilan ja ajan tulo. Esimerkiksi kahden asteen ylitys viiden tunnin aikana on yhtä kuin 10 astetuntia (°Ch).

g-arvo: Ikkunan auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin. Esimerkiksi g-arvolla 0,3 ikkuna päästää 30 % ikkunaan osuneesta säteilystä tilaan.

Entalpia: Ilman kokonaislämpösisältö kJ/kg, sisältäen myös kosteuden.

Lämpötase: Tilaan tulevien, siellä muodostuvien ja sieltä poistuvien lämpövirtojen kokonaisuus, joka ratkaistaan dynaamisella laskentatyökalulla.

Lämpökuorma: Aiheutuu tilassa auringosta, valaisimista, laitteista ja ihmisistä.

Dynaaminen laskentatyökalu: Työkalu, jonka lämmönsiirron laskenta huomioi rakenteiden lämmönvarausominaisuudet ajasta riippuvaisena.

Operatiivinen lämpötila: Huoneilman lämpötilan ja huoneen pintojen säteilylämpötilojen keskiarvo, joka kuvaa huoneilman lämpötilasta poikkeavien pintalämpötilojen vaikutusta ihmisen lämmöntunteeseen.

1 Johdanto

1.1 Tausta

Insinööriyön tilaaja on Ramboll Finland Oy, joka toimii rakentamisen johdon ja suunnittelun konsulttina kiinteistöt ja rakentaminen -toimialalla. Työ laaditaan yrityksen suunnittelijoiden ja projektipäälliköiden tueksi asuinkerrostalojen jäähdytyksen suunnittelua varten.

Insinööriyön tarve on ilmaantunut kesälämpötilojen aiheuttamista olosuhdeongelmista asuinrakennuksissa ja tulevaisuuden ilmaston lämpenemisestä, joka asettaa lisähaasteita suunnittelulle. Haasteita on ilmaantunut lämpökuormien arvioinnissa, jäähdytyksen mitoitusperusteissa ja huonelaitteiden valinnoissa. Sisäolosuhteiden hallitsemiseksi asuinrakennuksissa korostuu tarve koneellisille jäähdytysratkaisuille arkkitehtonisten passiivisien rakenneratkaisujen lisäksi.

1.2 Tavoitteet ja tutkimusmenetelmät

Tavoitteena on tutkia, miten keväällä 2022 Rakentamisen mitoitusääät (RAMI) -hankkeessa määritetyt uudet ilmastolliset mitoituspäivät vaikuttavat asuinkerrostalojen jäähdytysratkaisujen mitoitukseen. Työssä esitetään jäähdytystehontarpeen mitoitusta dynaamisen laskentatyökalun (IDA ICE) avulla simuloimalla ja huonelaitteiden vertailua. Työn tuloksena laaditaan aineisto jäähdytyksen mitoituksesta ja esitetään kustannustehokkaimmat jäähdytyksen huonelaitteet.

Jäähdytyksen mitoitusaineisto esitetään asuinkerrostalojen olosuhdesimuloinnin osiossa. Aineiston tarkoituksena on selkeyttää jäähdytyksen mitoitusta vaiheittain kuvien avulla. Visuaalinen aineisto laaditaan hyödynnettäväksi rakennuksen jäähdytystehontarpeen simulointia ja mitoitusta varten.

Työssä yhdistetään empiiristä ja teoreettista tutkimusta. Empiirinen tutkimusosa koostuu yrityksen suunnittelutyössä ilmenneestä kehitystarpeesta: miten lämpökuormat huomioidaan jäähdytysratkaisuja mitoittaessa ja miten valitaan kustannustehokkaat jäähdytyksen huonelaitteet kohteeseen. Teoreettinen tutkimusosa koostuu asuinrakennusten sisäolosuhteisiin ja jäähdytysjärjestelmiin liittyvän aiheiston lisäksi lainsäädännöstä ja ohjeista.

Empiiriseen tutkimusosaan sisällytetään valmistunut asuinkerrostalon case-kohte, jonka LVIA-suunnittelusta on vastannut työn tilaaja. Kohderakennusta hyödynnetään olosuhdesimulaatioiden laadinnassa ja jäähdytysratkaisujen vertailussa. Valmistuneen asuinkerrostalon jäähdytysratkaisuja tarkastellaan uusien mitoitusperusteiden näkökulmasta ja sen kannalta, että täyttyvätkö vaatimukset nykyisessä tai tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa.

1.3 Rajaus

Työ rajataan asuinkerrostaloihin sopivien jäähdytysratkaisujen huonelaitteiden vertailuun jäähdytystehon ja kustannusten näkökulmasta. Kustannuksia vertailaan pelkästään asunnon LVI-tekniikan kesken, joten rakennuksen vedenjäähdytyslaitteiston, runkoputkistojen, rakenteiden, sähköjärjestelmien ja rakennusautomaation kustannuksia ei huomioida. Jäähdytyksen huonelaitteiden vertailu esitetään asuinkerrostalon case-kohteen olosuhdemitoituksen pohjalta. Työssä ei käsitellä jäähdytysjärjestelmien ja rakennusautomaation tarkempaa toimintaa.

2 Asuinrakennusten jäähdytystarve

Asuinrakennuksissa kesäajan jäähdytyksen tarve kasvaa ilmaston lämpenemisen ja rakennusten energiatehokkuuden paranemisen seurauksena. Tiiviimmät rakenteet ja parantunut eristystaso ovat johtaneet pienentyneisiin lämpöhäviöihin, jolloin rakennuksen sisäiset lämpökuormat ja auringon lämpökuorma nostavat rakennuksen sisälämpötiloja. Tästä syystä asuinrakennusten kesäajan viilentämiseen ja jäähdyttämiseen on alettu kiinnittää enemmän huomiota. [1, s.3]

Asuinrakennuksissa kesäajan ylikämpeneminen aiheuttaa epäviihtyisyyden ja unenlaadullisten ongelmien lisäksi terveysongelmia. Kuumuus lisää sairauskoh-
tausten riskiä erityisesti kroonisia sydän-, verenkierto- ja hengityselinsairauksia poteville vanhoille ihmisille ja pitkäaikaissairaille. Kesien hellejaksot aiheuttavat Suomessa vuosittain 50 - 200 kuolemantapausta, kuumimpina vuosina jopa merkittävästi enemmän. [2, s.40]

Vuonna 2015 valmistuneen FinZEB-hankkeen olosuhdetarkasteluissa todettiin, että asuinkerrostaloissa kesäajan ylikämpeneminen on ongelmallisempaa kuin pientaloissa, joissa voidaan järjestää tuuletus ja läpiveto paremmin kuin asuinkerrostaloissa. Lisäksi muut rakennukset, kuten toimitilarakennukset, on usein varustettu koneellisella jäähdytyksellä, joten muissa rakennuksissa ei yleensä ole samaa ylikämpenemisen ongelmaa kuten asuinrakennuksissa. [3, s.5]

Asuinrakennusten jäähdytystarpeen tarkastelu ja -suunnittelu poikkeaa muiden rakennusten jäähdytysuunnittelusta, koska asuinrakennuksissa on eri lämpö- ja kosteuskuormat (esimerkiksi ruuanvalmistuksesta ja pyykkien kuivauksesta) kuin toimitilarakennuksissa [1, s.3]. Aiemmin mainituista syistä asuinrakennus-
hankkeeseen ryhtyvällä taholla tulisi olla suunnittelun alkuvaiheessa investointi-
päätöstä varten tietoa hankkeen kesäajan huonelämpötilojen tarkastelusta nykytilanteen ja tulevaisuuden säätiedoilla, koska jäähdytysjärjestelmän rakentaminen lisää kustannuksia merkittävästi. Rakennuksen sisäolosuhteet erilaisilla ilmanvaihto-, jäähdytys- ja rakenneratkaisuilla saadaan selvitettyä dynaamisen laskentatyökalun avulla. [4, s.26-28]

2.1 Sisälämpötilan tavoitearvot ja tulevaisuuden haasteet

Rakennuksissa optimaalinen sisälämpötila jakaa vahvasti mielipiteitä ja optimaalisen sisälämpötilan kannalta on hankalaa toteuttaa yleisiä lämpöolosuhteita, joihin kaikki käyttäjät olisivat tyytyväisiä. Tästä syystä huonetilat tulisi olla varustettuna yksilöllisillä säätömahdollisuuksilla, jolloin käyttäjät voisivat säätää sisälämpötilaa oman mieltymyksen mukaisesti. Sisälämpötilan yksilöllisen säädön toteutus on kuitenkin haastavampaa ja kalliimpaa, koska se vaatii jäähdytysjärjestelmän, huonelaitteet säätimiseen ja tarpeeksi jäähdytystehoa. [2, s.53]

Yleisesti asuin- ja toimistohuoneiden operatiiviseksi lämpötilaksi soveltuu talvella +21...22 °C. Terveystieteistä syistä ja ylimääräisestä lämmitysenergian kulutuksesta johtuen talvella sisälämpötilan ei ole suotavaa nousta yli +23 °C. Kesällä operatiiviseksi lämpötilaksi soveltuu +23...25 °C ja jäähdytystilanteessa liian alhaista alle +23 °C sisälämpötilaa tulisi välttää vetoisuudesta ja ylimääräisestä energian kulutuksesta johtuen. [2, s.46-47] Lämpöolosuhteiden määräyksiä käsitellään tämän työn luvussa 2.2 ja lämpöolosuhteiden hallintaa luvussa 3.

Rakennuksessa huonelämpötilaan ja jäähdytystehontarpeeseen vaikuttaa huoneen lämpötase, joka koostuu sisäisistä lämpökuormista (ihmiset, laitteet ja valaistus), auringon lämpökuormasta, ulkoilman ja tuloilman lämpötilasta, kosteudesta, ilmavirtauksista sekä rakenteiden lämmönvarastoitumiskyvystä. Nämä tekijät ja rakenteiden lämmönsiirto eri huoneiden välillä muodostavat rakennuksessa monimutkaisen lämpödynaamisen kokonaisuuden, josta voidaan selvittää sisäolosuhteet ja jäähdytystehontarve simulointiohjelman avulla. [4, s.420-421]

Jäähdytystarvetta tulee ensisijaisesti vähentää passiivisilla rakenneratkaisuilla. Ikkunoissa tulee huomioida ikkunoiden koko, suuntaus, aurinkosuojat (julkisivurakenteet ja sälekaihtimet) ja ikkunoiden lasivalinnassa g-arvo, jolla on suuri vaikutus huoneen lämpökuormaan. [4, s.442, s.460] Kesäajan huonelämpötilan hallinta pelkillä passiivisilla ratkaisuilla on haastavaa erityisesti etelään ja länteen suunnatuissa asunnoissa, joten näissä tiloissa koneellisten viilennysratkaisujen tarve korostuu nykyisessä ja tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa.

Tulevaisuuden sääskenaarioille Suomessa on viime vuosina laadittu tutkimuksia, joista voidaan mainita vuonna 2015 valmistunut FinZEB-hanke ja vuonna 2022 valmistunut RAMI-hanke. FinZEB-hankkeen taustaraportissa 7 määriteltiin lähes nollaenergiarakennuksen (nZEB) tavoitteet ja ominaisuudet energiatehokkuusdirektiivin (EPBD) vaatimusten täyttämistä varten [3]. Rakentamisen mitoitussäät (RAMI) -hankkeessa määriteltiin mitoitustiedot huonetilojen kesäaikaisen lämpötilan ja jäähdytystehontarpeen suunnittelua varten [5].

FinZEB-hankkeessa tarkasteltiin kesäajan sisälämpötiloja kahdessa kerrostaloasunnossa TRY2012-testivuoden mitoitussäällä sekä vuosien 2050 ja 2100 mitoitussäätiedoilla. Asunnot sijaitsivat ilmansuunnallisesti etelä- ja länsipuolella ja olivat lämpökuorman kannalta ongelmallisimmat. Hankkeen olosuhdetarkastelun tulosten mukaan asuinkerrostalojen yllämpenemisvaatimus (kesällä +27 °C lämpötila ei saa ylittyä enemmän kuin 150 astetuntia) alittui kummassakin asunnossa vuoden 2012 säällä. Vuoden 2050 säällä yllämpenemisvaatimus myös alittui kummassakin asunnossa ikkunoiden sälekaihtimien avulla, mutta vuoden 2100 säällä yllämpenemisvaatimus ei enää täyttynyt ikkunoiden sälekaihtimien avulla eikä edes koneellisella tuloilman viilennyksellä. Vuoden 2100 säällä astetunnit ylittyivät moninkertaisesti nykyiseen vaatimukseen nähden. [3, s.5]

Rakentamisen mitoitussäät (RAMI) -hankkeen kesäajan sisäolosuhteiden ja jäähdytystehontarpeen tutkimusosassa määritettiin kesäajan ulkolämpötilan ja entalpian arvot mitoituspäivineen nykyiselle ja tulevaisuuden ilmastolle huoneen jäähdytystehontarpeen mitoittamista varten Suomen neljässä eri säävyöhykkeessä ja kolmella eri ilmaston päästöskenaariolla. Hankkeen tulosten mukaan ilmastonmuutoksen vaikutus oli vuoteen 2030 mennessä vähäinen, mutta pahimmalla päästöskenaariolla RCP8.5 ilmastonmuutoksen vaikutukset ulkolämpötilan ja entalpian kasvuun vaikuttivat jäähdytyksen mitoittamiseen suuresti vuoden 2050 jälkeen. Tulokset myös osoittivat, että asuinrakennuksissa pelkästään passiiviset viilennysratkaisut eivät mahdollisesti riitä takaamaan vaatimusten mukaisia sisäolosuhteita, joten koneellisten jäähdytysratkaisujen tarve tulee lisääntymään erityisesti tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa. [5, s.116-124]

RAMI-hanketta on esitetty tarkemmin tämän työn luvussa 4.1.

2.2 Lainsäädäntö, ohjeet ja asemakaavan määritykset

Uuden asuinrakennuksen jäähdytystarpeen selvittämiseksi ja suunnittelulle on olemassa määräyksiä ja oppaita, joista keskeisimmät ovat:

- asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017
- asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017
- Taltekan Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas (toimii asetusten tukena)
- Sisäilmayhdistyksen laatima ohjekortti Sisäilmastoluokitus 2018.

Sisäilmastoasetuksen 1009/2017 pykälässä 4 § on esitetty määreitä, joilla tulee taata viihtyvyys tilassa uuden asuinrakennuksen suunnitellulla käytöllä. Kesällä huonelämpötila voi vaihdella välillä +20...27 °C, ja huonelämpötilan hallinnan suunnittelussa käytetään eri säävyöhykkeille säädettyjä testivuoden säätietoja, jotka ovat esitetty asetuksen liitteessä. [6] Asumisterveysasetuksen 545/2015 liitteessä 1 asuinhuoneen lämpötilan toimenpideraja on kesällä +32 °C [1, s.7].

Pääsuunnittelun kannalta sisäilmastoasetuksen pykälässä 3 § on määrätty, että rakennuksen ja ikkunoiden sijoittelussa tulee huomioida rakenteiden vaikutus kesäajan sisäolosuhteisiin. Pykälän 25 § mukaan konehuoneissa tuloilmakanavien eristys tulee huomioida, ettei helteillä tuloilmakanavissa kulkeva ilma lämpene tarpeettomasti. [6] Jäähdytetyn tuloilman kanavat eristetään aina [8].

Energiatehokkuusasetuksen 1010/2017 mukaan uuden asuinkerrostalon rakennuslupaa haettaessa on energiaselvityksen osana oltava laadittuna olosuhte- tarkastelun laskelma, jolla esitetään, ettei huonetiloissa ole ylikuumenemiso- ngelmaa. Tämä tarkoittaa, että kesäajan huonelämpötila asuinkerrostalossa ei saa ylittää jäähdytysrajan arvoa +27 °C enemmän kuin 150 astetuntia 1.6 – 31.8 vä- lisenä aikana suunnittelun mukaisella ilmavirralla. Laskelma tulee laatia dynaa- misella laskentatyökalulla ja laskelma osoitetaan vähintään yhdelle lämpökuor- miltaan suurimmalle makuu- tai olohuoneelle etelä- ja länsipuolella. [7]

Sisäilmastoluokitus 2018 -ohjekortissa on esitetty ohjeellisia sisäilmaston tavoitearvoja ja tuotevaatimuksia rakennuttajan, suunnittelijoiden ja käyttäjän tueksi. Sisäilmastoluokitus ei kuitenkaan ole viranomaisohje tai sen tulkinta. Sisäilmastoluokituksen laatuluokkia S1, S2 ja S3 voidaan käyttää uudisrakennusten työ- ja asuintilojen sisäilmastotavoitteiden asettamisessa. Sisäilmastoluokitusta voidaan käyttää soveltaen myös korjaushankkeissa. Rakennushankkeessa sisäilmastoluokituksen laatuluokan valitseminen kuuluu rakennuttajalle, jonka jälkeen kohde suunnitellaan ja toteutetaan siten, että tavoitteet täyttyvät. [9, s.5]

Sisäilmastoluokituksen laatuluokista S1 on parhain ja sillä saavutetaan todennäköisimmin korkein käyttäjätyytyväisyys, koska tilojen käyttäjät pystyvät yksilöllisesti säätämään lämpötiloja eikä yllämpenemistä ilmene. Laatuluokalla S2 saavutetaan hyvä sisäilmasto, mutta yllämpeneminen on mahdollista kesällä, koska koneellista jäähdytystä ei vaadita S2 laatuluokalla. S3 on laatuluokista tyydyttävä perustaso ja se täyttää määräysten vaatimukset. [9, s.3, s.5-6]

Asuinrakennuksen jäähdytysjärjestelmän rakentamista voidaan ohjata myös asemakaavalla, jossa määritetään alueen maankäyttö, rakentaminen ja rakennusten käyttötarkoitukset [10]. Alueelle tehty asemakaavan ohje voi tällöin tavoitteillaan ohjata edistämään esimerkiksi alueen energia- ja jäähdytysjärjestelmien rakentamista. Tästä syystä asuinrakennuksen rakennuttajan tulisi varhaisessa suunnitteluvaiheessa huomioida, miten tavoitteita voidaan edistää.

Kokonaisuudessaan asuinkerrostalon rakennuslupaa varten laaditaan energiaselvityksen osana sisälämpötilojen olosuhdetarkastelu, jolla osoitetaan energiatehokkuusasetuksen 1010/2017 astetuntivaatimuksen täyttyminen. Ensisijaisesti rakennussuunnittelussa tilojen yllämpenemisen estämiseksi on käytettävä passiivisia rakenneratkaisuja varjostuksilla ja aurinkosuojilla. Olosuhdetarkastelun tarkoitus on ohjata suunnittelua sellaisiin ratkaisuihin, ettei jäähdytystä tarvita. Olosuhdetarkastelu tulee päivittää rakennushankkeen myöhemmissä suunnitteluvaiheissa, jolla varmistetaan tavoitteiden saavuttaminen. Olosuhdetarkastelun laskennassa käytetään dynaamista laskentatyökalua, joka huomioi rakenteiden lämmönvarausominaisuuden ajasta riippuvaisena [4, s.419].

3 Asuinrakennusten jäähdytysratkaisut

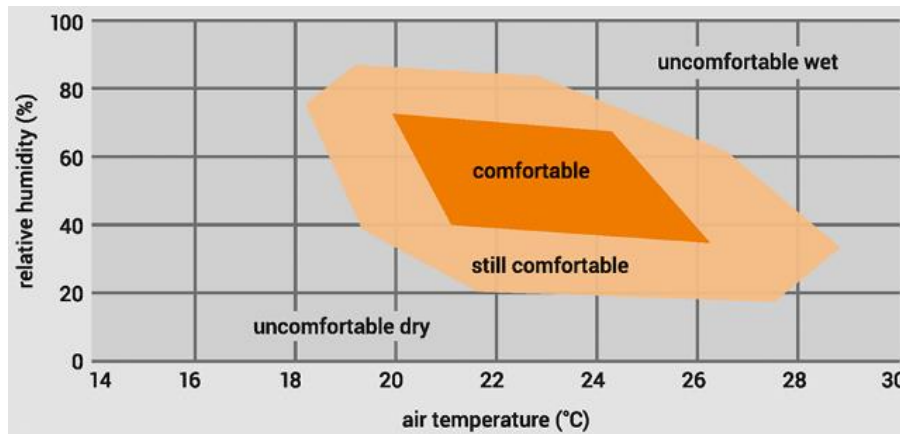
Sisätilojen jäähdytykseen liittyvissä keskusteluissa mainitaan usein samassa yhteydessä sekä jäähdytys että viilennys. Kyseessä ei kuitenkaan ole täysin sama asia, vaan jäähdytyksen ja viilennyksen erona on, että jäähdytyksessä sisäilman olosuhteet saadaan pidettyä haluttuna lähes kaikissa olosuhteissa. [11]

Jäähdytyksellä tarkoitetaan esimerkiksi järjestelmää, jossa tilaan tuleva ilma jäähdytetään ilmanvaihtokoneessa lämpötilaan +16...18 °C ja jonka lisäksi tilassa on jäähdytyslaite. Tuloilman ja erillisten laitteiden yhteenlasketulla jäähdytysteholla huonelämpötila ei ylitä +27 °C, jos tilassa on suunnitelmassa määritetty henkilömäärä, tilassa ei ole suurempia sisäisiä lämpökuormia, ikkunoiden sälekaihtimet ovat alhaalla ja sääolosuhteet vastaavat mitoituksia. [1, s.34-35]

Viilennyksessä huoneen tuloilma jäähdytetään ilmanvaihtokoneessa lämpötilaan +16...18 °C ja tällä viilennetyllä tuloilmalla parannetaan hieman tilan lämpöolosuhteita. Asunnoissa tuloilman viilennyksessä rajoittavana tekijänä on tuloilmavirta, joka on tyypillisesti pienempi kuin toimitiloissa, joissa voi olla huomattavasti suuremmat tuloilmavirrat ja täten suurempi viilennysteho. Viilennysratkaisuista voidaan mainita myös lattiaviilennys, jossa viilennystehoa rajoittaa kylmyyden tunne lattiapinnassa ja lattiapiirissä virtaavan veden lämpötila, joka ei saa olla liian kylmää, ettei lattiapiiriin pintaan tiivisty kosteutta. [1, s.34-35]

Huoneiden jäähdytyslaitteiden (pois lukien lattiaviilennys) valintaan vaikuttaa, toteutetaanko tuloilman viilennys, jossa tuloilma kuivataan ilmanvaihtokoneen tai kanavan jäähdytyspatterilla, jolloin huoneisiin ei päädy kosteaa ilmaa. Ilman tuloilman viilennystä huoneiden jäähdytyslaitteet tulee valita siten, että niissä on kondenssiviemärointi. Toistaiseksi pelkästään puhallinkonvektorit voidaan viemäroidä. Asunnoissa voidaan myös päästää kosteaa ulkoilmaa avoimien ikkunoiden kautta sisään, jolloin ilman kondenssiviemärointiä jäähdytyslaitteiden automaatio tulee varustaa kastepistehjauksella, joka nostaa laitteen menoveden lämpötilaa tai sulkee jäähdytyslaitteen huoneen suhteellisen kosteuden noustessa. Huonelaitteita on esitetty tarkemmin tämän työn luvussa 3.5.

Kesäaikainen huoneilman kuivaaminen parantaa sisäolosuhteita ja viihtyisyyttä, koska kuvan 1 mukaisesti jäähdytetty +24...25 °C huoneilma 40...60 % suhteellisella kosteudella tuntuu huomattavasti mukavammalta kuin vastaavissa huonelämpötiloissa oleva kostea jäähdyttämätön huoneilma. Talvella lämmityskautena huoneilman ei toisaalta tule olla liian kuivaa lämpötilassa +21...22 °C. [12]



Kuva 1. Huonelämpötilan ja suhteellisen kosteuden vaikutus viihtyisyyteen [12].

Aktiivinen jäähdytys voidaan jakaa paikallisiin ja keskitettyihin jäähdytysjärjestelmiin. Paikalliset jäähdytyslaitteet asennetaan huonetilaan; paikallisia jäähdytyslaitteita ovat esimerkiksi ilmalämpöpumput ja siirrettävät jäähdytyslaitteet. Keskitetyssä jäähdytysjärjestelmässä jäähdytetään koko rakennusta joko suoralla tai välillisellä jäähdytyksellä tai kumpaakin ratkaisua käyttämällä. Aktiivisen kompressorikäyttöisen jäähdytyksen sijasta voidaan hyödyntää vapaajäähdytystä, jolloin vältetään kompressorin sähkönkulutukselta. Vapaajäähdytyksessä käytetään matalaa ulkolämpötilaa tai maalämmön keruuputkista saatavaa matalalämpöistä nestettä jäähdytysenergian tuottamiseen. [2, s.243, s.278]

Suorassa keskitetyssä jäähdytyksessä ilmanvaihtokone tai tuloilmakanava on varustettu kompressorilauhduttimeen liitetyllä suorahöyrystyspatterilla, joka jäähdyttää huonetiloihin menevän tuloilman [2, s.243]. Tämä ratkaisu on toimintaperiaatteeltaan verrattavissa ilmalämpöpumppuun. Toinen vaihtoehto on käyttää integroidulla lämpöpumpulla varustettua keskitettyä ilmanvaihtokonetta, jossa laitteet on sijoitettu ilmanvaihtokoneen sisään tehdasvalmisteisesti, eikä rakennuksen ulkopuolelle asennettavalle lauhduttimelle ole tarvetta.

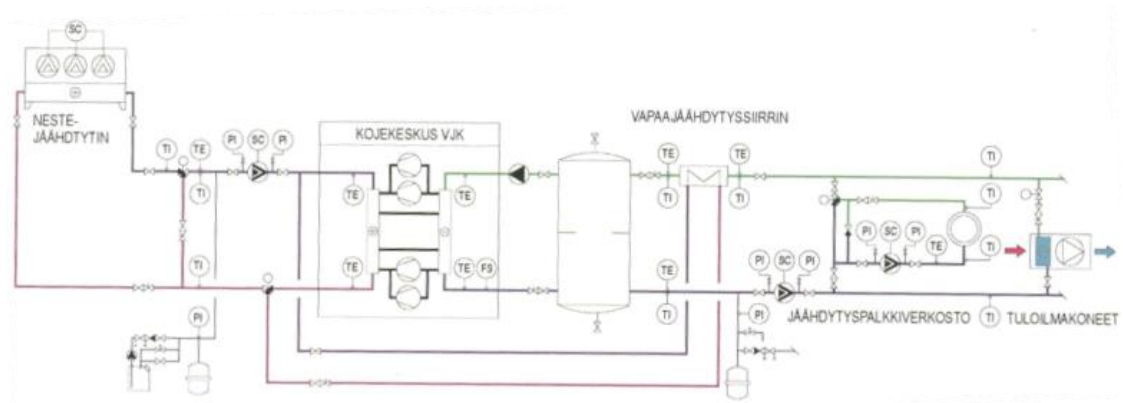
Välillisessä keskitetyssä jäähdytyksessä rakennuksen tekninen tila on varustettu vedenjäähdytyslaitteistolla, jossa jäähdytetty neste syötetään ilmanvaihtokoneiden jäähdytyspattereille ja huonetilojen jäähdytyslaitteille putkiverkostojen välityksellä [2, s.243]. Tekniseen tilaan asennettu vedenjäähdytyslaitteisto voi olla esimerkiksi vedenjäähdytyskone, maalämpöpumppu, kaukokylmään liitetty alakeskus tai kaukolämpöön liitetty CHC-lämpöpumppu.

3.1 Passiiviset rakenneratkaisut

Rakennuksen jäähdytystarvetta tulee ensisijaisesti vähentää rakenteellisten ratkaisujen lisäksi ympäröivien rakennusten ja puiden varjostuksilla. Ikkunoilla on suuri vaikutus huoneiden lämpökuormaan, joten ikkunoissa tulee kiinnittää huomiota lasien ominaisuuksiin, ikkunoiden kokoon, suuntaukseen ja ikkunoiden aurinkosuojaukseen. Aurinkosuoja ovat ikkunoiden sisäpuoliset sälekaihtimet, ulkopuoliset ikkunasyvennykset, ulokkeet ja parvekkeet. [4, s.442; 13, s.1-2]

3.2 Vedenjäähdytyskone

Suurten rakennusten jäähdytysenergia tuotetaan usein kompressoritekniikkaan perustuvalla vedenjäähdytyskoneella (VJK), joka voi olla ilma-, vesi- tai liuoslauhdutteinen. Kuvassa 2 on esitetty vedenjäähdytyskoneen periaatekytkentä vapaajäähdytyksellä varustettuna. Vapaajäähdytystä käytetään syksyllä ja keväällä, jos on jäähdytystarvetta ja kun ulkoilman lämpötila on riittävän alhainen. Tällöin vältetään kompressorin käytöltä. Vedenjäähdytyskone, tasaussäiliö ja lämmönsiirrin sijaitsevat tyypillisesti sisällä teknisessä tilassa ja nestejäähdytin ulkona vesikatolla. Vedenjäähdytyskoneena voidaan käyttää myös kylmävesiasemaa, johon on integroitu tasaussäiliö ja lisävarusteet. [2, s.250-258]



Kuva 2. Liuoslauhdutteen vedenjäähdytyskoneen kytkentäperiaate [4, s.315].

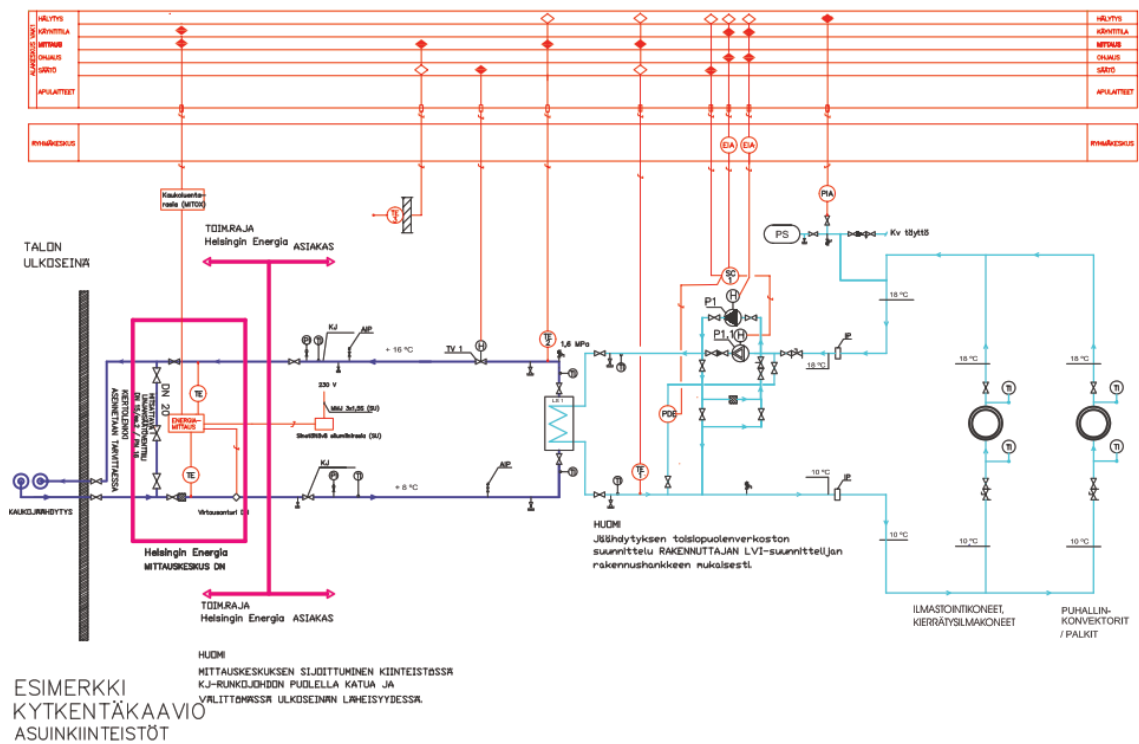
Vedenjäähdytyskoneen teho mitoitetaan yleensä täystehoiseksi laskemalla yhteen ilmanvaihdon jäähdytyspattereiden ja huonelaitteiden kokonaisjäähdytysteho. Jäähdytysvesiverkostot jaetaan usein ilmanvaihdon jäähdytysverkostoon ja huonelaitteiden jäähdytysverkostoon. Vedenjäähdytyskoneeseen palaavan jäähdytysverkoston lämpötila voi olla $+12\text{ °C}$ ja menoveden lämpötila $+7\text{ °C}$, jolloin höyrystimen jäätymisriski voidaan vielä hallita. Jäähdytysverkoston menojäähdytys- ja paluulämpötilat voi olla korkeammat, mutta ei matalammat. [4, s.315, s.345]

Vedenjäähdytyskoneen ja lämpöpumppujen käyttöön vaikuttaa kompressorin käyttöikä, joka on noin 15 vuotta. Käyttöikään vaikuttaa vuotuiset käyttötunnit, käynnistysten määrä ja kompressorityyppi. Käyttöikää voidaan parantaa vapaajäähdytyksellä, jolloin kompressori on poissa käytöstä. [18, s.250-251]

Vedenjäähdytyskonetta käytetään, kun tarvitaan suuria jäähdytystehoja ja kun kaukojäähdytyksen tai lämpöpumppujärjestelmän toteutus ei ole mahdollista. Asuinkerrostalossa vedenjäähdytyskoneen hyväksyttämiseksi huomioidaan investointi-, käyttö- ja huoltokustannukset sekä laitteiden tilavaraukset. Erityisesti tulee selvittää, voidaanko ulkotilaan tai vesikatolle sijoittaa nesteenjäähdyttimiä.

3.3 Kaukojäähdytys tai jäähdytys kaukolämmön CHC-lämpöpumpulla

Kaukojäähdytystä, jota kutsutaan myös kaukokylmäksi, käytetään tiheästi rakennetuissa kaupungeissa. Jäähdytysvesi tuotetaan energialaitoksessa ja jaetaan putkiverkostolla rakennuksiin vastaavasti kuin kaukolämmityksessä. Energialaitoksessa jäähdytysvesi voidaan tuottaa absorptiokoneilla käyttämällä kaukolämmön tuotannossa ylimääräiseksi jäänyttä hukkalämpöä, käyttämällä meri- tai järivedestä saatavaa vapaajäähdytystä tai tuottamalla jäähdytysvesi kompressoriteknikkaan perustuvilla vedenjäähdytyskoneilla tai lämpöpumpuilla. [2, s.260; 14, s.2] Kuvassa 3 on esitetty kaukojäähdytyksen kytkentäperiaate.



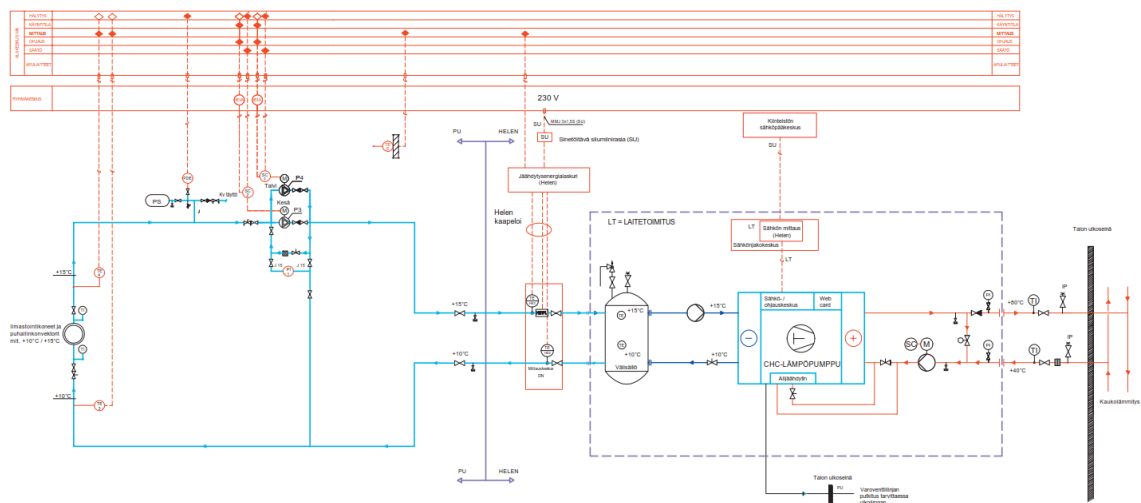
Kuva 3. Kaukojäähdytyksen kytkentäperiaate [14, s.8].

Kaukojäähdytystä käytetään, kun rakennus sijaitsee kaukojäähdytyksen palvelualueella ja kun hyväksytään toimittajan liittymä- ja käyttömaksut sekä laitteiston tilantarve. Kaukojäähdytyksen etuna ovat laitteiston tekninen yksinkertaisuus ja huolettomuus, koska jäähdytysenergian tuotanto on ulkoistettu energia-toimittajalle, eikä rakennuksen ulkopuolelle asennettavia kylmälaitteita tarvita.

Kaukojäähdytys on myös ympäristöystävällistä ja sähköenergiaa säästävää verrattuna koneelliseen jäähdytysjärjestelmään, joka kuluttaa sähköä ja jossa käytetään kylmäaineita. Kaukojäähdytyslaitteiston teknisestä yksinkertaisuudesta johtuen laitteisto kestää pidempään ja voi olla elinkaarikustannuksiltaan edullisempi kuin koneellinen jäähdytysjärjestelmä. [14, s.1]

Rakennuksen jäähdytysenergia voidaan tuottaa myös kaukolämpöön kytkettävällä CHC-lämpöpumpulla (Combined Heating and Cooling). Tässä ratkaisussa rakennuksen jäähdytyslaitteilta palaava hieman lämmennyt paluuverkoston jäähdytysvesi kerätään lämpöpumpulla ja syötetään takaisin kaukolämpöverkostoon [15, s.3]. Kuvassa 4 on esitetty CHC-lämpöpumpun kytkentäperiaate.

CHC-lämpöpumpua käytetään jäähdytyksessä, kun kaukojäähdytystä ei ole saatavilla alueella, kaukolämpöä käytetään rakennuksen lämmittämiseen ja kun hyväksytään CHC-lämpöpumpun hankinta- ja sopimuskustannukset. Kaukojäähdytyksen tavoin CHC-lämpöpumpun etuna ovat ympäristöystävällisyys, huolettomuus ja yksinkertainen laitteisto, koska rakennuksen ulkopuolisia kylmälaitteita ei tarvita ja energian tuotanto on ulkoistettu energiatoimittajalle. Teknisessä tilassa on huomioitava lämpöpumpulaitteiston vaatima tilantarve.



Kuva 4. CHC-lämpöpumpun kytkentäperiaate [15, s.6].

3.4 Lämpöpumput

Lämpöpumppujen hyödyntäminen kiinteistökohtaisessa lämmitys- ja jäähdytysenergian tuotannossa on yleistynyt merkittävästi. Lämpöpumpuilla voidaan lämmityksen lisäksi tuottaa rakennuksen tarvitsema jäähdytysenergia, kun järjestelmään lisätään jäähdytyksen tarvitsemat varusteet ja energialähteenä käytetään ulkoilmaa, maasta saatavaa energiaa tai hukkalämpöä. [2, s.269-270]

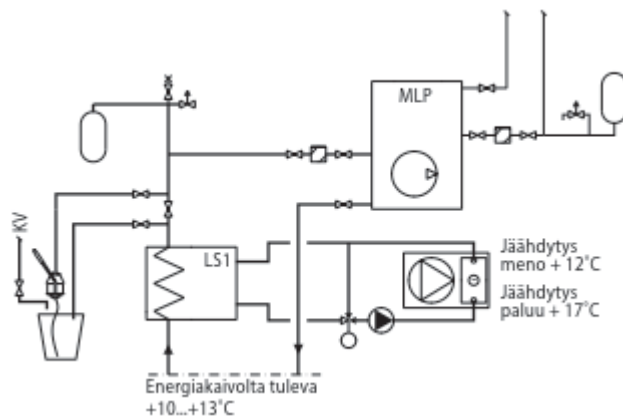
Lämpöpumppu siirtää lämpöenergiaa ulkoisesta energialähteestä rakennuksen lämmitykseen ja jäähdytykseen käyttäen apuna sähköenergiaa. Energialähteitä ovat ulkoilma, geoenergia tai hukkalämmöstä saatava energia. [2, s.269] Tässä työssä käsiteltäviä ja asuinkerrostalojen jäähdytykseen sopivia lämpöpumppuratkaisuja ovat maalämpöpumppu (MLP), vesi-ilmalämpöpumppu (VILP), ilma-lämpöpumppu (ILP) ja aiemmin esitetty kaukolämmön CHC-lämpöpumppu.

3.4.1 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumput (MLP) ovat kasvattaneet suosiotaan ympäristöystävällisenä ja kustannustehokkaana ratkaisuna rakennusten lämmitykselle ja jäähdytykselle. Maalämmössä käytetään maa- tai kallioperästä saatavaa geoenergiaa tai vesistöön varastoitunutta energiaa, joista yleisin keino kerätä lämmitys- ja jäähdytysenergiaa on käyttää pystysuuntaisia energiakaivoja. Vaihtoehtoisesti vaakaputkisto asennetaan pintamaahan tai vesistöön, jos alue on tarpeeksi suuri. Vesistössä vaakaputkisto ankkuroidaan pohjaan painoilla. Keruuputkistoissa käytetään ympäristöystävällistä bioetanolin ja veden sekoitusta. [2, s.269-277]

Maalämpöjärjestelmää käytetään, kun hyväksytään järjestelmän investointikustannus ja kun tontille voidaan viranomaisluvalla porata energiakaivoja tai asentaa vaakaputkistoja. Erityisesti energiakaivojen poraamisessa tulee selvittää, onko tontti pohjavesialueella ja voiko pohjavesialueella porata energiakaivoja, minkä lisäksi tulee selvittää olemassa olevien energiakaivojen sijainnit. Maalämmön suunnittelussa huomioidaan laitteiston tilavaraukset teknisessä tilassa ja sähköliittymän riittävyys olemassa olevassa kohteessa. [16, s.3-4]

Maalämpöpumpulla voidaan tuottaa rakennuksen tarvitsema jäähdytys hyödyntämällä kallion, maaperän tai vesistön matalaa lämpötilaa vapaajäähdytyksellä. Jäähdytysverkosto voidaan kytkeä keruupiiriin menopuolelle tai joissakin lämpöpumpuissa kompressorin avulla aktiivijäähdytyksenä, jolloin lämmityspiiriin ja keruupiiriin putkivirtaukset käännetään vaihtoventtiilien avulla toisinpäin. [17, s.14] Kuvassa 5 on esitetty jäähdytyksen kytkentäperiaate keruupiiriin lämmönsiirtimen LS1 avulla. Mitoituksessa on mahdollista käyttää muitakin lämpötiloja.



Kuva 5. Jäähdytysverkoston kytkentäperiaate, maalämmön keruupiiri [16, s.10].

3.4.2 Vesi-ilmalämpöpumppu

Vesi-ilmalämpöpumppu (VILP), josta käytetään myös nimitystä ilma-vesilämpöpumppu (IVLP), ottaa ilmalämpöpumpun (ILP) tavoin lämpöenergiaa ilmasta ulkoyksikön avulla, mutta energia siirretään huoneilman sijasta vesikiertoisiin järjestelmiin. Vesi-ilmalämpöpumppuja on olemassa split-laitteita ja monoblock-laitteita, joista split-laite koostuu ulkoyksiköstä ja sisäyksiköstä sekä näiden välisistä kylmäaineputkista ja sähkökytkennöistä. Monoblock-laite koostuu tekniikan sisältävästä ulkoyksiköstä, joka kytketään varaajasäiliöihin. [17, s.19-20]

Vesi-ilmalämpöpumpulla voidaan jäähdyttää rakennusta lämpöpumpun kompressorilla kylmäpiiriin kiertosuuntaa vaihtamalla. Tällöin lämpöä ei tosin voida varastoida, kuten maalämmön lämpökaivoissa, vaan lämpö siirtyy ulkoilmaan lämpöpumpun ulkoyksikössä. Kylmäpiiri voidaan johtaa esimerkiksi varaajaan ja siirtimiin, joista vesikiertoiset putket jaetaan jäähdytysverkostoihin. [17, s.14]

Vesi-ilmalämpöpumppua käytetään, kun maalämpöjärjestelmää ei ole kannattavaa tai mahdollista toteuttaa kohteeseen rakennusalueen rajoituksista johtuen ja kun vesi-ilmalämpöpumpun teho on riittävä kohteen lämmitys- ja jäähdytystarpeelle. Vesi-ilmalämpöpumppu on yleensä investointikustannukseltaan maalämpöjärjestelmää edullisempi, mutta vesi-ilmalämpöpumpulla saadaan vuosittain vähemmän ilmaisenergiaa kuin maalämpöpumpulla. [17, s.21]

3.4.3 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumpun (ILP) toimintaperiaate on samanlainen kuin vesi-ilmalämpöpumpussa (VILP), eli lämpöenergiaa otetaan ilmasta ulkoyksikön avulla, mutta ilmalämpöpumpussa lämpö tai jäähdytys siirretään suoraan huoneilmaan ja vesi-ilmalämpöpumpussa energia siirretään vesikiertoiseen järjestelmään. Ilmalämpöpumppuja on olemassa kolmea eri tyyppiä: split-laitteita, multi-split-laitteita ja VRV (Variable Refrigerant Volume) -laitteita. [2, s.262-264]

Split-mallinen ilmalämpöpumppu koostuu ulkoyksiköstä ja sisäyksiköstä sekä näiden välisistä kylmäaineputkista ja sähkökytkennöistä. Multi-split-laitteessa yhteen ulkoyksikköön liitetään kaksi tai useampi sisäyksikkö, jolloin eri huoneissa voi olla omat lämmittävät tai jäähdyttävät sisäyksiköt. Multi-split-laitteista on kehitetty VRV-järjestelmä (Variable Refrigerant Volume), jossa voi olla kolme ulkoyksikköä, joihin voidaan liittää 40-50 kappaletta sisäyksiköitä. [2, s.262-264]

Ilmalämpöpumppuja käytetään asuntojen paikallisina jäähdytyslaitteina, kun asuinrakennuksen keskitetyn jäähdytysjärjestelmän toteutus ei ole mahdollista kustannusten tai muun syyn kannalta. Ilmalämpöpumppujen hyväksytyksessä huomioidaan ulkoyksiköiden sijoittelu parvekkeilla, sähkökytkennät ja energialaskennassa ilmalämpöpumppujen sähkönkulutus. Multi-split-laitteiden mitoituksessa tulee tarkistaa kylmäaineputkireittien sallittu pituus, koska liian pitkät putkivedot heikentävät laitteiden toimintaa ja energiatehokkuutta. Asunnoissa ilmalämpöpumppu on kustannustehokas jäähdytysratkaisu, koska sen jäähdytysteholla sisäolosuhteet saadaan pidettyä hallinnassa ja vältytään monimutkaiselta järjestelmältä, jossa on paljon laitteita, putkiverkostoja ja rakennusautomaatiota.

3.5 Huonelaitteet

Asunnon ilmanvaihdon ja jäähdytyksen päätelaitteiden sijoituksella vaikutetaan suuresti huonetiloissa olevien ihmisten viihtyvyyteen ja sisäilmaston laatuun. Tilailmastoinnin suunnittelussa tulee ottaa huomioon huonetilojen ominaisuudet ja hankkeelle mahdollisesti valitun sisäilmastoluokan vaatimukset. Suunnittelun alkuvaiheessa selvitetään ratkaisut, joilla saadaan täytettyä huoneolosuhteiden tavoitearvot ja arkkitehtoniset vaatimukset. [2, s.225-226]

3.5.1 Tuloilman viilennys tuloilman päätelaitteilla

Asunnoissa on ilmanvaihdon päätelaitteina tavallisesti tulo- ja poistoilmaventtiilit, jotka voidaan sijoittaa seinälle, kattoon tai koteloon. Kuvassa 6 on esitettyinä malleja asuntoihin sopivista tuloilmaventtiileistä. Hajottajamallisia päätelaitteita voidaan myös käyttää. Jäähdytyspatterilla varustetussa ilmanvaihtokoneessa tai kanavassa tuloilma kuivataan, jolloin tuloilman lämpötila päätelaitteella on noin +16...18 °C mitoituksesta riippuen. Jäähdytyspatterissa menoveden lämpötila voi olla +7...10 °C ja paluu +12...15 °C, jolloin lämpötilaero on 5 °C. [2, s.132]

Asuntojen pienistä ilmamääristä johtuen tuloilman viilennyksellä ei saada tiloja jäähdytettyä tehokkaasti, joten viilennysteho on noin 10...15 W/m² [11]. Tästä syystä tuloilman viilennyksen lisäksi tulee käyttää toista viilennys- tai jäähdytyslaitetta, jos asunnon sisäolosuhteita on tarvetta parantaa.



Kuva 6. Mallituotteita asunnoissa käytettävistä tuloilmaventtiileistä [19].

3.5.2 Lattiaviilennys

Lattiaviilennys on kasvattanut suosiotaan edullisena viilennysratkaisuna asuinrakennuksissa, kun lattiarakenteisiin asennetuissa muovisissa lattialämmityspiireissä voidaan hyödyntää myös kesäajan viilennystä ja välttyään erillisen putkiverkoston asennukselta rakennuksessa. Tällöin lattiaviilennyksessä tarvittava vesi jäähdytetään keskitetyllä jäähdytyslaitteistolla ja kesällä lämmitysverkoston veden lämpötila muutetaan vaihtoventtiileillä. Kosteiden tilojen lämmitys eriytetään omana verkostona tai hoidetaan sähköisellä lattialämmityksellä. [20]

Lattiaviilennys sopii korjaus- ja uudiskohteisiin ja lattioiden pintamateriaalit ovat vapaasti valittavissa. Korjaushankkeissa huomioidaan putkipiirien toteutettavuus lattiarakenteeseen ja voidaanko lattiarakennetta mahdollisesti korottaa. Asunnossa laitteisto koostuu lattiarakenteisiin asennettavista putkipiireistä, putkipiirien jakotukkikaapista, kaappiin asennetusta säätölaitteistosta ja seinille asennettavista huonetermostaateista. Lattiapiirissä kiertävä vesi luovuttaa kesäaikana viileää tasaisesti lattiapinnoista huoneilmaan. Viilennyksessä lattian pintalämpötilat ovat yleensä +21...23 °C ja alimmillaan +20 °C, jolloin kondensoitumista putkipiirin pintaan ei vielä ilmene ja lattiapinta tuntuu miellyttävältä. Lattiapiirin kondensoitumisriskiä valvotaan keskitetysti kosteus seurannalla. [20]

Lattiaviilennyksessä hyötyjä ovat edulliset asennus- ja käyttökustannukset, energiatehokkuus, äänettömyys, vedottomuus ja huomaamattomuus, koska ainoastaan huonetermostaatit ovat esillä tiloissa. Viilennystehoa rajoittaa kylmyyden tunne lattiapinnassa ja lattiapiirissä virtaavan veden lämpötila, joka ei saa olla liian kylmää, ettei lattiapiiri kondensoi. [20] Tästä syystä lattiapiirin menovesi voi olla esimerkiksi +18 °C ja paluuvesi +23 °C, jolloin viilennysteho on noin 20-30 W/m² lattian pintamateriaalista riippuen. Lattiapiirin päällä olevat eristeet ja lattiaa peittävät suuret matot heikentävät viilennystehoa. Jotta sisäolosuhteita saadaan parannettua ja sisäilmaa kuivattua, lattiaviilennyksen lisäksi on suositeltavaa toteuttaa tuloilmanvaihdon viilennys. Lattiaviilennyksellä saavutetaan kuitenkin hyvä viilennysteho pienellä energiankulutuksella, koska lattia on lähellä käyttäjää, eikä lattiaa tarvitse tai tulekaan viilentää kylmäksi.

3.5.3 Puhallinkonvektorit

Puhallinkonvektorilla voidaan hoitaa asunnon ilmastointi tehokkaasti. Laite sisältää suodattimen, puhaltimen, ja laitteen lamellipatterit varustetaan tarpeen mukaan jäähdytys- ja lämmityskytkennöillä. Puhallinkonvektori kierrättää huoneilmaa ja mallista riippuen siihen voidaan kytkeä tuloilmanvaihto. Puhallinkonvektoreista on olemassa eri asennusmalleja, joita voidaan asentaa kattoon, koteloon, seinälle, lattialle tai ikkunan alle. Jäähdytysverkoston menoveden lämpötila voi olla esimerkiksi $+7 \dots 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ja paluu $+12 \dots 15 \text{ }^\circ\text{C}$, jolloin kondenssivesi tulee viemäroidä laitteelta. Jäähdytysteho on $30 \dots 80 \text{ W/m}^2$ mitoituksesta ja laitteen mallista riippuen. [2, s.137, s.150, s.238] Tämän työn luvussa 3.4.3 esitetyn ilmalämpöpumpun sisäyksikkö on myös toiminnaltaan puhallinkonvektori.

Asuinrakennuksissa puhallinkonvektorin korkeasta hankintakustannuksesta johtuen se sijoitetaan yleensä yksittäisenä keskeiselle paikalle, josta jäähdytys jakautuu eri tiloihin avoimien väliovien kautta. Kuvassa 7 on esitetty alakaton otsasta puhaltava malli. Piiloasennuksessa tulee huomioida huoltoluukun tarve suodattimen vaihdolle ja jotta laitteen venttiileihin päästään käsiksi. Suodattimen vaihdon kannalta nykyään on saatavilla kuvan 7 mukainen malli, jossa suodatin vaihdetaan etusäleikön kautta. Puhallinkonvektorit ovat jäähdytysteholtaan tehokkaita, mutta haasteena ovat ilmavirtauksesta aiheutuva mahdollinen vedon tunne ja laitteen äänitaso, joka tulee huomioida laitteen mitoituksessa.



Kuva 7. Alakaton otsasta puhaltavan puhallinkonvektorin malli [21].

3.5.4 Jäähdytyspalkit ja kattosäteilijät

Jäähdytyspalkkeja käytetään yleensä ulkonäkönsä vuoksi toimistojen jäähdytyslaitteina, mutta niitä voidaan käyttää myös asunnoissa. Jäähdytyspalkki on kattoasenteinen laite ja sen sisällä on lamellipatteri, johon voidaan kytkeä tarpeen mukaan jäähdytys- ja lämmitysputket ilmastointia varten. Jäähdytyspalkit jaetaan toiminnaltaan passiivi- ja aktiivipalkkeihin: passiivipalkeissa lämmin ilma kiertää painovoimaisesti lamellipatterin läpi (luonnollinen konvektio) ja aktiivipalkeissa tuloilmanvaihtokanavan avulla (pakotettu konvektio). [2, s.142-146]

Kuvassa 8 on esitettyinä malleja jäähdytyspalkkeista, joita voidaan asentaa alakaton otsaan, alakaton pintaan tai vapaa-asenteisesti kattoon. Kondensoinnin estämiseksi jäähdytyspalkkiin johdettavan menoveden lämpötilan tulee olla esimerkiksi +15 °C ja paluuveden lämpötilan +18 °C, joiden lisäksi aktiivipalkkiin kytkettävän tuloilman tulee olla jäähdytetty. Kondensoinnista johtuen jäähdytyspalkkeja ei voi sijoittaa suuria kosteuskuormia sisältäviin tiloihin. [2, s.142-143]

Jäähdytyspalkin jäähdytysteho on aktiivipalkissa 30...80 W/m² ja passiivipalkissa 20...30 W/m². Jäähdytyspalkin hyötyjä puhallinkonvektoriin verrattuna ovat äänettömyys, pienempi vedon tunne ja vähäinen huollon tarve, koska jäähdytyspalkissa ei ole suodatinta, joka vaihdetaan tietyin väliajoin. Jäähdytysteho voi kuitenkin olla pienempi kuin puhallinkonvektorissa, koska jäähdytyspalkkien jäähdytysverkosto mitoitetään aina ei-kondensoivaksi ja puhallinkonvektorien verkosto voidaan mitoittaa kondensoivaksi. Jäähdytystehoon vaikuttaa jäähdytysverkoston mitoituksen lisäksi laitteen koko ja malli. [2, s.150-151]



Kuva 8. Alakattoon tai vapaasti kattoon asennettavia jäähdytyspalkkeja [22].

Jäähdytyksen kattosäteilijä, jota kutsutaan myös jäähdytyspaneeliksi ja jäähdytyskatoksi, on nimensä mukaisesti kattoon asennettava paneelimainen ilmastointilaitte. Kattosäteilijän rakenne koostuu metallisesta levytasosta, jonka sisälle on kiinnitetty kupariset putket lämmönsiirtoa varten. Suuret kattosäteilijät koostaan tehdasvalmiina elementteinä, jotka liitetään toisiinsa. Kattosäteilijän toimintaperiaate on samanlainen kuin tämän työn luvussa 3.5.4 esitetyllä passiivipalkilla, eli lämmönsiirto perustuu säteilyyn ja luonnolliseen konvektioon. [2, s.146]

Kuvassa 9 on esitetty malli kattosäteilijöistä eräässä asuinkehteessä. Kattosäteilijöitä on saatavilla eri kokoisina ja ne voidaan integroida alakattoon tai ripustaa vapaasti kattoon. Vapaassa kattoasennuksessa tulee huomioida, että kytkentäputket ja venttiilit jäävät näkyviin ja että ripustettu kattosäteilijä kerää pölyä. Kondensoinnin estämiseksi kattosäteilijään johdettavan jäähdytyksen menoveden lämpötilan tulee olla esimerkiksi +15 °C ja paluuveden lämpötilan +18 °C, joiden lisäksi huoneen tuloilma tulee olla jäähdytetty. [2, s.148, s.151]

Kattosäteilijän jäähdytysteho on paneelien koosta riippuen noin 20...100 W/m². Kattosäteilijän hyötyjä ovat äänettömyys, vedottomuus, edullisuus ja vähäinen huollon tarve. [2, s.151] Jäähdytyspalkkiin verrattuna kattosäteilijän hyötyjä ovat suuri säteilypinta-ala, muuntojoustavuus ja pölyttömyys pinta-asenteisena [23].



Kuva 9. Lämmitys- ja jäähdytyskäyttöön sopivat kattosäteilijät asunnossa [23].

4 Asuinkerrostalon olosuhdesimulointi

Asuinkerrostalon jäähdytystehontarve ja kesäajan huonelämpötilojen määräystenmukaisuus selvitetään olosuhdesimuloinneilla hyödyntäen dynaamista laskentatyökalua. Tässä työssä laskentatyökaluna käytetään IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) -ohjelmaa, jonka on tuottanut ja kehittänyt ruotsalainen EQUA Simulation AB. Ohjelman avulla voidaan mallintaa rakennus ja sen talotekniset järjestelmät sekä tutkia rakennuksen lämpötasetta ja energiankulutusta.

4.1 Päivitetyt mitoitusperusteet jäähdytystehontarpeelle

Toistaiseksi Suomessa ei ole määritetty virallisia rakennusten jäähdytyksen mitoitusarvoja ja huonelämpötilojen mitoituksen sääolosuhteita, joten jäähdytystehontarpeen mitoituksessa on käytetty suunnittelutilanteen mukaisia tilojen lämpökuormia ja sää tietoina esimerkiksi ASHRAE:n vuodesta 2013 lähtien määritettämiä mitoituspäiviä tai mitä hankkeessa on erikseen sovittu. [1, s.12; 5, s.105]

Virallisten jäähdytystehon mitoitusääolosuhteiden puutteesta johtuen rakennusten jäähdytystehontarpeen ja kesäajan huonelämpötilojen mitoituksen sääolosuhteet on nyt määritetty vuonna 2022 valmistuneessa Rakentamisen mitoitussäät (RAMI) -hankkeessa ja nämä mitoituspäivien sää tiedostot ovat vapaasti saatavilla. Mitoituspäivät sekä mitoittavat entalpian ja ulkolämpötilan arvot on määritetty nykyisille ja tulevaisuuden ilmastoille. Uusien mitoituspäivien sää tiedostot ovat tulossa IDA ICE -ohjelman Suomen lokalisatiopakettiin. [5, s.124]

Rakentamisen mitoitussäät (RAMI) -hanke on kehitetty vuosina 2009-2012 toteutetun FRAME-hankkeen pohjalta, jossa määritettiin edelliset rakennusfysikaaliset testivuodet Suomen ilmastoon. RAMI-hankkeessa määritetyt uudet rakennusfysikaaliset mitoitusvuodet korvaavat FRAME-hankkeessa määritetyt testivuodet. RAMI-hankkeessa lähtötietoina käytetyt ilmastolliset aineistot oli laadittu vuonna 2020 valmistuneessa Ilmatieteen laitoksen RASMI-hankkeessa. Energialaskennan testivuoden TRY2012 korvannut TRY2020 määritettiin RAMI-hanketta aiemmassa Ilmatieteen laitoksen RASMI-hankkeessa. [5, s.iii, s.1]

Keskimääräisiä sääolosuhteita kuvaavaa energialaskennan testivuotta TRY2012 ja uusimpana TRY2020 käytetään edelleen rakennusten lämmitys- ja jäähdytysenergiankulutuksen laskennassa sekä tämän työn luvun 2.2 mukaisesti asetuksen 1010/2017 kesäajan huonelämpötilojen määräystenmukaisuuden osoittamisessa uusissa rakennuksissa. TRY-testivuotia ei ole tarkoitettu rakennuksen jäähdytystehontarpeen tai sisäolosuhteiden mitoitukseen, koska testivuosissa ei ole mukana äärimmäisiä hellejaksoja, jotka vaikuttavat merkittävästi jäähdytystehon ja kesäajan sisäolosuhteiden mitoitukseen [5, s.126].

RAMI-hankkeessa mitoituspäivät sekä mitoittavat entalpian ja ulkolämpötilan arvot määritettiin tutkimusosassa ”Huonetilojen kesäajan sisäolosuhteiden ja jäähdytystehontarpeen mitoitusolosuhteet”. Suomen neljälle säävyöhykkeelle valittiin vuoden jokaista kuukautta kuvaavat mitoituspäivät ja -arvot nykyiselle ja tulevaisuuden ilmastoille. [5, s.105] Jäähdytyksen mitoituspäivät sekä mitoittavat entalpian ja ulkolämpötilan arvot määritettiin RAMI-hankkeessa seuraavasti:

- Säävyöhykkeille Vantaa (säävyöhyke I), Jokioinen (säävyöhyke II), Jyväskylä (säävyöhyke III) ja Sodankylä (säävyöhyke IV).
- Nykyiselle ilmastolle ja tulevaisuuden ilmastolle vuosille 2030, 2050 ja 2080 päästöskenaarioilla RCP2.6 (matalin), RCP4.5 ja RCP8.5 (korkein).
- Riskitasoille 1% (äärimmäinen), 2% (kuuma) ja 5% (lämmin) 30 vuotisesta sääaineistosta (1989-2018). Riskitaso on sääsuureen arvo, esimerkiksi vuorokauden keskilämpötila, joka ylittyy x% ajanjakson päivistä.

RAMI-hankkeen tulosten perusteella ilmastonmuutoksen vaikutus rakennusten jäähdytyksen mitoitukseen riippuu päästöskenaariosta ja kuinka kaukana tulevaisuudessa mitoitusta tarkastellaan. Matalimmalla ja keskitason päästöskenaarioilla (RCP2.6 ja RCP4.5) vuosina 2030 ja 2050 ilmastonmuutoksen vaikutus sisäolosuhteisiin ja jäähdytyksen mitoitukseen on suhteellisen vähäinen, mutta korkeimmalla päästöskenaariolla (RCP8.5) ilmastonmuutos vaikuttaa suuresti

jäähdytystehontarpeen mitoitukseen vuoden 2050 jälkeen. Tulosten mukaan riskitason valinnalla on riskitasosta ja päästöskenaariosta riippuen kuitenkin suurempi vaikutus mitoitussääolosuhteisiin kuin ilmastonmuutoksella. [5, s.125]

RAMI-hankkeen mukaan [5, s.114] vuoteen 2080 mennessä kesäkuukausien mitoituspäivien maksimilämpötilan ja -entalpian kasvut olivat keskimäärin:

- Päästöskenaariolla RCP2.6 (matalin) noin 1 °C ja noin 2 kJ/kg
- Päästöskenaariolla RCP4.5 (keskitaso) noin 2 °C ja noin 5 kJ/kg
- Päästöskenaariolla RCP8.5 (korkein) noin 4 °C ja noin 10 kJ/kg

Tässä insinööriyössä simuloitavan case-asuinkerrostalon sisäolosuhteita ja jäähdytystehontarpeita tarkastellaan nykyisellä ilmastolla ja RAMI-hankkeessa määritetyillä tulevaisuuden ilmastoilla 2050 ja 2080 keskitason päästöskenaariolla RCP4.5. Tämä skenaario noin 2 °C lämpötilakasvulla ja noin 5 kJ/kg entalpiakasvulla vuoteen 2080 mennessä vastaisi nykyisiä arvioita [5, s.4], joiden mukaan lämpötila kasvaisi noin 2 °C vuoteen 2080 mennessä, jos päästöjä saadaan rajoitettua voimakkaasti.

4.2 Jäähdytystehontarpeen ja kesäajan sisäolosuhteiden mitoitus

Rakennuksen jäähdytysteho ja huoneiden sisäolosuhteet mitoitetaan laatimalla rakennuksesta simulointiohjelman avulla lämpödynaaminen malli, joka sisältää rakenteet, aurinkosuojaukset, talotekniset järjestelmät ja laitteet, ilmanvaihdon, sisäiset lämpökuormat, käyttöajat ja sisälämpötilojen tavoitearvot. Mitoituksessa valitaan sääolosuhteet ja mitoituksessa voidaan hyväksyä tietty määrä säävyöhykkeellä esiintyviä, sääolosuhteita lämpimämpiä jaksoja, joita ovat mitoituspäivien riskitaso 1% (äärimmäinen), 2% (kuuma) ja 5% (lämmin). [5, s.105]

Tarkan olosuhdesimuloinnin sijasta voidaan esimerkiksi luonnossuunnitteluvaiheessa käyttää entalpiaan perustuvaa yksinkertaistettua laskentaa. Sisäilmasto- luokitus 2018 mukaan [9, s.14] kesäajan jäähdytyksen mitoituksessa käytetään

entalpiaa 57 kJ/kg (Pohjois-Suomessa 52 kJ/kg) ja lauhduttimelle tai liuosjäähdyttimelle tulevan ilman lämpötilana käytetään vähintään +30 °C. Entalpiarvoa 55 kJ/kg (Pohjois-Suomessa 50 kJ/kg) käytettiin vuoteen 2018 asti, kun rakentamismääräyskokoelma D2/2012 muuttui asetukseksi 1009/2017.

Yksinkertaistetussa jäähdytyksen mitoituksessa on huomioitava, että yleisesti käytetty Sisäilmastoluokitus 2018:n mukainen entalpiarvo 57 kJ/kg (Pohjois-Suomessa 52 kJ/kg) on matala verrattuna Ilmatieteen laitoksen mittaamiin poikkeuksellisiin hellejaksoihin ja aiemmin esitellyssä RAMI-hankkeessa määritettyihin tulevaisuuden mitoituspäiviin. Vuoden 2018 hellejaksona Helsingissä mitatun entalpiarvon mitoitusarvo olisi ollut noin 62 kJ/kg [1, s.13] ja RAMI-hankkeen tulevaisuuden mitoituspäivillä entalpia kasvaa keskitason päästöskenaariolla keskimäärin noin 5 kJ/kg, joten tulevaisuuden säälläkin entalpiarvo voisi olla noin 62 kJ/kg. Jäähdytyksen mitoituksessa käytettävää entalpiarvoa ei ole esitetty määräyksissä, joten se suositellaan sovittavaksi projektissa.

4.3 Simuloitava kohderakennus

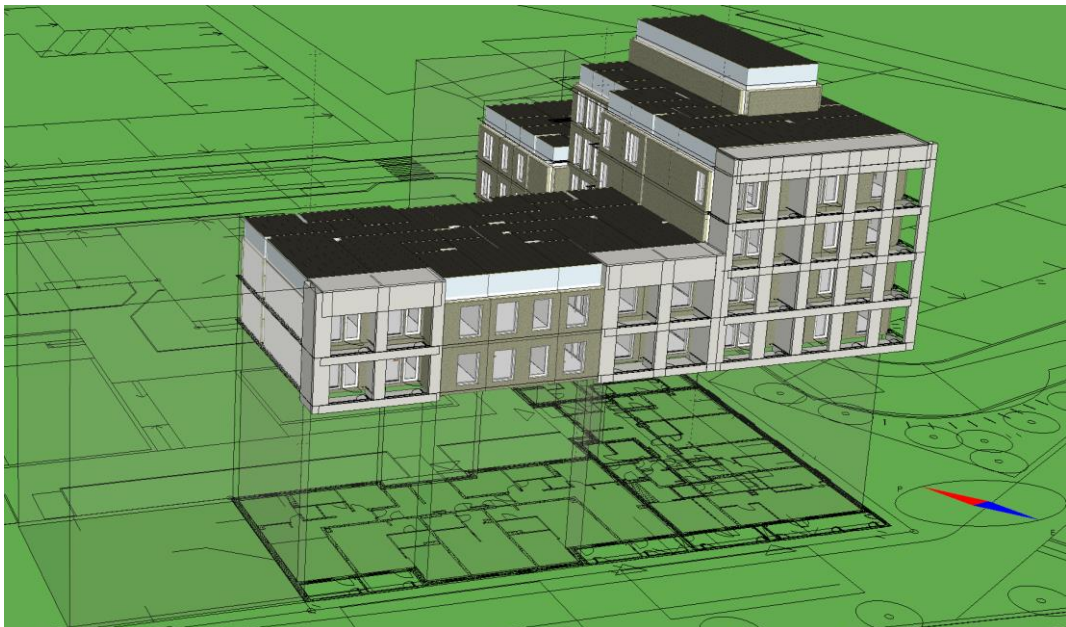
Olosuhdesimuloinnit laaditaan vuonna 2021 valmistuneelle asuinkerrostalolle, jonka LVIA-suunnittelusta vastasi insinööritoimiston tilaaja Ramboll Finland Oy. Kohde valittiin sen soveltuvuuden johdosta simulointien laadintaa ja jäähdytyksen huonelaitteiden vertailua varten. Etelä-Suomessa sijaitsevassa kohteessa on 64 asuntoa, ja kerrokset on jaettu kuuteen ja kahdeksaan kerrokseen sekä yhdeksännen kerroksen IV-konehuoneeseen.

Asunnoissa on osittain ranskalaisia parvekkeita ja lasitettuja parvekkeita. Asuntojen ilmanvaihto on toteutettu keskitetyllä ilmanvaihtokoneella, jossa on jäähdytyspatteri tuloilman viilennystä varten, ja asunnoissa on yhteinen lattialämmitys ja -viilennys. Lattialämmityksen ja -viilennyksen yhteisen putkijärjestelmän vaihtoventtiilit (change-over) sijaitsevat lämmönjakohuoneessa, ja kylpyhuoneiden mukavuuslattialämmitykselle on erillinen lämmitysverkosto. Vedenjäähdytyslaitteistona toimii kaukojäähdytyksen alajakokeskus.

4.4 Rakennuksen mallin laadinta IDA ICE -simulointiohjelmistolla

Kesäajan huonelämpötilojen ja jäähdytystehontarpeen laskentaa varten rakennuksesta ja sitä ympäröivistä varjostavista elementeistä laaditaan laskentamalli IDA ICE -ohjelman avulla. Lähtötietoina käytetään ajantasaisia asema- ja pohjapiirustuksia, leikkaus- ja julkisivupiirustuksia, tietomalleja ja rakennetyyppejä. Kuvassa 10 on esitetty kohderakennuksesta laadittu laskentamalli, jossa on mallinnettu 5-6 kerrokset sekä erilliset 7-8 kerrokset ja ylin IV-konehuone. Tarkan jäähdytystehontarpeen selvittämiseksi tulee mallintaa koko rakennus.

Lämpöolosuhteiltaan kriittisimpien huoneistojen selvittämisessä mallinnetaan IDA ICE:ssa esimerkiksi kaksi ylintä kerrosta huonetiloineen, jolloin koko rakennusta ei ole tarvetta mallintaa tarkasti ja laskenta-aika nopeutuu. Rakennuksen tietomallin ifc-tiedostoa ei suositella tuotavaksi suoraan IDA ICE -projektiin, koska ohjelma ei välttämättä kykene käsittelemään mallia ja suorittamaan laskentaa. Tästä syystä rakennuksen vyöhykkeet, aukotukset ja varjostukset suositellaan mallintamaan IDA ICE:ssa käyttämällä muokattuja dwg-pohjapiirustuksia, joissa on näkyvillä pelkästään rakennuksen seinät, hormit, ovet ja ikkunat.



Kuva 10. IDA ICE -ohjelmalla laadittu laskentamalli kohderakennuksesta.

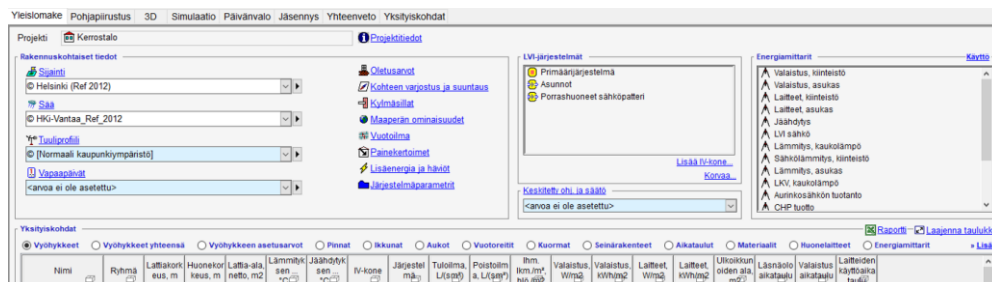
IDA ICE -projekti aloitetaan ohjelman käynnistyksen yhteydessä avautuvasta portaalista, joka näyttää asennettuun ohjelmaan liittyvät tiedot ja muita tietoja. IDA ICE -ohjelmasta on olemassa kolme versiota: Viewer, Standard ja Expert, joista Expert-versiolla voidaan muun muassa mallintaa jäähdytyslaitteita ja tehdä jäähdytystehontarpeen laskentaa. Ohjelmassa toimiva Suomi-lokalisaatio sisältää määräysten mukaiset arvot eri käyttötarkoituseräluokkien mukaisille rakennuksille ja arvot tulevat automaattisesti mallinnettaviin vyöhykkeisiin.

Projektin aloituksessa yleislomake-sivulla määritetään kohdekohtaiset sijainti-, sää- ja rakennustiedot sekä LVI-järjestelmien tiedot kuvan 11 mukaisesti. Simulaatioissa käytettäväksi säätiedostoksi voidaan valita esimerkiksi TRY2012-testivuosi tai projektille voidaan tuoda jokin muu simulaatioissa käytettävä säätiedosto. Tässä työssä simulaatioissa käytetään TRY2012-testivuoden lisäksi RAMI-hankkeessa määritettyjä säätiedostoja tulevaisuuden ilmastoille.

Yleislomake-sivulla tarkastuksia ja muutoksia vaativat osiot ovat yleensä:

- Rakennuskohtaisissa tiedoissa sijainti ja sää
- Oletusarvot, kohteen varjostus ja suuntaus sekä maaperän ominaisuudet
- Vuotoilma sekä lisäenergia ja häviöt
- LVI-järjestelmät ja energiamittarit

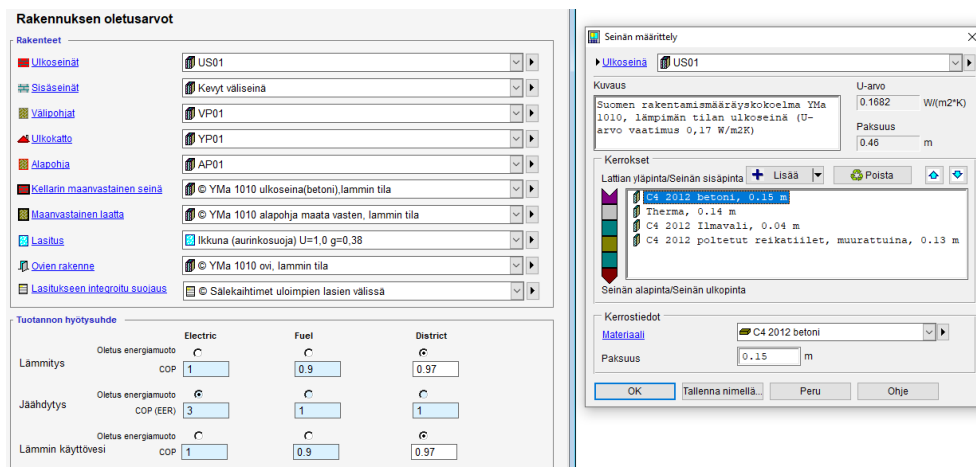
Yliämmön astetuntien ajanjakso muutetaan simulaatio-välilehdellä asetuksissa.



Kuva 11. IDA ICE -projektin yleislomake-sivu.

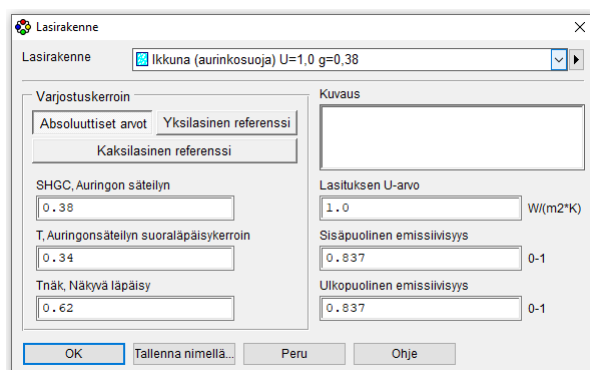
4.4.1 Rakenteet, vyöhykkeet ja varjostukset

Laskentamallissa käytettävät rakennetyypit määritetään kuvan 12 mukaisesti oletusarvot-osiossa ja lähtötietoina käytetään esimerkiksi kohteen rakennesuunnitelmista saatavia rakennetyyppejä. Tarvittaessa rakenteita muokataan ohjelmassa siten, että materiaalit, paksuus ja U-arvo vastaavat rakennesuunnitelmaa. Muokatut rakenteet ja ikkunat tallennetaan nimellä uusiksi resursseiksi.



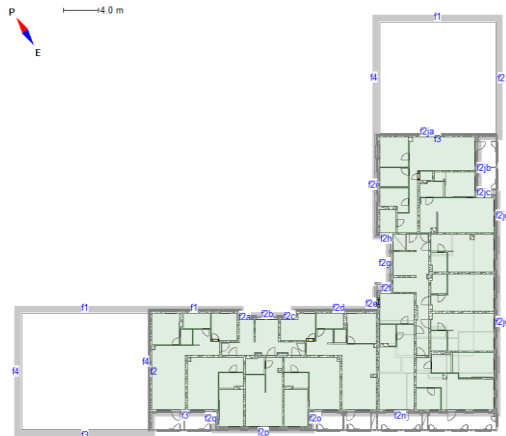
Kuva 12. Oletusarvoissa määritettävät rakenteet.

Ikkunoiden ja parvekeovien lasirakenteet määritetään kuvan 13 mukaisesti. Lähtötietona käytetään esimerkiksi arkkitehdin suunnitelmista saatavia ikkunatietoja, joissa on esitetty lasirakenteen U- ja g-arvot. Tämän työn kohteessa on käytetty aurinkosuojalaseja, joiden U-arvo on 1,0 W/(m²*K) ja g-arvo on 0,38.



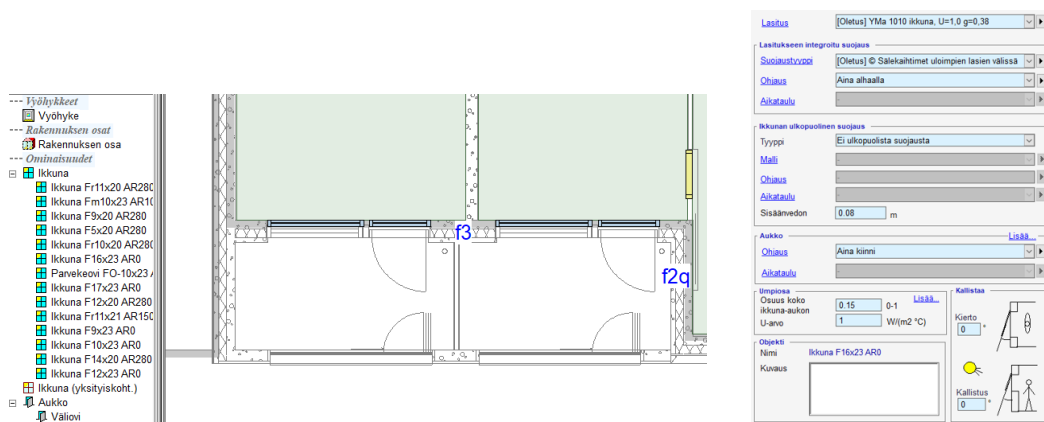
Kuva 13. Oletusarvoissa määritettävät lasituksen rakenteet.

Rakennuksen vyöhykkeet määritetään kuvan 14 mukaisesti ohjelman pohjapiirustus-välilehdellä. Pohjapiirustukset liitetään ”Tuo”-painikkeella ja kerroskohtainen katselukorkeus muutetaan ”Korkeus”-painikkeella. Rakennuksen muoto mallinnetaan ensin ulkoseinien sisäpintojen mukaisesti valitsemalla paletista ”Rakennuksen osa”, jonka jälkeen huoneet mallinnetaan ”Uusi vyöhyke”-painikkeella. Rakennus, vyöhykkeet ja tuodut objektit lukitaan ”Lukitse”-painikkeella.



Kuva 14. Rakennuksen 6. kerroksen vyöhykkeet ja ympäröivät rakennukset.

Vyöhykkeiden aukotukset määritetään kuvan 15 mukaisesti. Jokaiselle ikkunalle tehdään oma resurssi ikkunan koon ja alarajan mukaan. Ulkopuolisen sisäänvedon pituus ja ikkunan umpiosan osuus mitataan esimerkiksi arkkitehdin tietomallista. Huoneiden väliovet asetetaan aina auki oleviksi ja kylpyhuoneiden ovet aina kiinni oleviksi. Asuntojen ulko-ovia porrashuoneeseen ei mallinneta.



Kuva 15. Ikkunoiden ja väliovien määrittäminen vyöhykkeissä.

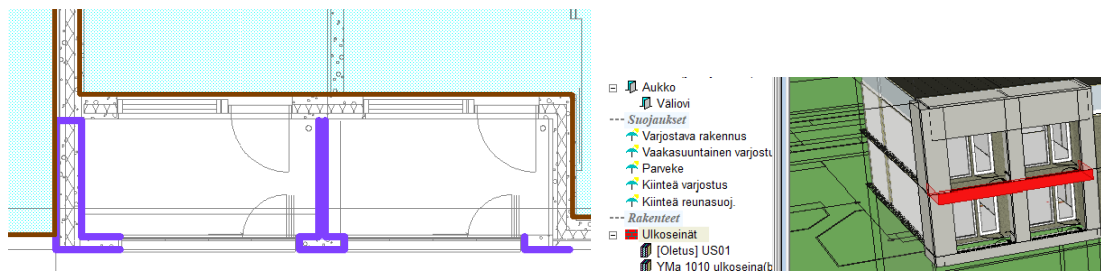
Kun tämän työn lukujen 4.4.3 ja 4.4.4 mukaiset LVI-järjestelmät on laadittu, muokataan vyöhykkeessä huoneen asetusarvot ja laitteet kuvan 16 mukaisesti. Kohteen asunnoissa on lattialämmitys ja -viilennys, joten lattiaan on lisätty huonelaitteeksi LJ-lattia. Jos katossa olisi puhallinkonvektori, niin se lisättäisiin kattoon. Huonelaitteessa muokataan lämmityksen ja jäähdytyksen mitoitussarvot.

Kun kerroksen vyöhykkeet aukotuksineen ja huonelaitteineen on määritetty tarkasti, voidaan vyöhykkeet valita yksitellen ja kopioida seuraavaan kerrokseen.

Nimi	Tyyppi	Ulkoseinä ala, m2	Kytkeyty	Atsimuuttikulma, °	Kaltevuuskulma, °	Rakenne	U-arvo, W/(m2 K)	Paksuus, m	Kerrosmateriaali	Kerrosksuus, m	Kerrosksuus, m	Kerrosksuus, m	Kerrosksuus, m	Kerrosksuus, m	Kerrosksuus, m	Kerrosksuus, m	Kerrosksuus, m
Lattia	Sisälä	12.08	Ei mit...		0.0	[Oletu...	0.7562	0.405	© C4 ...	0.015	© C4 ...	0.035	© C4 ...	0.035	© C4 ...	0.32	
Katto	Sisälä	12.08	A24...	180.0		[Oletu...	0.7562	0.405	© C4 ...	0.32	© C4 ...	0.035	© C4 ...	0.035	© C4 ...	0.015	
Seinä 1	Sisälä	7.314	A19...	29.4	90.0	[Oletu...	0.3409	0.092	© C4 ...	0.013	© C4 ...	0.066	© C4 ...	0.013			
Seinä 2	Sisälä	11.17	A18...	119.4	90.0	Beton...	3.704	0.2	© C4 ...	0.2							
Seinä 3	Ulkos...	4.514	Vyöh...	209.4	90.0	[Oletu...	0.1682	0.46	© C4 ...	0.15	Therma	0.14	© C4 ...	0.04	© C4 ...	0.13	
Seinä 4	Sisälä	9.487	A19...	299.4	90.0	<seko...	<seko...	0.46 / ...									

Kuva 16. Huonetilan vyöhykkeen asetusarvot ja huonelaitteet.

Rakennusta varjostavat elementit, kuten parvekkeiden pystysuuntaiset rakenteet, määritetään kuvan 17 mukaisesti yleislomake-välilehdellä kohteen varjostus ja suuntaus -osiossa. Tämän jälkeen parvekkeet mallinnetaan 3D-välilehdellä, jossa parvekelasien aukot saadaan määritettyä parvekelataan kohdalla valitsemalla "Grid", eli ruudukon parametrit -valikon.



Kuva 17. Pystysuuntaiset varjostukset ja 3D-välilehden parvekemäärittelyt.

4.4.2 Sisäiset lämpökuormat

Sisäisten lämpökuormien (ihmiset, valaistus ja laitteet) arvot määräytyvät ohjelmassa automaattisesti rakennuksen käyttötarkoitukseluokan mukaan, mutta mallinnettujen vyöhykkeiden lämpökuormat tulee kuitenkin lopulta tarkistaa yleislomake-sivulla. Asetuksessa 1010/2017 käyttötarkoitukseluokan 2 arvot ovat [7]:

- ihmiset 3 W/m², mutta IDA ICE:ssa määritetään henkilötiheydellä, joka on D3 oppaan mukaan kerrostalossa $1/28 = 0.0357$ hlö/m² [24, s.15]
- valaistus 9 W/m²
- laitteet 4 W/m²

Sisäistä lämpökuormaa aiheuttaa myös lämpimän käyttöveden lämpöhäviö, joka määritetään ohjelman lisäenergia ja häviöt -osiossa kuvan 18 mukaisesti. Keskimääräinen LKV:n kulutus on laskettu vähentämällä 15 % käyttöveden lämmitysenergian vuosittaisesta nettotarpeesta, joka on 35 kWh / (m² a) asetuksen 1010/2017 mukaisesti [7]. Kohteessa on vakiopaineventtiili, joten käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeesta voidaan asetuksen mukaan vähentää 15 %.

Koska tarkempaa tietoa ei ole saatavilla, niin tässä uudiskohteessa lämpimän käyttöveden jakeluhäviö on 1,2 W/m² ($6 \text{ W/m} \cdot 0,2 \text{ m/m}^2$) [25, s.46] ja asetuksen 1010/2017 mukaisesti lämpökuormaksi tuleva osuus tiloihin on 50 % [7]. Lämpimän käyttöveden kiertoon liitettyjä lämmityslaitteita ei ole pesutiloissa.

Lisäenergia ja häviöt

Domestic hot water use

Keskimääräinen LKV:n kulutus: 29.75 kWh/(lattia-m²,vuosi) [LKV jakelu](#)

© Jatkuva käyttö

[T_DHW = 55°C (saapuva 5°C); lisää yksityiskohtia täältä [Lämmön- ja jäähdytyksen tuotto](#) ja lämmöntuotto] [Käyrä automaattisesti uudellen skaalataan annettuun keskimääräiseen käyttöön]

Jakelujärjestelmän häviöt

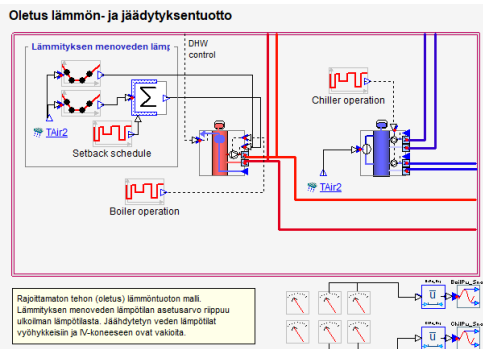
Lämmin käyttövesi: 1.2 W/(m² lattia-ala) 50 % tiloihin*

Lämpö vyöhykkeisiin: 10 W/m² [Lämmitysjärjestelmän lämmöntuoton osuus \[%\]\(ml. ideaaliset lämmityslaitteet\)](#) 0 % tiloihin*

Kuva 18. Lisäenergia ja häviöt -osiossa lämpimän käyttöveden häviöt.

4.4.3 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät

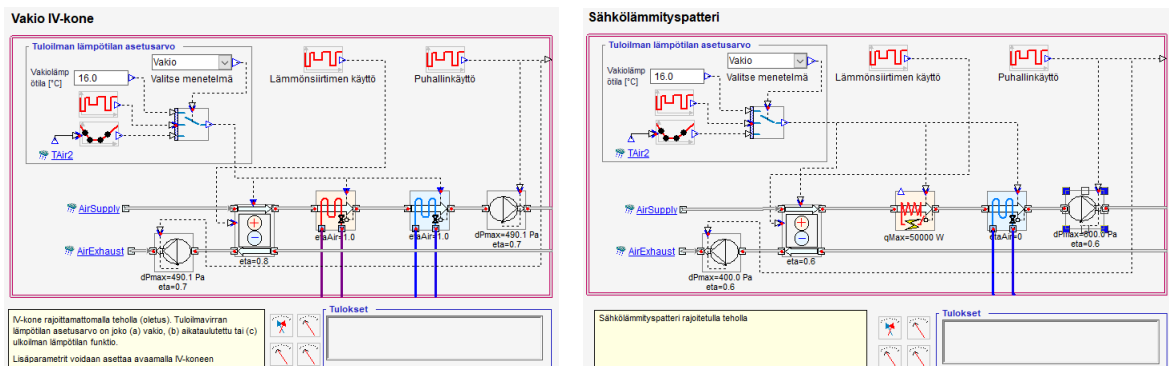
Rakennuksen lämmityksen ja jäähdytyksen tuotantolaitteiston tiedot määritetään primäärijärjestelmässä kuvan 19 mukaisesti. Tässä IDA ICE:n luomassa kaaviossa keskellä on lämmityslaitteisto ja oikealla jäähdytyslaitteisto. Mitoitusarvot tarkistetaan laitteiden kohdalla ja kytkentöjä voidaan tarvittaessa muuttaa.



Kuva 19. Rakennuksen lämmityksen ja jäähdytyksen tuotantolaitteisto.

4.4.4 Ilmanvaihtokoneet

Ilmanvaihtokoneet määritetään myös LVI-järjestelmissä kuvan 20 mukaisesti. Asuntojen IV-koneen kaavio on esitetty vasemmalla ja porrashuoneiden IV-koneen kaavio oikealla. Porrashuoneiden IV-koneen jäähdytyspatteri on asetettu 0-arvolle, koska porrashuoneissa ei ole tuloilman viilennystä. Mitoitusarvot muutetaan laitteiden kohdalla kohteen IV-koneiden mitoitusarvojen mukaisiksi.



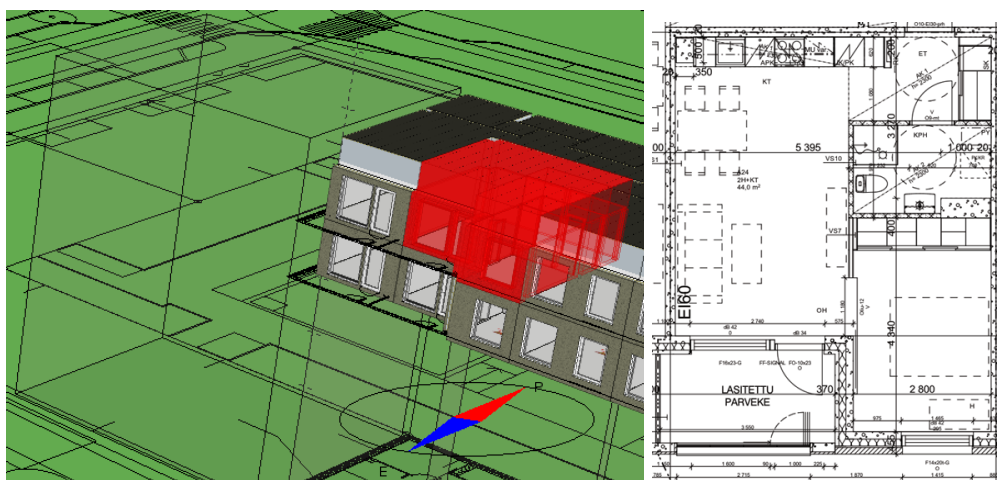
Kuva 20. Asuntojen IV-kone ja porrashuoneiden sähkölämmitetty IV-kone.

5 Olosuhdesimuloinnin tulosten tarkastelu

Kun rakennuksen ylälämpenemissimulaatio tai jäähdytystarpeen laskenta on ajettu IDA ICE:n simulaatio-välilehdellä, voidaan tuloksia tarkastella yhteenveto-välilehdellä tai simuloinnin raportissa. Ylälämmön astetuntitarkastelun summat esitetään yhteenvedon sarakkeessa ”Jäähdytysrajan astetuntisumma”.

5.1 Rakennuksen kesäajan lämpöolosuhteet

Ylälämpösimuloinnissa kesäajan lämpöolosuhteiltaan kriittisimmäksi asunnoksi osoittautui kuvan 21 mukaisesti ylimmässä kuudennessa kerroksessa sijaitseva kahden huoneen asunto, joka on ilmansuunnaltaan etelä- ja länsisuunnassa. Asunnon varjostavana rakenteena toimii lasitettu parveke, jonka vaikutus lämpöolosuhteisiin on esitetty luvussa 5.2. Kohderakennuksen päädyissä on myös jatkeena rakennuksia, mutta ne eivät varjosta tarkasteltavaa asuinhuoneistoa.



Kuva 21. Lämpöolosuhteiltaan kriittisin asunto etelä- ja länsisuunnassa.

Aluksi simuloinnit ajettiin tilanteessa, jossa ei ole parveketta mallinnettuna, jäähdytysjärjestelmä on pois päältä ja ilmanvaihto on normaalitilanteessa. Simulointien mukaiset asuinhuoneiden operatiiviset lämpötilat ja astetunnit on esitetty nykyisessä ja tulevaisuuden ilmastoissa taulukossa 1. Tarkasteluissa on käytetty operatiivista lämpötilaa, koska se kuvaa paremmin lämmöntuntemusta. Hyväksyttävät astetunnit on merkitty vihreällä ja liian suuret astetunnit punaisella.

Taulukko 1. Yliämpötarkastelu ilman varjostavaa parveketta, ei jäähdytystä.

2H asunnon simuloitavat huonetilat	Ilmavirrat tulo / poisto dm ³ /s	Max oper lämpötila °C TRY2012	Astetuntisumma °Ch TRY2012	Max oper lämpötila °C 2050 (RCP4.5)	Astetuntisumma °Ch 2050 (RCP4.5)	Max oper lämpötila °C 2080 (RCP4.5)	Astetuntisumma °Ch 2080 (RCP4.5)
Olohuone 21 m ²	+8 / -10	+29,6	650	+30,4	1570	+30,9	2100
Makuuh. 12 m ²	+12	+29,2	350	+30,0	1010	+30,6	1480

Energiatohokkuusasetuksen 1010/2017 mukaan kesäajan huonelämpötila uudessa asuinkerrostalossa ei saa ylittää jäähdytysrajan arvoa +27 °C enemmän kuin 150 astetuntia 1.6 – 31.8 välisenä aikana suunnittelun mukaisella ilmavirralla [7], ja koska tulosten astetunnit ylittävät raja-arvon 150 tuntia nykyisessä ilmastossakin, tarkastellaan seuraavaksi varjostusten vaikutusta astetunteihin.

5.2 Passiivisten varjostavien rakenteiden vaikutus

Asuntoa varjostaa parveke, joka on mallinnettu kuvan 17 mukaisesti ja huoneiden ikkunoiden väliin on asetettu sälekaihtimet kuvan 15 mukaisesti. Varjostavan parvekkeen vaikutus astetunteihin on esitetty taulukossa 2. Nykyilmastossa TRY2012 parvekkeen varjostus alensi kuumimpana päivänä operatiivisia lämpötiloja noin 0,5 - 1 °C ja alensi astetunteja olohuoneessa -380 astetuntia ja makuuhuoneessa -180 astetuntia. Astetunnit eivät ole hyväksyttävällä tasolla, joten seuraavaksi tarkastellaan ilmanvaihdon yötuuletuksen vaikutusta astetunteihin.

Taulukko 2. Yliämpötarkastelu varjostavalla parvekkeella, ei jäähdytystä.

2H asunnon simuloitavat huonetilat	Ilmavirrat tulo / poisto dm ³ /s	Max oper lämpötila °C TRY2012	Astetuntisumma °Ch TRY2012	Max oper lämpötila °C 2050 (RCP4.5)	Astetuntisumma °Ch 2050 (RCP4.5)	Max oper lämpötila °C 2080 (RCP4.5)	Astetuntisumma °Ch 2080 (RCP4.5)
Olohuone 21 m ²	+8 / -10	+28,6	270	+29,7	1050	+30,1	1570
Makuuh. 12 m ²	+12	+28,7	170	+29,9	720	+30,4	1170

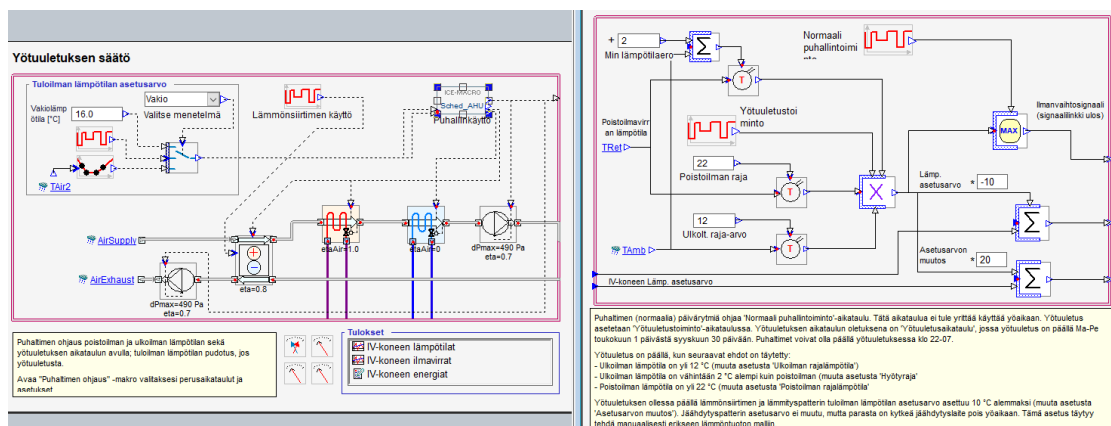
5.3 Yötuuletus

Yötuuletuksen vaikutus asetunteihin on esitetty taulukossa 3 ja yötuuletukseen liittyvä järjestelmäkaavio kuvassa 22. Yötuuletuksessa ilmanvaihtokone ohjelmoidaan siirtymään esimerkiksi +30 % ilmavirtojen tehostukseen yön ajaksi klo 22.00 – 7.00 välille, kun ulkolämpötila laskee sisälämpötilan alapuolelle. Tällöin sisälämpötila on esimerkiksi yli 22 °C ja ulkoilman lämpötila on yli 2 °C alhaisempi kuin sisälämpötila (ulkolämpötilan alaraja kuitenkin +12 °C).

Taulukko 3. Yliämpötarkastelu ilmanvaihdon yötuuletuksella, ei jäähdytystä.

2H asunnon simuloitavat huonetilat	Ilmavirrat tulo / poisto dm ³ /s	Max oper lämpötila °C TRY2012	Asetuntisumma °Ch TRY2012	Max oper lämpötila °C 2050 (RCP4.5)	Asetuntisumma °Ch 2050 (RCP4.5)	Max oper lämpötila °C 2080 (RCP4.5)	Asetuntisumma °Ch 2080 (RCP4.5)
Olohuone 21 m ²	+8 / -10	+28,2	120	+29,2	565	+29,7	970
Makuuh. 12 m ²	+12	+28,3	65	+29,4	355	+29,9	650

Nykyilmastossa yötuuletus alensi kuumimpana päivänä operatiivisia lämpötiloja 0,4 °C ja asetunteja olohuoneessa -150 asetuntia ja makuuhuoneessa -105 asetuntia. Nykyilmastossa asetunnit ovat määräysten mukaiset, mutta tarkastellaan seuraavaksi vielä ilmanvaihdon tehostuksen vaikutus ennen jäähdytystä.



Kuva 22. Yötuuletuksen ja puhallinkäytön kaaviot IDA ICE:ssä.

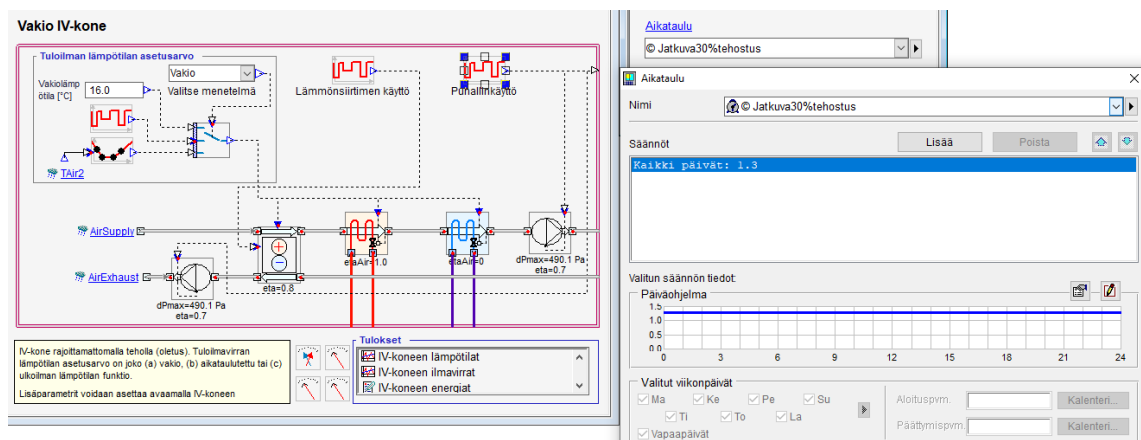
5.4 Ilmanvaihdon tehostus

Ilmanvaihdon tehostuksen vaikutus astetunteihin on esitetty taulukossa 4 ja puhallinkäytön kaavio kuvassa 23. Tehostuksessa ilmamääriä kasvatetaan +30 % ja ilmanvaihdon tehostusta voidaan käyttää ylälämpölaskelmissa, jos normaalin käyttöajan äänitasot eivät ylitä, esimerkiksi asuinhuoneessa 28 dB(A) [24, s.11].

Taulukko 4. Ylälämpötarkastelu ilmanvaihdon tehostuksella, ei jäähdytystä.

2H asunnon simuloitavat huonetilat	Ilmavirrat tulo/poisto dm ³ /s (tehostus +30 %)	Max oper lämpötila °C TRY2012	Astetuntisumma °Ch TRY2012	Max oper lämpötila °C 2050 (RCP4.5)	Astetuntisumma °Ch 2050 (RCP4.5)	Max oper lämpötila °C 2080 (RCP4.5)	Astetuntisumma °Ch 2080 (RCP4.5)
Olohuone 21 m ²	+8 / -10 (+10 / -12)	+28,0	70	+29,0	275	+29,3	560
Makuuh. 12 m ²	+12 (+15)	+28,1	30	+29,0	175	+29,6	360

Nykyilmastossa ilmanvaihdon tehostus alensi kuumimpana päivänä operatiivisia lämpötiloja 0,2 °C ja astetunteja olohuoneessa -50 astetuntia ja makuuhuoneessa -35 astetuntia. Nykyilmastossa astetunnit ovat määräysten mukaiset, mutta tulevaisuuden ilmastoilla 2050 ja 2080 astetunnit eivät täytä määräyksiä. Seuraavaksi tarkastellaan koneellisen jäähdytyksen vaikutusta astetunteihin.



Kuva 23. Ilmanvaihdon tehostus ja puhallinkäytön kaaviot IDA ICE:ssä.

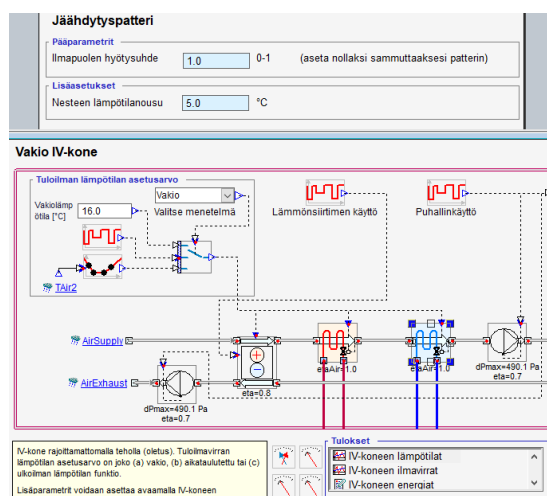
5.5 Tuloilman viilennys

Tuloilman viilennyksen vaikutus asetunteihin on esitetty taulukossa 5 ja tuloilman viilennykseen liittyvät asetukset IDA ICE:ssä kuvassa 24. Simuloinnin tulosten perusteella lisäämällä jäähdytyspatterin ilmanvaihtokoneeseen saadaan huoneiston asetunnit täyttämään nykyiset määräykset myös tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa eikä asetunneissa ylitetä +27 °C jäähdytysrajan arvoa.

Taulukko 5. Yliämpötarkastelu tuloilman viilennyksellä.

2H asunnon simuloitavat huonetilat	Ilmavirrat tulo/poisto dm ³ /s	Max oper lämpötila °C TRY2012	Asetunti-summa °Ch TRY2012	Max oper lämpötila °C 2050 (RCP4.5)	Asetunti-summa °Ch 2050 (RCP4.5)	Max oper lämpötila °C 2080 (RCP4.5)	Asetunti-summa °Ch 2080 (RCP4.5)
Olohuone 21 m ²	+8 / -10	+26,4	0	+26,9	0	+27,0	0
Makuuh. 12 m ²	+12	+26,2	0	+26,6	0	+26,9	0

Nykyilmastossa tuloilman viilennys alensi kuumimpana päivänä operatiivisia lämpötiloja noin 2 °C, vuoden 2050 ilmastossa noin 2 °C ja vuoden 2080 ilmastossa noin 2,5 °C. Seuraavaksi tarkastellaan, miten tuloilman viilennyksen lisäksi muut jäähdytyslaitteet vaikuttavat huoneiston operatiivisiin lämpötiloihin.



Kuva 24. Tuloilman viilennyksen asetukset IDA ICE:ssä.

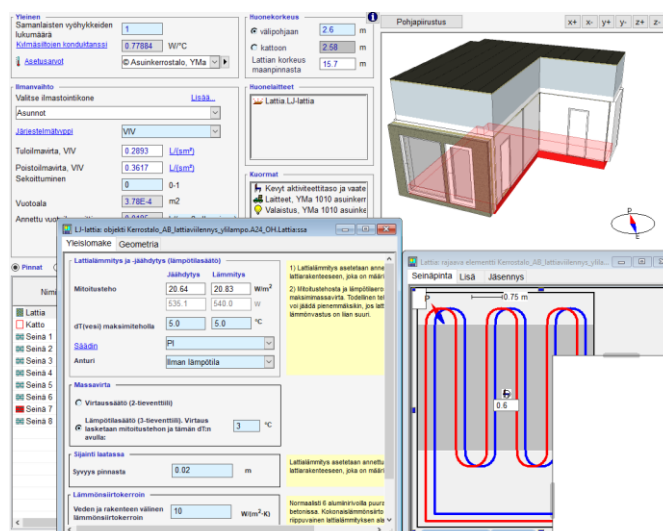
5.6 Lattiaviilennys

Lattiaviilennyksen vaikutus operatiivisiin lämpötiloihin tuloilman viilennyksen ohella on esitetty taulukossa 6 ja lattiaviilennyksen määrittäminen kuvassa 25. Lattiaviilennyksen mitoitusarvot on saatu kohderakennuksen suunnitelmista.

Taulukko 6. Yliämpötarkastelu lattiaviilennyksellä ja tuloilman viilennyksellä.

2H asunnon simuloitavat huonetilat	Ilmavirrat tulo/poisto dm ³ /s	Max oper lämpötila °C TRY2012	Astetuntisumma °Ch TRY2012	Max oper lämpötila °C 2050 (RCP4.5)	Astetuntisumma °Ch 2050 (RCP4.5)	Max oper lämpötila °C 2080 (RCP4.5)	Astetuntisumma °Ch 2080 (RCP4.5)
Olohuone 21 m ²	+8 / -10	+26,3	0	+26,8	0	+27,0	0
Makuuh. 12 m ²	+12	+26,1	0	+26,6	0	+26,9	0

Simuloinnin tulosten perusteella tuloilman viilennyksen jälkeen lattiaviilennyksen lisäyksellä ei ollut vaikutusta operatiivisiin lämpötiloihin kuumimpana päivänä, joten operatiiviset lämpötilat laskivat 0,1 °C tai pysyivät samana. Tämä johtuu siitä, että lattiaviilennyksen rajoitetusta viilennystehosta johtuen lattiaviilennyksellä ei saatu alennettua sisäilman lämpötiloja kuumimpina päivinä.



Kuva 25. Lattiaviilennyksen määrittäminen olohuoneessa IDA ICE:ssä.

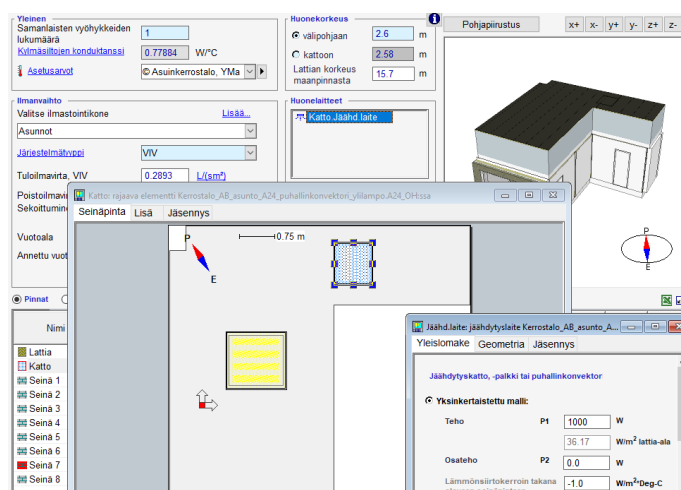
5.7 Jäähdytys puhallinkonvektorilla

Puhallinkonvektorin vaikutus operatiivisiin lämpötiloihin tuloilman viilennyksen ohella on esitetty taulukossa 7 ja puhallinkonvektorin määrittäminen kuvassa 26. Puhallinkonvektorin mitoitus on esitetty liitteessä 1 ja tässä tarkastelussa laitteen jäähdytysteho on asetettu normaalitilanteen teholle (mitoitustiedoissa piste 2).

Taulukko 7. Yliämpötarkastelu puhallinkonvektorilla ja tuloilman viilennyksellä.

2H asunnon simuloitavat huonetilat	Ilmavirrat tulo/poisto dm ³ /s	Max oper lämpötila °C TRY2012	Astetuntisumma °Ch TRY2012	Max oper lämpötila °C 2050 (RCP4.5)	Astetuntisumma °Ch 2050 (RCP4.5)	Max oper lämpötila °C 2080 (RCP4.5)	Astetuntisumma °Ch 2080 (RCP4.5)
Olohuone 21 m ²	+8 / -10	+26,2	0	+26,3	0	+27,0	0
Makuuh. 12 m ²	+12	+25,8	0	+25,8	0	+25,8	0

Tuloilman viilennyksen jälkeen puhallinkonvektorin lisäys alensi nykyilmastossa operatiivisia lämpötiloja kuumimpana päivänä 0,2 – 0,4 °C, vuoden 2050 ilmastossa 0,6 – 0,8 °C ja vuoden 2080 ilmastossa 0 – 1,0 °C. Eteiseen sijoitetulla laitteella makuuhuoneen korkeimmat lämpötilat pysyivät +25,8 °C kaikkien mitoitukskausien kuumimpana päivänä.



Kuva 26. Puhallinkonvektorin määrittäminen olohuoneen eteisessä IDA ICE:ssä.

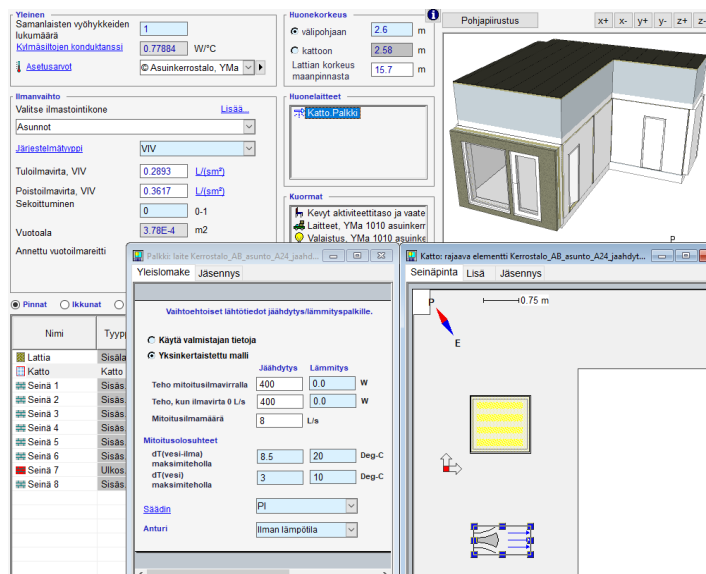
5.8 Jäähdytyspalkit ja kattosäteilijät

Jäähdytyspalkkien vaikutus operatiivisiin lämpötiloihin tuloilman viilennyksen ohella on esitetty taulukossa 8 ja jäähdytyspalkin määritys olohuoneessa kuvassa 27. Jäähdytyspalkin mitoitus on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 8. Yliämpötarkastelu jäähdytyspalkilla ja tuloilman viilennyksellä.

2H asunnon simuloitavat huonetilat	Ilmavirrat tulo/poisto dm ³ /s	Max oper lämpötila °C TRY2012	Astetuntisumma °Ch TRY2012	Max oper lämpötila °C 2050 (RCP4.5)	Astetuntisumma °Ch 2050 (RCP4.5)	Max oper lämpötila °C 2080 (RCP4.5)	Astetuntisumma °Ch 2080 (RCP4.5)
Olohuone 21 m ²	+8 / -10	+26,3	0	+26,5	0	+27,0	0
Makuuh. 12 m ²	+12	+26,0	0	+26,3	0	+26,5	0

Tuloilman viilennyksen jälkeen jäähdytyspalkin lisäys kumpaankin asuinhuoneeseen alensi nykyilmastossa operatiivisia lämpötiloja kuumimpana päivänä vain 0,2 °C, vuoden 2050 ilmastossa 0,4 °C ja vuoden 2080 ilmastossa 0 – 0,4 °C. Tämä johtuu siitä, että jäähdytyspalkin rajoitetulla jäähdytysteholla sisäilman lämpötilaa ei saatu alennettua kuumimpina päivinä.



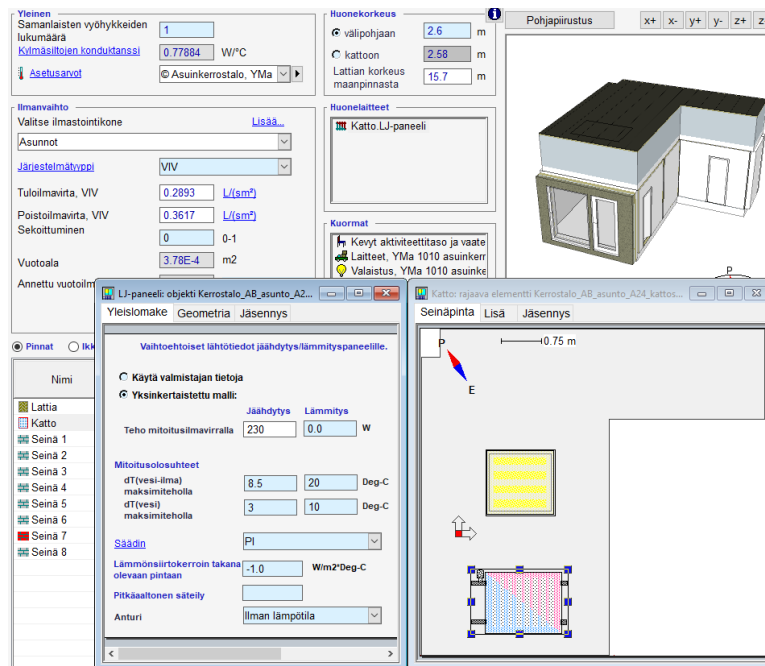
Kuva 27. Jäähdytyspalkin määritys olohuoneessa IDA ICE:ssä.

Kattosäteilijöiden vaikutus operatiivisiin lämpötiloihin tuloilman viilennyksen ohella on esitetty taulukossa 9 ja kattosäteilijän määrittäminen kuvassa 28. Kattosäteilijän mitoitus on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 9. Yliämpötarkastelu kattosäteilijällä ja tuloilman viilennyksellä.

2H asunnon simuloitavat huonetilat	Ilmavirrat tulo/poisto dm ³ /s	Max oper lämpötila °C TRY2012	Astetuntisumma °Ch TRY2012	Max oper lämpötila °C 2050 (RCP4.5)	Astetuntisumma °Ch 2050 (RCP4.5)	Max oper lämpötila °C 2080 (RCP4.5)	Astetuntisumma °Ch 2080 (RCP4.5)
Olohuone 21 m ²	+8 / -10	+26,3	0	+26,5	0	+27,0	0
Makuuh. 12 m ²	+12	+26,0	0	+26,3	0	+26,5	0

Tuloilman viilennyksen jälkeen kattosäteilijän lisäksi kumpaankin asuinhuoneeseen alensi nykyilmastossa operatiivisia lämpötiloja kuumimpana päivänä vain 0,2 °C, vuoden 2050 ilmastossa 0,4 °C ja vuoden 2080 ilmastossa 0 – 0,4 °C. Jäähdytyspalkin tavoin tämä johtuu siitä, että kattosäteilijän rajoitetulla jäähdytysteholla sisäilman lämpötilaa ei saatu alennettua kuumimpina päivinä.



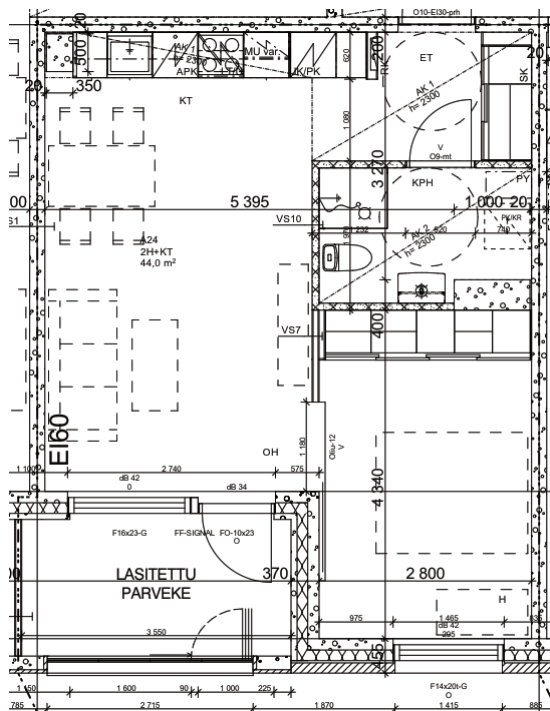
Kuva 28. Kattosäteilijän määrittäminen olohuoneessa IDA ICE:ssä.

6 Jäähdytysratkaisujen huonelaitteiden vertailu

Vertailussa tarkastellaan asunnon huonelaitteiden jäähdytystehojen lisäksi huonelaitteiden investointi- ja huoltokustannuksia. Kustannuksissa huomioidaan asunnon LVI-tekniikka, joten vertailussa ei huomioida keskitettyä vedenjäähdytyslaitteistoa ja ilmanvaihtokonetta sekä näiden jäähdytyksen runkoputkistoa, koska niillä on suuri vaikutus kustannuksiin. Vertailtavat huonelaitteet ovat:

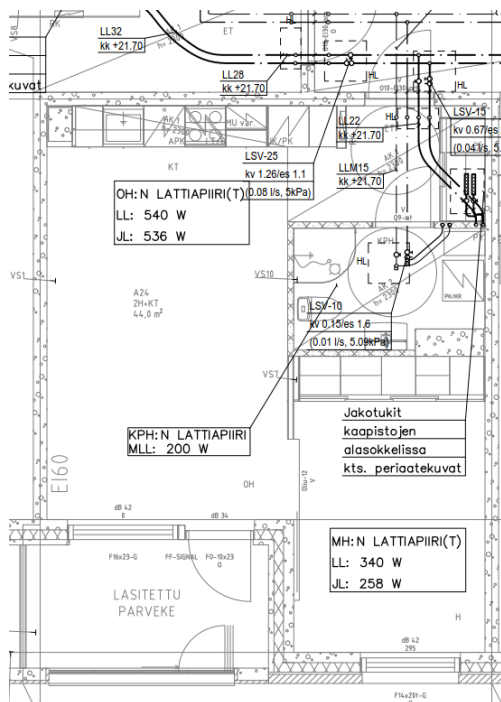
- lattiaviilennys
- puhallinkonvektori
- jäähdytyspalkit ja kattosäteilijät.

Vertailu tehdään kuvan 29 mukaisella asunnolla, joka on kohteessa pohjaratkaisultaan tavallinen ja luvun 5.1 mukaisesti auringon lämpökuormalta kriittisin. Asunto sijaitsee etelä- ja länsisuunnassa ja varjostuksena toimii parveke. Huonekorkeus on 2,6 metriä ja koot ovat: olohuone 21 m² ja makuuhuone 12 m².



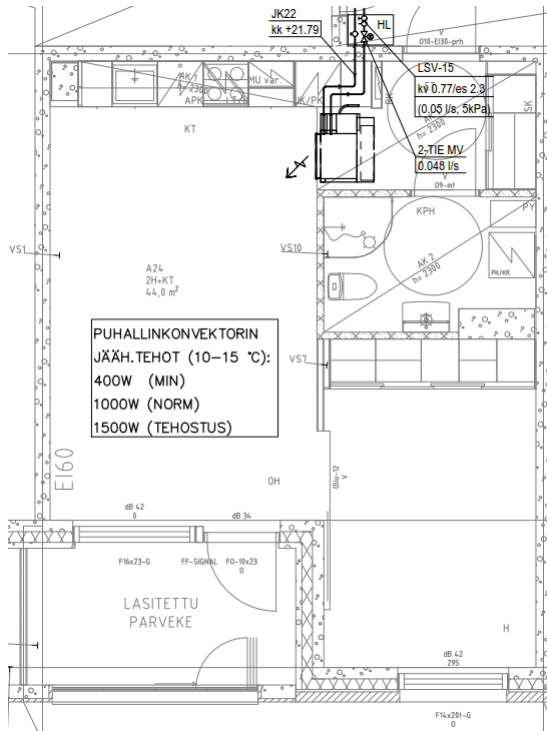
Kuva 29. Simuloidun asuinkerrostalon kahden huoneen asunto.

Lattiaviilennyksessä asunnon LVI-tekniikka koostuu kuvan 30 mukaisesti jakotukikaapista, jakotukeille johdettavista putkista, lattioiden PEX-putkipiireistä, sulku- ja säätöventtiileistä ja huonetermostaateista. Lattialämmityksellä varustettavissa tiloissa voidaan hyödyntää yhteistä tekniikkaa lattialämmityksen ja -viilennyksen kesken, jolloin kustannukset sisältyvät lämmitysjärjestelmään. Kylpyhuoneiden lattialämmitys on toteutettu rakennuksessa erillisellä mukavuuslattialämmityksen (kuvassa merkintä MLL tai LLM) putkiverkostolla. Lattiaviilennys on mitoitettu jäähdytysveden lämpötiloilla meno 18 °C ja paluu 23 °C.



Kuva 30. Toteutusperiaate lattialämmityksellä (LL) ja -viilennyksellä (JL).

Puhallinkonvektorin toteutusperiaate on esitetty kuvassa 31 ja mitoitustiedot liitteessä 1. LVI-tekniikka asunnossa koostuu puhallinkonvektorista, jäähdytysputkista, kondenssiviemäröinnistä, sulku-, linjasäätö- ja moottoriventtiileistä ja huonetermostaateista. Puhallinkonvektorin korkeasta hankintakustannuksesta johdettuen se sijoitetaan yleensä yksittäisenä asunnon keskeiselle paikalle, josta jäähdytys jakautuu eri tiloihin. Vertailussa käytetään mallina Chiller Oy:n Block Free -puhallinkonvektoria. Puhallinkonvektori on mitoitettu jäähdytysverkon menoveden lämpötilalla 10 °C ja paluuveden lämpötilalla 15 °C.

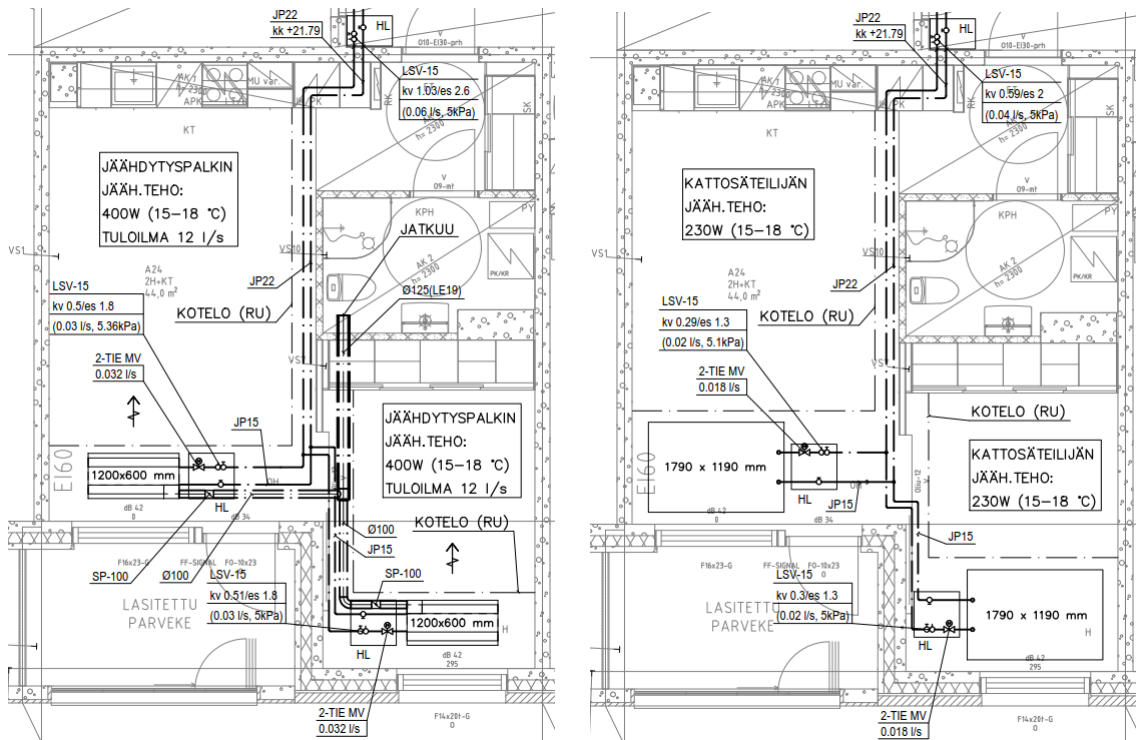


Kuva 31. Toteutusperiaate puhallinkonvektorilla varustetusta asunnosta.

Jäähdytyspalkkien ja kattosäteilijöiden toteutusperiaate on esitetty kuvassa 32 ja mitoitus liitteissä 2 ja 3. LVI-tekniikka asunnossa koostuu palkkien tai säteilijöiden määrästä, jäähdytysputkista, sulku-, linjasäätö- ja moottoriventtiileistä ja termostaateista. Jäähdytysveden lämpötilat ovat meno 15 °C ja paluu 18 °C.

Vertailussa käytetään jäähdytyspalkkina alakattoasenteista Fläkt Group Oy:n Star Wega II -aktiivipalkkia ja kattosäteilijänä Itula Oy:n ItuGraf-kattopaneeleita. Jäähdytyspalkkeja on myös saatavilla puhallinkonvektorin tavoin alakaton ot-sasta puhaltavina malleina, joita käytetään yleisesti hotellihuoneissa. Aktiivipalkit toimivat jäähdytyksen lisäksi tuloilman päätelaitteina, ja puhallinkonvektoreihin voidaan mallista riippuen kytkeä tuloilmanvaihto.

Jäähdytyspalkkeja ja kattosäteilijöitä käytetään yleisesti toimitiloissa, mutta niitä voidaan käyttää myös asunnoissa. Tarvittavat alakatot, koteloinnit ja huoltoluukut hyväksytetään. Palkit, kattosäteilijät ja puhallinkonvektorit toimivat tarvittaessa lämmityslaitteina, jolloin jäähdytysputkien lisäksi laitteisiin kytketään lämmityspotket. Laitemitoituksissa huomioidaan tilojen lämmitystehontarpeet.



Kuva 32. Toteutusperiaate jäähdytyspalkeilla tai kattosäteilijöillä asunnossa.

6.1 Jäähdytystehot

Asunnon olohuoneen ja makuuhuoneen jäähdytyslaitteiden simuloitujen tulokset jäähdytystehojen, suurimpien operatiivisten huonelämpötilojen ja kesäajan astetuntisummien kannalta ovat esitettyinä taulukoissa 10 ja 11. Operatiiviset huonelämpötilat ja kesäajan astetuntisummat ovat simuloitu käyttäen nykyiseen ilmastoon TRY2012 perustuvia mitoituspäiviä ja tulevaisuuden ilmastoon perustuvia mitoituspäiviä 2050 ja 2080 keskitason päästöskenaariolla RCP4.5.

Simuloinnin tuloksissa on huomioitava, että jäähdytyslaitteiden ohella asunto on varustettu tuloilman viilennyksellä. Tulokset on esitetty myös tilanteessa, jossa on pelkkä tuloilman viilennys ja tilanteessa, jossa ei ole koneellista jäähdytystä. Simuloinneissa on mallinnettu varjostava parveke, ikkunoiden uloimpien lasien välissä on sälekaihtimet kiinni, ja jäähdyttämättömän tilanteen laskennassa on käytetty yötuuletusta ja ilmanvaihdon tehostusta. Hyväksyttävät astetunnit on merkitty vihreällä ja liian suuret astetunnit punaisella.

Taulukko 10. Olohuoneen simulointien tulokset.

2H asunnon olohuone (21 m ²) viilennys- ja jäähdytysratkaisut	Jäähd. teho W / m ²	Max oper lämpötila °C TRY2012	Astetuntisumma °Ch TRY2012	Max oper lämpötila °C 2050 (RCP4.5)	Astetuntisumma °Ch 2050 (RCP4.5)	Max oper lämpötila °C 2080 (RCP4.5)	Astetuntisumma °Ch 2080 (RCP4.5)
Lattiaviilennys	25	+26,3	0	+26,8	0	+27,0	0
Puhallinkonvektori	50	+26,2	0	+26,3	0	+27,0	0
Jäähdytyspalkki	20	+26,3	0	+26,5	0	+27,0	0
Kattosäteilijä	10	+26,3	0	+26,5	0	+27,0	0
Tuloilman viilennys (8 dm ³ /s)	10	+26,4	0	+26,9	0	+27,0	0
Ei koneellista jäähdytystä (IV tehostus)	0	+28,0	70	+29,0	275	+29,3	560

Taulukko 11. Makuuhuoneen simulointien tulokset.

2H asunnon makuuh. (12 m ²) viilennys- ja jäähdytysratkaisut	Jäähd. teho W / m ²	Max oper lämpötila °C TRY2012	Astetuntisumma °Ch TRY2012	Max oper lämpötila °C 2050 (RCP4.5)	Astetuntisumma °Ch 2050 (RCP4.5)	Max oper lämpötila °C 2080 (RCP4.5)	Astetuntisumma °Ch 2080 (RCP4.5)
Lattiaviilennys	25	+26,1	0	+26,6	0	+26,9	0
Puhallinkonvektori (sijainti eteisessä)	30	+25,8	0	+25,8	0	+25,8	0
Jäähdytyspalkki	30	+26,0	0	+26,3	0	+26,5	0
Kattosäteilijä	20	+26,0	0	+26,3	0	+26,5	0
Tuloilman viilennys (12 dm ³ /s)	15	+26,2	0	+26,6	0	+26,9	0
Ei koneellista jäähdytystä (IV tehostus)	0	+28,1	30	+29,0	175	+29,6	360

Ylilämmön simulointien mukaan kohteessa ei nykyilmaston astetuntitarkaste- lussa tarvitse toteuttaa tuloilman viilennystä, mutta tulevaisuuden ilmastoissa 2050 ja 2080 astetuntisummat ylittävät 150 astetuntia ilmanvaihdon tehostuk- sella, joten tulevaisuuden astetarkasteluissa tulisi toteuttaa tuloilman viilennys.

6.2 Investointi- ja huoltokustannukset

Asuntoon asennettavien jäähdytyslaitteiden LVI-tekniikan investointi- ja huolto- kustannusarvioita on esitetty taulukossa 12. Kustannukset perustuvat Haahte- lan Talonrakennuksen kustannustieto -kirjaan ja hinnat on korjattu Haahtela-in- deksillä alueeseen 1 (pääkaupunkiseutu). Haahtelan kirjaan perustuvan lasken- tasovelluksen yksikköhinnat ovat työn tilaajan salassa pidettävää tietoa, joten niitä ei julkaista tässä työssä. Huonelaitteiden hinnat on saatu valmistajilta.

Taulukko 12. Jäähdytyslaitteiden LVI-tekniikan kustannusarviot asunnossa.

2H asunnon (44 m ²) jäähdytysratkaisut	Materiaalit (sis. LVI-asennuksen)	Investointi € (alv 0%)	Investointi € / m ² (alv 0%)	Huolto € / vuosi (alv 0%)
Lattiaviilennys (ja lattialämmitys)	Putket, jakotukit, venttiilit, termostaatit	1850 €	42 € / m ²	Ei vuosittaisia huoltotoimen- piteitä asunnossa
Puhallinkonvektori (Chiller Block Free) 1 kpl	Putket, venttiilit, ter- mostaatti, kondenssi- viemärointi	2300 €	52 € / m ²	Laitteen imurointi ja suodatti- men vaihto kerran vuodessa (huoltoyhtiö), n. 60€ töineen
Jäähdytyspalkit (Fläkt Star Wega II) 2 kpl	Putket, venttiilit, IV- kanavat, säätöpellit, termostaatit	2200 €	50 € / m ²	Jäähdytyspalkkien puhdistami- nen pölystä vuosittain
Kattosäteilijät (Itula ItuGraf) 2 kpl	Putket, venttiilit, termostaatit	1950 €	44 € / m ²	Ei vuosittaisia huoltotoimen- piteitä (pölyjen puhdistus, jos vapaasti ripustetut paneelit)

Investointikustannuksista voidaan huomata, että vertailukohteena käytetyssä asunnossa jäähdytyslaitteiden LVI-kustannuksissa ei ole kovin suuria eroja. Edullisimman jäähdytysratkaisun (lattiaviilennys) ja kalleimman jäähdytysratkai- sun (puhallinkonvektori) kustannusero on noin 500 euroa. Lattiaviilennyksen

merkittävänä kustannusetuna on, että siinä voidaan hyödyntää samaa LVI-tekniikkaa lattialämmityksen kanssa, kun muiden jäähdytysratkaisujen rinnalla tulee käyttää muuta lämmitysratkaisua tai kytkeä jäähdytyslaitteisiin lämmitysputket neliputkikytkentänä, jolloin lämmitysputket lisäävät kustannuksia.

Jäähdytyspalkkien ja kattosäteilijöiden keskeiseen kustannuseroon vaikuttavat aktiivipalkeissa tarvittavat tuloilmanvaihdon kanavakytkennät, minkä lisäksi jäähdytyspalkkien ja kattosäteilijöiden kustannuksissa tulee huomioida mahdollisten alakatto- ja kotelointitarpeiden rakennustyöt, joita ei ole huomioitu kustannuksissa. Tästä johtuen puhallinkonvektorin etuna on, että se voidaan jäähdytystehonsa vuoksi sijoittaa keskeiselle paikalle eteiseen, jolloin putkikytkennät ovat lyhyempiä ja jäähdytetty ilma jakautuu tiloihin pakotettuna konvektiona.

Puhallinkonvektorin suurin kustannus on itse laite, jonka lisäksi kondensoivaksi mitoitettu puhallinkonvektori tulee kondenssiviemäröidä pesualtaan tai lattiakäivon vesilukkoon. Puhallinkonvektorin kustannuksessa ei ole huomioitu sähkökytkennän kustannusta ja puhallinkonvektorissa huoltotoimenpiteenä on suodattimen vaihto kerran vuodessa yleensä huoltoyhtiön toimesta, kun muissa jäähdytysratkaisuissa ei juurikaan ole tarvetta asuntokohtaiselle huoltotyölle. Jäähdytyspalkit voidaan avata ja imuroida asukkaan toimesta kerran vuodessa.

6.3 Vertailun päätelmät

Jäähdytysratkaisujen huonelaitteiden hyviä ja huonoja puolia on koottu taulukoon 13. Asuntojen ilmalämpöpumppuja ei ole tässä huomioitu, koska ne ovat paikallisia jäähdytyslaitteita ja ominaisuuksiltaan verrattavissa puhallinkonvektoriin. Vertailun perusteella puhallinkonvektori on kustannustehokas jäähdytysratkaisu patterilämmityksellä varustettavassa kohteessa, koska kondenssiviemärillä varustettuna puhallinkonvektori ei tarvitse viilennettyä tuloilmaa asunnossa.

Lattialämmityksellä varustettavassa kohteessa kustannustehokkain jäähdytysratkaisu on lattiaviilennys, koska se hyödyntää lattialämmityksen kanssa yhteisiä putkiverkostoja ja asuntokohtaista LVI-tekniikkaa.

Taulukko 13. Yhteenveto jäähdytysratkaisujen hyvistä ja huonoista puolista.

<p>Lattiaviilennys (ja lattialämmitys)</p> <ul style="list-style-type: none"> + Edullinen (erityisesti kun rakennuksessa on yhteinen järjestelmä lattialämmityksen kanssa) + Energiatehokas viilennyksen verkostolämpötiloilla (lämmityksessä matalat verkostolämpötilat) + Hyvä viilennysteho, koska lattia on lähellä käyttäjää ja lattia ei tunnu kylmältä + Huomaamaton, hiljainen ja huoltovapaa <ul style="list-style-type: none"> - Viilennystehon (n. 20-30 W/m²) rajoitteena verkostolämpötilat, jotka eivät saa olla liian kylmät - Saneerauskohteissa saattaa vaatia lattian korotuksen - Huono muuntojoustavuus tilamuutoksissa
<p>Puhallinkonvektori</p> <ul style="list-style-type: none"> + Hyvä jäähdytysteho (vertailussa n. 30-70 W/m²) ja teho muutettavissa tarpeen mukaan + Suodatin puhdistaa sisäilmaa + Ei vaadi viilennettyä tuloilmaa asunnossa, kun laite varustetaan kondenssiviemäröinnillä + Mallista riippuen voidaan kytkeä tuloilma, joka vähentää tuloilman päätelaitteiden määrää <ul style="list-style-type: none"> - Korkea hankintakustannus yksittäisellä puhallinkonvektorilla - Suodattimen vaihto ja laitteen imurointi tulee tehdä kerran vuodessa - Ilmavirtauksesta aiheutuva mahdollinen vedon tunne - Laite aiheuttaa ääntä, joten asunnon äänivaatimukset tulee huomioida laitteen mitoituksessa - Puhallinkonvektorin sähkökytkentä huomioitava - Laitteen mahtuminen ja huollon tilatarpeet mahdollisine luokkuineen tulee huomioida
<p>Jäähdytyspalkki</p> <ul style="list-style-type: none"> + Hyvä tilakohtainen jäähdytysteho (vertailussa aktiivipalkkien mitoituksella n. 20-40 W/m²) + Aktiivipalkkiin saadaan kytkettyä tuloilma, joka vähentää tuloilman päätelaitteiden määrää + Äänetön ja vähäinen huollon tarve (pölyjen puhdistaminen vuosittain) <ul style="list-style-type: none"> - Ulkonäkönsä vuoksi ei ole suosittu jäähdytysratkaisu asunnoissa ja tilantarve tulee huomioida - Vaatii viilennetyn tuloilmanvaihdon tilassa, ettei jäähdytyspalkki kondensoi - Ilmavirtauksesta aiheutuva mahdollinen vedon tunne
<p>Kattosäteilijä</p> <ul style="list-style-type: none"> + Voidaan integroida tyylikkäästi alakattopintaan eikä laite vaadi paljon tilaa korkeussuunnassa + Energiatehokkuus (erityisesti, jos voidaan käyttää jäähdytyksen lisäksi tilan lämmityksessä) + Äänetön, vedoton, muuntojoustava ja edullinen, erityisesti lämmityksen kanssa hyödynnettynä + Huoltovapaa pinta-asenteisena (vapaasti ripustettava kattosäteilijä kerää pölyä) <ul style="list-style-type: none"> - Pieni jäähdytysteho (vertailussa n. 10-20 W/m²), suurempi teho tarvitsee suuremmat paneelit - Vaatii viilennetyn tuloilmanvaihdon tilassa, ettei kattosäteilijä kondensoi
<p>Tuloilman viilennys</p> <ul style="list-style-type: none"> + IV-koneen jäähdytyspatteri vähentää sisätilojen kesäajan astetunteja merkittävästi ja kevyitä ratkaisuja on jo olemassa, esim. integroitavan lämpöpumpun muodossa ilman ulkoyksiköitä + Voi olla huomattavasti edullisempi ratkaisu esim. ulkopuolisiin aurinkosuojiin verrattuna + Huoltovapaa <ul style="list-style-type: none"> - Pieni viilennysteho (vertailussa n. 10-15 W/m²) asuntojen pienistä ilmamääristä johtuen

7 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli tutkia, miten RAMI-hankkeessa määritetyt uudet ilmastolliset mitoituspäivät vaikuttavat asuinkerrostalojen jäähdytystehontarpeen mitoitukseen ja millä jäähdytysratkaisujen huonelaitteilla saataisiin hallittua kesäajan sisäolosuhteet kustannustehokkaasti. Tavoitteena oli myös laatia aineisto jäähdytysratkaisujen mitoituksesta LVI- ja energiasuunnittelun tueksi.

Työ laadittiin aluksi kirjallisuuskatsauksella, jossa käsiteltiin asuinkerrostalojen jäähdytystarpeen ja sisäolosuhteiden lisäksi lainsäädäntöä, ohjeita ja asuinkerrostaloihin sopivia jäähdytysjärjestelmiä. Tutkimusosassa esitettiin asuinkerrostalon jäähdytyksen mitoitusperusteita ja laadittiin asuinkerrostalon case-kohteen olosuhdesimuloinnit ilman jäähdytystä ja tilanteissa, joissa oli jäähdytyksen huonelaitteet. Huonelaitteita vertailtiin jäähdytystehon ja kustannusten kannalta.

Uusilla ilmastollisilla mitoituspäivillä tehtyjen olosuhdesimulointien perusteella todettiin, että asuinkerrostalon case-kohteessa tulevaisuuden mitoitusäätiödoilla kesäajan sisäolosuhteiden astetuntivaatimus ei täytynyt passiivisilla aurinkosuojilla ja ilmanvaihdon tehostuksilla, joten keskitettyyn ilmanvaihtokoneeseen tuli lisätä jäähdytyspatteri tuloilman viilennystä varten. Jäähdytyspatteri mitoitetaan yleisesti ulkoilman entalpian arvolla 57 kJ/kg, mutta viimeisten poikkeuksellisten hellejaksojen ja RAMI-hankkeessa määritettyjen tulevaisuuden ulkoilman entalpian arvojen pohjalta entalpian mitoitusarvo voisi olla suurempi.

Jäähdytysratkaisujen huonelaitteiden vertailussa kustannustehokkaimmaksi ratkaisuksi osoittautui lattiaviilennys, jonka hankintakustannuksessa hyötynä on, että lattialämmityksellä toteutettavassa asuinkohteessa voidaan lattiapiireissä ja putkiverkostoissa käyttää myös viilennystä muuttamalla veden lämpötila vaihtoventtiileillä. Lattiaviilennyksen muita etuja ovat energiatehokkuus, äänettömyys, vedottomuus ja huomaamattomuus, koska ainoastaan huonetermostaatit ovat esillä, ja lattiaviilennyksellä saavutetaan hyvä viilennysteho pienellä energiankulutuksella, koska lattia on lähellä käyttäjää eikä lattiapinta viilene kylmäksi.

Patterilämmityksellä toteutettavassa asuinkohteessa kustannustehokkaaksi jäähdytysratkaisuksi osoittautui puhallinkonvektori, koska kondenssiviemäröinnin johdosta laitteen jäähdytysverkosto voidaan mitoittaa kondensoivaksi, jolloin puhallinkonvektorilta saadaan enemmän jäähdytystehoa. Lisäksi puhallinkonvektoria käyttäessä asunnon tuloilmaa ei ole tarvetta jäähdyttää toisin kuin jäähdytyspalkkia tai kattosäteilijää käyttäessä, joissa riskinä on kondenssin muodostuminen laitteen pintaan, jos asunnon tuloilmasta ei ole poistettu kosteutta. Jäähdytyspalkkien ja kattosäteilijöiden mitoituksessa tulee myös huomioida kastepisteohjaus, joka kondenssin estämiseksi nostaa menoveden lämpötilaa ja täten heikentää laitteen jäähdytystehoa asunnon kosteuden noustessa.

Jäähdytysratkaisujen huonelaitteiden soveltuvuus kohteeseen ja asuntojen ulkonäköön tulee kuitenkin aina tarkastella hankekohtaisesti. Puhallinkonvektoreissa, jäähdytyspalkeissa ja kattosäteilijöissä haasteena ovat kotelointien ja alakattojen tarpeet, jotta jäähdytyslaitteet saadaan asennettua pintaan ja piilotettua laitteen kytkentäputket sulk- ja säätöventtiileineen. Puhallinkonvektori aiheuttaa myös ääntä ja aktiivipalkkien tavoin mahdollista vedon tunnetta. Laitteen äänitaso tulee huomioida mitoituksessa ja vedon riski huonesijoittelussa.

Asuinkerrostaloissa on joissakin kohteissa varauduttu jäähdytystarpeeseen tekemällä tilavaraukset vedenjäähdytyslaitteistolle, putkiverkostoille ja huonelaitteille, jotta keskitetty jäähdytysjärjestelmä voidaan tarvittaessa asentaa. Vaihtoehtoisesti paikallisissa järjestelmissä on asuntokohtaisten ilmalämpöpumppujen asennusta varten voitu tehdä varaukset sähkökytkennöille, ulkoseinään läpiviennit putkituksille ja parvekkeella tilavaraus ilmalämpöpumpun ulkoyksikölle.

Työn tuloksena laadittiin aineisto uudisasuinkerrostalon jäähdytystehon mitoituksesta IDA ICE -simulointiohjelman avulla. Aineistoa voidaan hyödyntää asuinkerrostalohankkeiden jäähdytyksen mitoituksessa ja suunnittelussa, joiden lisäksi jäähdytysratkaisujen vertailussa saatuja tietoja voidaan hyödyntää suunnittelukohteeseen sopivan jäähdytysratkaisun valinnassa. Työn laatijalle asuinrakennuksen olosuhdesimulointi IDA ICE -ohjelmalla antoi uusia oppeja kesäajan sisäolosuhteiden tarkastelua ja energiaselvitysten laadintaa varten.

Lähteet

- 1 Vuolle, Mika; Marongiu, Federica. 2021. Opas – Asuinkerrostalojen kesän sisälämpötilojen määräysten mukaisuus, hallinta ja jäähdytys. Talonrakennusteollisuus ry.
- 2 Säteri, Jorma; Koskela, Hannu; Sandberg, Esa; Ripatti, Harri; Silvan, Jari; Kauppila, Kari; Kaappola, Esko. 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointitekniikka osa 1. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 3 Loisa, Lassi; Tyni, Anni; Reinikainen, Erja. 2015. FlNZEB taustaraportti 7. Tulevaisuuden sää ja sisälämpötilatarkastelut. Ympäristöministeriö.
- 4 Hänninen, Reijo; Sandberg, Esa; Vuolle, Mika; Heinonen, Jarkko. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointitekniikka osa 2. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 5 Jokisalo, Juha; Lestinen, Sami; Kosonen, Risto. 2022. Rakentamisen mitoitussääät (RAMI) -hankkeen loppuraportti. Tampereen yliopisto.
- 6 Ympäristöministeriö, Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017. Asetus. Julkaistu 20.12.2017.
- 7 Ympäristöministeriö, Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017. Asetus. Julkaistu 20.12.2017.
- 8 Talotekniikkainfo. Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas. Päivitetty 11.06.2021. Talotekninen teollisuus ja kauppa ry. <<https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas>>. Luettu 05.06.2023.
- 9 Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. RT 07-11299. Ohjekortti. Sisäilmayhdistys ry.
- 10 Ympäristöministeriö. Asemakaavat. Verkkoaineisto. Päivitetty 29.03.2023. <<https://www.ymparisto.fi/fi/rakennettu-ymparisto/kaavoitus-ja-alueiden-kaytto/kaavoitus/asemakaavat>>. Luettu 05.06.2023.
- 11 Talotekniikkainfo. Jäähdytyksen ja viilennyksen ero. Verkkoaineisto. Päivitetty 13.01.2021. <<https://talotekniikkainfo.fi/ratkaisut-etusivu/jaahdytyksen-ja-viilennyksen-ero>>. Luettu 05.06.2023.
- 12 Lisa Hickey. 2020. Indoor Air Quality Measurement. Verkkoaineisto. Belimo. <https://blog.belimo.com/blog/indoor-air-quality-measurement>. Luettu 06.06.2023.

- 13 Kesäaikaisten lämpötilojen hallinta asuinkerrostaloissa. 2007. RT 50-10910. Ohjetiedosto. Rakennustieto Oy.
- 14 Kiinteistöjen kaukojäähdytys. 2010. LVI 34-10462. Ohjetiedosto. Rakennustieto Oy.
- 15 Kiinteistöjäähdytyksen suunnitteluohje. 2017. Ohjetiedosto. Helen Oy.
- 16 Maalämpöpumput. 2018. LVI 11-10624. Ohjetiedosto. Rakennustieto Oy.
- 17 Motiva. 2018. Lämpöpumppujen hankintaopas – kunnat ja taloyhtiöt. Helsinki: Motiva Oy.
- 18 Hakala, Pertti; Kaappola, Esko. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Helsinki: Opetushallitus.
- 19 Tulo- ja poistoilmalaitteet. 2022. Verkkoaineisto. Climecon Oy. <<https://climeconair.com/fi-fi/product-category/tulo-ja-poistoilmalaitteet/>>. Luettu 19.06.2023.
- 20 Talotekniikkainfo. Matalarakennejärjestelmä lattialämmitykseen. Verkkoaineisto. Päivitetty 13.01.2021. <<https://talotekniikkainfo.fi/ratkaisut-etusivu/matalarakennejarjestelma-lattialammitykseen>>. Luettu 19.06.2023.
- 21 Block Front puhallinkonvektori. 2023. Verkkoaineisto. Chiller Oy. <<https://www.chiller.eu/fi/tuotteet/puhallinkonvektorit/block/block-front/>>. Luettu 20.06.2023.
- 22 Jäähdytyspalkit. 2023. Verkkoaineisto. FläktGroup Oy. <<https://www.flaktgroup.com/fi/products/jaahdytyspalkit-puhallinkonvektorit-ilmaverhot-ja-ilmanlammittimet/jaahdytyspalkit/>>. Luettu 21.06.2023.
- 23 Kattosäteilylämmitys ja -jäähdytys asuinrakentamisessa. 2017. Verkkoaineisto. Itula Oy. <<https://www.itula.fi/ajankohtaista/asiantuntija-artikkelit/kattosateilylammitys-ja-jaahdytys-asuinrakentamisessa>>. Luettu 21.06.2023.
- 24 Ympäristöministeriö, D3 laskentaopas – Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen. 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 25 Ympäristöministeriö, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohje. 2018. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Puhallinkonvektorin mitoitus tiedot

Laite on esitetty tämän työn huonelaitteiden vertailussa luvussa 6.



Asiakas:
Kohde:
Tunnus:

Valinnan laskija:

Puhallinkonvektori BLOCK free - Vari

Valinta no:

Valinta: BLOCK free Vari-2-S-2-CV2-C15-AC10-QC271-KH-P30-T7-CG-PD1-GW

Suoritusarvot	Piste 1	Piste 2	Piste 3	
Ilmamäärä	0,017	0,046	0,075	m ³ /s
Jäähdytys				
Teho	0,37	0,99	1,58	kW
Tuntuva teho	0,31	0,83	1,32	kW
Patterille tuleva ilma		25,0 / 50		°C/%
Neste virtaama (vesi)		0,075		l/s
Nesteen lämpötila tuleva		10,0		°C
Nesteen lämpötila lähtevä	11,2	13,1	15,0	°C
Nestepuolen painehäviö (lämmönsiirrin)		13,0		kPa
Säätöventtiilin painehäviö		1,2		kPa

Sähkö tiedot (puhallin)

Liitäntä		230-50-1		V/Hz/Ph
Tehonkäyttö	6,3	7,1	9,6	W
Maksimiteho		94,0		W
Maksimivirta		0,90		A

Mittatiedot (Tilavaraus)

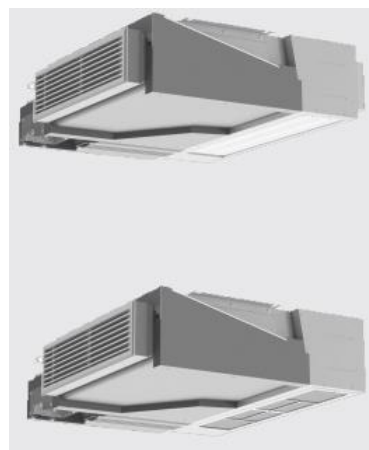
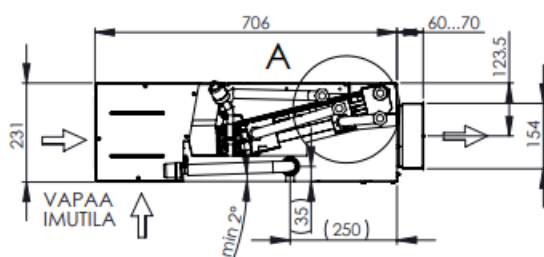
Paino		30,0		kg
Pituus x leveys x korkeus		770 x 905 x 235		mm

Ääni

Tehotaso L _{W(A)}	22,1	30,0	36,9	dB(A)
Painetaso 10 m ² Sabine L _{p(A)}	18,1	26,0	32,9	dB(A)
Painetaso 100 m ³ tila ¹ L _{p(A)}	13,1	21,0	27,9	dB(A)

Lisävarusteet

CV2 Jäähdytyksen 2-tiesäätöventtiili kvs 2,5 5 W 0,02 A
AC10 0 - 10 V toimilaitteella
KH Painovoimainen viemäröinti, kondenssihälytyksellä
P30 3 m kytkentäjohto pistotulpalla
T7 Säädin HLS-44
CG Kattoasennus
PD1 Painekanava säleiköllä
GW Säleikkö, valkoinen (RAL 9003/30% kilto)



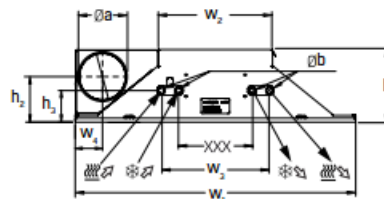
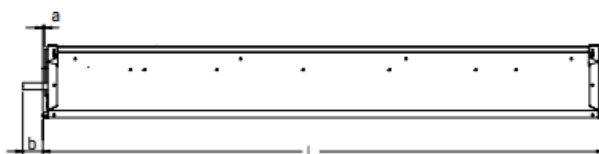
Jäähdytyspalkin mitoitus tiedot

Laite on esitetty tämän työn huonelaitteiden vertailussa luvussa 6.

JÄÄHDYTYSPALKKI IQ STAR WEGA II



IQII-aaa-71/73-cc-dd-e



Øa	Øb	a	b	w1	w2	w3	w4	h1	h2	h3
100	15	4	42	594	242	228	58	152	96	67

Pituus, aaa	120 cm ¹⁾	180 cm ¹⁾	240 cm	300 cm
L, mm	1194	1794	2394	2994

¹⁾ Ei versiolle bb = 81 ja 83

-cc-	Patteririvit	XXX (mm)
07, 08, 13, 14	10	228
09, 10	8-2	158

- = Jäähdytysvesi sisään
- = Jäähdytysvesi ulos
- = Lämmitysvesi sisään
- = Lämmitysvesi ulos

Ilmaläitöntä on uros versiolle 71/73

Ilmaläitöntä on naaras versiolle bb = 81, 83

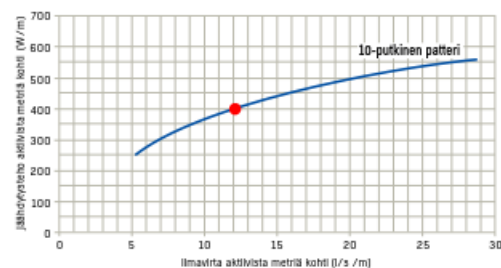
Vesiliitännät ovat uroksia.

Palkin pituus = 1,20 m (patterin pituus = 1,04 m)

Taulukko 1: Vesivirta, $q_w = 0,05$ l/s, painehäviö, $\Delta p_w = 3,7$ kPa

Suutin mm	q_{ilma} l/s	P_{koko} W: ssa Δt , °C			P_{patt} W: ssa Δt , °C			L_{A10} dB(A)
		6	8	10	6	8	10	
06	5,5	246	310	374	193	257	321	<20
12	10,4	374	466	557	275	366	458	<20
18	15,0	475	585	695	331	441	551	<20
24	19,6	556	679	802	368	491	614	<20
30	24,0	62	758	890	396	528	660	<20
36	28,5	687	825	962	413	551	689	21

PIKAVALINTA

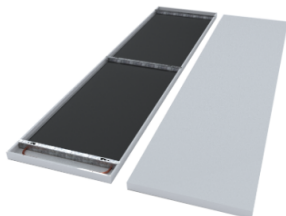


Käyrästä osoittaa kokonaisjäähdytystehon aktiivista metriä kohti, kun kokonaispaine on 70 Pa, vesivirta $q_w=0,05$ l/s, tuloilman ja huoneilman lämpötila-ero $\Delta t=8$ °C sekä veden keskilämpötilan ja huoneilman lämpötilan ero $\Delta t=8$ °C.

Kattosäteilijän mitoitus tiedot

Laite on esitetty tämän työn huonelaitteiden vertailussa luvussa 6.

TUOTETIEDOT



Kotimainen ItuGraf® kattosäteilijä on markkinoiden tehokkain lämmitys- ja jäähdytyspaneeli, joka soveltuu erinomaisesti kaiken kokoisten kiinteistöjen lämmönhallintaan niin uudis- kuin korjausrakentamisessakin. Energiaa ja ympäristöä säästävät ItuGraf® kattosäteilijät luovat tilaan tehokkaasti miellyttävän tasaisen lämpötilan ilman pölyä, vetoa tai ääntä. 100 %:sti kierrätettävistä materiaaleista valmistetulla ItuGraffilla on CE-merkintä ja ne on testattu akkreditoitussa testilaboratoriossa. ItuGraf® kattosäteilijällä saat yhtenäisen ulkoasun ja värimaailman halutun alakattolevyn kanssa. ItuGraf® kattosäteilijän alakattomallit on luotu yhteensopiviksi Saint-Gobainin Ecophon sekä Rockphon alakattomalleihin. Paneelin grafiittitäyte mahdollistaa tasaisen pintalämpötilan ja todella nopea reagoinnin lämpötilan muutoksiin. Paneelit voidaan maalata RAL värisävyihin (standardina RAL 9016) ja ne ovat saatavilla sileinä tai akustista absorptiota parantavalla perforoinnilla.

TUOTEVALITSIN

Laskenta	Valinta		
Leveys	1190 mm		
Paneelin lukumäärä	1		
Litostyyppi	Rinnankytkentä		
Paneelin aseointi	Vierekkäin		
Pituus	1790 mm		
Integroinnin tyyppi	Paneeli kiinnitetty kattopintaan		
Putkistot	Katon kautta		
Säätöventtiili	ItuVent-15-LF 003ZB300		
Eristys	Ei		
<input type="checkbox"/> Erikoloväri	<input type="checkbox"/> Varaus letkujen painehäviölle	<input type="checkbox"/> Käytä 4-putkikytkentää	
<input type="checkbox"/> Lämmitys	Menoveden lämpötila: °C	Paluuveden lämpötila: °C	Huoneenlämpö: °C
<input checked="" type="checkbox"/> Jäähdytys	Menoveden lämpötila: 15 °C	Paluuveden lämpötila: 18 °C	Huoneenlämpö: 26 °C

TULOKSET

Paneelin kokonaispinta-ala: 2.13 m²
 Operatiivinen paino: 25.1 kg
 Vesitilavuus: 0.81 l

Lataa DXF

Lisää uusi tuote

Tuotekoodi: IG45-1190-1790-1A-V

LÄMMITYS			JÄÄHDYTYS		
Standardi: -			Standardi: EN14240		
Vesivirta	Veden nopeus	Moduuliteho alalle	Vesivirta	Veden nopeus	Moduuliteho alalle
-	-	-	0.0186 l/s	0.31 m/s	110 W/m ²
Kokonaistuotto	dT lämpötilaero	Painehäviö	Kokonaistuotto	dT lämpötilaero	Painehäviö
-	-	-	234 W	9.5 K	4.77 kPa
Letkujen painehäviö	Kokonaispainehäviö		Letkujen painehäviö	Kokonaispainehäviö	
-	-		-	4.77 kPa	

*Venttiilin lisäpainehäviö: 16 kPa