



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Jukka Mäkinen

Toimistotilojen hankekehityksen järjestelmävaihtoehtovertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

6.3.2022

Tekijä Otsikko	Jukka Mäkinen Toimistotilojen hankekehityksen järjestelmävaihtoehtoverailu
Sivumäärä Aika	43 sivua + 9 liitettä 6.3.2022
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	lehtori Seppo Innanen ryhmäpäällikkö Toni Anttila
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli kehittää uuden toimistorakennuksen hankesuunnittelua varten valmiita malliratkaisuja tilalämmitykseen, -jäähdytykseen ja ilmanvaihtoon sekä tehdä järjestelmävaihtoehtoverailua.</p> <p>Työn teoriaosuudessa tutkittiin kirjallisuuden lähteitä käyttäen eri lämmitys-, jäähdytysjärjestelmien ominaisuuksia ja huonelaitteiden toimintaperiaatteita sekä selvitettiin niiden vahvuuksia ja heikkouksia, jotka vaikuttavat olennaisesti järjestelmävalintaan. Teoriaosuudessa ja malliratkaisuiden yhteydessä esiin tulleista järjestelmien ominaisuuksista tehtiin lopuksi yhteenvetotaulukko, jota voidaan hyödyntää, kun valitaan kohteeseen sopivaa järjestelmää.</p> <p>Tieto eri järjestelmien investointikustannuksista on olennainen osa järjestelmävaihtoehtoverailua ja vaikuttaa järjestelmävalintaan. Työssä selvitettiin malliratkaisuiden pohjalta eri järjestelmien materiaali- ja asennuskustannuksia kustannuslaskentaohjelman avulla, josta saatua tietoa voidaan hyödyntää jo alkuvaiheen suunnittelun kustannusohjauksessa.</p> <p>Työ toimii tukena toimiston hankekehitysvaiheen suunnittelun järjestelmävalinnoissa sekä antaa suuntaa eri järjestelmien investointikustannuksissa.</p>	
Avainsanat	Malliratkaisu, järjestelmävaihtoehtoverailu, huonelaitteet

Author Title	Jukka Mäkinen Comparison of System Options in Office Space Project Development
Number of Pages Date	43 pages + 9 appendices 6 March 2022
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Seppo Innanen, Senior Lecturer Toni Anttila, Team Leader
<p>The purpose of this bachelor's thesis was to develop model solutions and to compare alternative HVAC systems used in office buildings.</p> <p>The thesis discussed various space heating, cooling, and ventilation systems with the help of applicable literature. Based on the literature, a summary table out of the strengths and weaknesses, in other words, the type of data that greatly affects system selection, of the studied systems was comprised. The table can be utilized when selecting a system for a project.</p> <p>As investment cost information plays an important role in comparing various systems. The thesis explored the material and installation costs based on model solutions of various space heating, cooling, and ventilation systems. The knowledge gained on costs would be valuable in the early stages of design because it can have significant impact on system selection.</p> <p>The thesis supports the planning of the development phase system choices and evaluating costs.</p>	
Keywords	model solutions, HVAC systems, HVAC costs

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Ilmastointijärjestelmät	2
2.1	Ilmajärjestelmät	2
2.1.1	Vakioilmavirtajärjestelmä	3
2.1.2	Muuttuvilmavirtajärjestelmä	3
2.2	Vesijärjestelmät	5
2.3	Ilma-vesijärjestelmät	5
2.4	Hajautetut järjestelmät	6
3	Huonelaitteet	6
3.1	Puhallinkonvektorijärjestelmä	7
3.2	Jäähdytyspalkkijärjestelmä	8
3.2.1	Passiivipalkit	8
3.2.2	Aktiivipalkit	9
3.3	Säteilypaneelijärjestelmä	11
3.4	Lattiakonvektorit	13
3.5	Lattialämmitys ja -viilennys	14
3.6	Lämpöpatterit	16
4	Sekoittava ilmanjako	17
4.1	Kattopuhallus	18
4.2	Seinäpuhallus	19
5	Muuntojoustavuus	20
6	Case-tarkastelu	21
6.1	Malliratkaisu 1	24
6.2	Malliratkaisu 2	26
6.3	Malliratkaisu 3	28
6.4	Malliratkaisu 4	30
6.5	Malliratkaisu 5	32

6.6	Malliratkaisu 6	33
6.7	Malliratkaisu 7	35
6.8	Järjestelmävertailu	37
7	Yhteenveto	40
	Lähteet	42
	Liitteet	
	Liite 1. Sarjaankytketyt 2-piiriset säteilypaneelit	
	Liite 2. Sarjaankytketyt 2-piiriset perforoidut säteilypaneelit	
	Liite 3. Säteilypaneeli 1200x3000 mitoitustiedot	
	Liite 4. Säteilypaneeli 1200x3000 (perforoitu) mitoitustiedot	
	Liite 5. Ilmastointipalkin mitoitustiedot	
	Liite 6. Lämmityspaneeli 900x3000 mitoitustiedot	
	Liite 7. Vapaa-asenteisen ilmastointipalkin mitoitustiedot	
	Liite 8. Ilmastointimoduulin mitoitustiedot	
	Liite 9. Puhallinkonvektorin mitoitustiedot	

1 Johdanto

Uusia toimistotiloja suunniteltaessa lämmönluovutus- ja ilmastointijärjestelmäksi on valittavissa paljon erityyppisiä järjestelmiä ja laitteita. Järjestelmävalinnan yksi merkittävimmistä kysymyksistä on, miten taata viihtyisä sisäilmasto kustannustehokkaasti ja sovittaa järjestelmä tilaan arkkitehtonisesti tilaajan tarpeet ja tavoitteet huomioiden.

Tämän insinööriyön toimeksiantaja on Granlund Oy, joka on Suomen johtava talotekninen suunnittelutoimisto. Granlundin intressinä on kehittää valmiita malliratkaisuja toimistojen tilalämmitykseen, -jäähdytykseen ja ilmanvaihtoon. Malliratkaisujen avulla on mahdollista helposti esittää tilaajalle erityyppisiä vaihtoehtoratkaisuita hankekehitysvaiheen suunnittelussa.

Työssä tehdään hankekehitysvaiheen suunnittelua varten järjestelmävaihtoehtovertailua toimiston eri lämmitys-, jäähdytys- ja ilmanvaihtoratkaisuista sekä luodaan malliratkaisuita eri vaihtoehtoista. Tavoitteena on saavuttaa eri järjestelmien vahvuuksista ja heikkouksista yhteenveto, jota voidaan käyttää hyödyksi tulevilla projekteilla, joissa kohteeseen tehdään järjestelmävaihtoehtovertailua ja valitaan sopivaa järjestelmää.

Malliratkaisuiden pohjalta tehdään myös kustannuslaskelmat laitteiden, asennusmateriaalien, eristeiden ja asennustyön osalta. Eri laitteiden hintoja selvitetään laitevalmistajilta ja muiden asennusmateriaalien kustannukset saadaan Broker-kustannuslaskentaohjelmalla, jonka avulla saadaan myös asennuskustannukset työehtosopimuksen mukaisten normituntien perusteella.

Kustannuslaskelmat ovat tärkeä osa järjestelmävaihtoehtovertailua, sillä alkuvaiheen suunnittelussa tehtävillä päätöksillä on suuri vaikutus lopputulokseen ja kokonaiskustannuksiin.

2 Ilmastointijärjestelmät

Kaikki jäähdytysjärjestelmät ovat suljettuja järjestelmiä, joissa jäähdytyksen kiertovesi voidaan toteuttaa mm. vedenjäähdytyskoneella, kauko- tai maakyilmällä. Tässä työssä vertaillaan vain huonepään laitteita, eikä oteta kantaa siihen, miten jäähdytysenergia on toteutettu järjestelmään. Toimistorakennuksen Ilmanvaihto voidaan toteuttaa keskitetysti tai kerroskohtaisesti, riippuen rakennuksen pohjaratkaisusta ja talotekniikalle käytettävissä olevasta tilasta. Uusien toimistotilojen tulo- ja poistoilmanvaihtokone sisältää aina kuitenkin vähintään ilmansuodattimet, äänenvaimentimet, lämmöntalteenoton sekä lämmitys- ja jäähdytyspatterin.

Ilmastointijärjestelmällä on suuri merkitys, kun valitaan huonepään laitteita. Ilmastointijärjestelmät ovat jaoteltavissa sen mukaan, miten jäähdytysteho tuodaan tilaan, seuraavasti:

- ilmajärjestelmät
- vesijärjestelmät
- ilma-vesijärjestelmät
- hajautetut järjestelmät.

2.1 Ilmajärjestelmät

Ilmajärjestelmissä koko jäähdytysteho tuodaan huoneeseen ilmalla, jolloin kesäajan jäähdytystehontarve on ilmamäärän mitoittavana tekijänä. Ilmamäärät ovat tällöin reilusti suuremmat, kuin ilmanvaihdon mitoituksen perustella tarvittaisiin. Suuret ilmamäärät saattavat aiheuttaa vedon tunnetta. Yleisesti käytettyjä ilmajärjestelmiä ovat vakioilmavirtajärjestelmät, eli CAV-järjestelmät (Constant Air Volume System) ja muuttuvailmavirtajärjestelmät, eli VAV-järjestelmät (Variable Air Volume System). Tuloilman lämpötila on huoneilman lämpötilaa alhaisempi kaikkina vuodenaikoina. Jäähdytyskäytössä tuloilmanlämpötila voi alhaisimmillaan olla +16...18 °C riippuen ilmanjakotavasta. Tilojen lämmitys tapahtuu erillisellä järjestelmällä. [1, s. 130.]

2.1.1 Vakioilmavirtajärjestelmä

Vakioilmavirtajärjestelmissä ilmavirta pidetään vakiona koko rakennuksen käyttöajan. Järjestelmä ei sisällä ilmamääräsäätimiä, joiden avulla ilmamäärää ja jäähdytysteho voidaan muuttaa yksittäisen huoneen tarpeen mukaan. Vakioilmavirtajärjestelmää voidaan käyttää kohteissa, joissa on suuret tilat sekä vierekkäin samanlaisia huoneita, joiden lämpökuormat eivät poikkea toisistaan merkittävästi käytön aikana. Jäähdytyskäytössä tuloilman lämpötilaa säädetään tyypillisesti lämpötila-anturin mittauksen perusteella, joka sijoitetaan huoneiden yhteiseen poistoilmakanavaan, jolloin lämpötilan säätö tapahtuu huoneiden keskimääräisen lämpötilan mukaan. [1, s. 131.]

Muuntojoustavuus vakioilmavirtajärjestelmässä huomioidaan valitsemalla huoneen päätelaitteet laajan säätöalueen mukaan. Ilmavirtojen suurentaminen lisää myös järjestelmän jäähdytystehoja, jolloin on riskinä, että huoneen lämpötila putoaa liian alhaiseksi, kun huonekohtaista ilmamäärän säätöä ei ole. Tällöin huoneen tuloilmakanavaan on mahdollista asentaa jälkilämmityspatteri. [1, s. 132.]

2.1.2 Muuttuvailmavirtajärjestelmä

Muuttuvailmavirtajärjestelmä käytetään yleisesti nimitystä VAV-järjestelmä (Variable Air Volume System). Suomessa järjestelmästä käytetään myös termejä MIV (muuttuvailmavirta), IVS (ilmavirtasäätin) ja IMS (ilmamääräsäätin). Muuttuvailmavirtajärjestelmällä on mahdollista toteuttaa korkeatasoinen tilakohtainen ilmastoitus, jolloin jokaisessa huoneessa on omat mittausanturit sekä ilmavirtasäätimet tulo- ja poistoilmakanavassa. Järjestelmä voidaan toteuttaa myös vyöhykekohtaisesti, jos huoneiden välillä ei ole suuria kuormituseroja. [1, s. 133.]

Tuloilman lämpötila on aina huoneilmaa viileämpää kaikkina vuodenaikoina, jotta tuloilma sekoittuu huoneilmaan ilman tiheyseroista johtuen. Päätelaitteelle tuleva tuloilma on vakiolämpöistä, ja huoneen lämpötilan säätö tapahtuu ilmavirtaa muuttamalla, ilmavirtaa kasvattaessa jäähdytysteho kasvaa vastaavasti. VAV-järjestelmässä ilmamääräsäätimiä ohjataan usein lämpötila-anturin mittauksen perusteella, jolloin muuttuvaa ilmavirtaa käytetään vain tuodun jäähdytystehon säätöön. VAV-järjestelmäksi voidaan myös luokitella järjestelmät, joissa huoneen ilmamääräsäätimiä ohjataan

liiketunnistimen, hiilidioksidianturin, rakennusautomaation aikaohjelman tai paikallisen kellon avulla. [1, s. 134.]

Huonekohtainen VAV-järjestelmä soveltuu tiloihin, joissa lämpökuormien ja henkilömäärien vaihtelu on suurta vuorokauden aikana, esim. neuvottelu- ja kokoustiloihin. Järjestelmä toimii parhaiten silloin, kun lämpökuormat johtuvat pääasiassa ihmisistä, eikä suuria ulkoisia lämpökuormia ole, kuten auringosta ja laitteista aiheutuvaa lämpökuormaa. Henkilömäärän lisääntyessä huoneen hiilidioksidipitoisuus ja jäähdytyksen tarve kasvavat, jolloin VAV-järjestelmällä pystytään hyödyntämään raitis tuloilma sekä sen tuoma jäähdytysenergia, tällöin järjestelmä toimii optimaalisesti. Jos tilassa on suuri jäähdytyksen tarve ja pieni ilmanvaihdon tarve, on sisäänpuhallusilmavirta tällöin merkittävästi suurempi kuin mitä ilmanvaihdon mitoituksen perusteella tarvittaisiin, jolloin järjestelmä ei toimi optimaalisesti. [1, s. 133.]

Vyöhykekohtaisessa VAV-järjestelmässä ilmamääräsäätimiä ohjataan huoneiden keskilämpötilan perusteella, jolloin lämpötila-anturi on sijoitettu vyöhykettä palvelevaan poistorunkokanavaan. Ilmamääräsäätimet on sijoitettu myös runkokanaviin, jolloin säätimet ovat muutamaa dimensiota suuremmat kuin huonekohtaisessa järjestelmässä. Vyöhykekohtaisessa järjestelmässä huoneiden välillä ei tulisi olla suuria kuormituseroja, jolloin vyöhykkeen jaottelussa on hyvä huomioida huoneiden ikkunan ilmansuunta, jotta aurinkokuormat ovat samansuuruiset ja samanaikaiset huoneissa. [1, s. 136.]

Perinteisten ilmamääräsäätimien säännöllinen huolto on tärkeää, sillä säätimien anturit ja mittayhteet tukkeutuvat helposti, jolloin säätimien mittaustarkkuus heikkenee tai on virheellistä. Erityisesti poistoilman ilmamääräsäädin likaantuu helposti huonepölystä ja epäpuhtauksista. [1, s. 136.] Markkinoilla on kuitenkin jo monia ultraäänimittaukseen perustuvia ilmamääräsäätimiä, joissa tätä ongelmaa ei ole.

Valittaessa huoneen päätelaitteita muuttuvailmavirtajärjestelmään on tärkeää huomioida, että ilmamäärä muuttuu jatkuvasti, millä on suuri vaikutus etenkin tuloilmalaitteen heittokuvioon. Tuloilmalaitteen toimiessa minimi-ilmavirralla on riskinä, että laitteen heittopituus ei riitä ja ilmasuihku putoaa suoraan alas oleskeluvyöhykkeelle aiheuttaen mahdollisesti vetoa. Päätelaitetta valittaessa on tärkeää varmistaa sen soveltuvuus sekä maksimi- että minimi-ilmavirralla. [2, s. 63.]

Ilmajärjestelmien mitoittavana tekijänä on jäähdytystehontarve, jolloin ilmanvaihtokoneet ja -kanavat ovat paljon suurempia kuin ilmanvaihdon mitoituksen perusteella tarvittaisiin. Suuremmat ilmanvaihtokoneet ja -kanavat kasvattavat investointikustannuksia ja vievät enemmän tilaa. Kanavat tarvitsevat enemmän tilaa alakatoissa, joka vaikuttaa varsinkin käytävien alakattokorkoon, myös suuremmat kuilut ovat pois rakennuksen hyötyneliöistä. Tosin, ilmajärjestelmien etuna on, että jäähdytysputkia ei tarvitse tuoda tiloihin, kun erillisiä ilmastointilaitteita ei ole. [1, s. 150.]

Vaikka ilmajärjestelmä on yksinkertainen ja edullinen tapa toteuttaa toimitilojen jäähdytys, ovat nykypäivän toimistosuunnittelussa ilma-vesijärjestelmät kuitenkin syrjäyttäneet ilmajärjestelmät. Ilma-vesijärjestelmillä pystytään paremmin vastaamaan sisäilmastotavoitteisiin lämpöolojen ja ilman vedottomuuden kannalta. [1, s. 134.]

2.2 Vesijärjestelmät

Vesijärjestelmissä ilmanvaihto ja jäähdytys ovat täysin erillisiä järjestelmiä. Tuloilmaa ei kuivata eikä jäähdytetä ilmanvaihtokoneessa, vaan jäähdytysteho tuodaan huoneeseen pelkästään vedellä. Vesijärjestelmissä sisäänpuhallusilma on vain suodatettua ulkoilmaa, jolloin sisäilman suhteellinen kosteus on korkea kesäaikana. Tällöin sisäilman kosteus kondensoituu herkästi jäähdytyslaitteille ja -putkille, jolloin laitteet on aina varustettava kondenssivesialtailla ja -putkilla. Kondenssiveden poisto voidaan toteuttaa viettoviemärillä tai kondenssivesipumpun avulla. Toimitiloissa kondenssiviemäröinnin haasteena ovat niiden tilantarve alakatoissa ja mahdolliset äänihaitat. Vesijärjestelmät soveltuvat huonosti toimitiloihin niiden mahdollisten vedenvuotoriskien, ääniongelmien, tilankäytön ja esteettisyyden vuoksi. [1, s. 148.]

2.3 Ilma-vesijärjestelmät

Ilma-vesijärjestelmä soveltuu parhaiten uusiin toimitiloihin. Järjestelmässä jäähdytysteho tuodaan huoneeseen sekä ilmalla että vedellä, mikä tarkoittaa sitä, että huoneessa on erillinen jäähdytyslaite ja ilmanvaihtokone sisältää aina myös jäähdytyspatterin. Ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterilla on kaksi tarkoitusta. Ensinnäkin se viilentää

tuloilman kesäaikaan tuoden jäähdytystehoa huoneisiin ja lisäksi se kuivattaa sisäilmaa poistamalla ylimääräisen kosteuden siitä. Tuloilman kuivatus mahdollistaa sen, että huoneiden vesikiertoiset jäähdytyslaitteet voidaan suunnitella ei-kondensoiviksi, jolloin voidaan olettaa, että vesi ei enää tiivisty huoneessa jäähdytyspatterin ja -putkien pintaan, kun sisäilman absoluuttista kosteutta on jo kertaalleen pudotettu riittävän alhaiseksi ilmanvaihtokoneessa. Ilma-vesijärjestelmässä jäähdytysteho mitoitetaan kesäajan jäähdytyksen tehontarpeen mukaan ja ilmamäärä mitoitetaan ilmanvaihdon tarpeen mukaan. Ilmalla saatava jäähdytysteho voidaan kuitenkin huomioida vedestä tarvittavasta jäähdytystehosta mitoitusvaiheessa. [1, s. 130.]

2.4 Hajautetut järjestelmät

Hajautetuilla järjestelmillä tarkoitetaan yleensä huone- tai huoneistokohtaisia suora- höyrysteisiä jäähdytyslaitteita ja -koneita, esim. split-jäähdytyslaitteita ja ilmalämpöpumppuja. Järjestelmät muodostuvat ulko- ja sisäyksiköistä, jolloin rakennuksen runko täytyy lävistää ulkoyksikköä varten. Rakennuksen vaipan läpäisyä huonekohtaisesti ilmastointia varten halutaan välttää, sillä siitä aiheutuu lämpövuotoja ja mahdollisesti ongelmia vesitiiveyden kannalta. Järjestelmien haasteena on myös ulkoyksiköiden sijoitus ja laitteiden kondenssiviemäröinti. Hajautettujen järjestelmien huolto on lisäksi haastavampaa ja kalliimpaa verrattuna keskitettyihin järjestelmiin, sillä se vaatii mm. kylmäkonehuoltoa. Hajautetut järjestelmät sopivat tiloihin, joissa tarvitaan suurta jäähdytystehoa tai tilaa ei haluta tai pystytään liittämään keskitettyyn järjestelmään. Toimistotiloihin hajautettuja järjestelmiä ei juurikaan suunnitella. [1, s. 130.]

3 Huonelaitteet

Toimistotilojen lämmönluovutus- ja ilmastointijärjestelmäksi on valittavissa paljon erityyppisiä järjestelmiä ja laitteita. Järjestelmävalinnassa on paljon kysymys siitä, miten taataan viihtyisä sisäilmasto kustannustehokkaasti ja sovitetaan järjestelmä tilaan arkkitehdin kanssa tilaajan tavoitteet ja tarpeet huomioiden.

Opinnäytetyössä tutkitaan toimistotilojen yleisimpiä tilalämmitys ja -jäähdytyslaitteita niiden ominaisuuksien kannalta, joiden perusteella vaihtoehtovertailua voidaan tehdä. Huonelaitteiden vertailussa ei ole tarkoituksena vertailla eri laitevalmistajien tuotteita keskenään, vaan laitteita vertaillaan järjestelmätasolla. Esimerkkilaitteiksi on valittu jonkin yleisesti käytössä olevan laitevalmistajan tuote.

3.1 Puhallinkonvektorijärjestelmä

Puhallinkonvektorit kierrättävät huoneen sisäilmaa puhaltimen avulla ilmansuodattimen ja lamellipatterin läpi. Puhallinkonvektoreilla voidaan toteuttaa toimitilojen jäähdytys ja tarvittaessa myös lämmitys. Yleisemmin puhallinkonvektoreita käytetään kuitenkin pelkästään jäähdytyskäyttöön, mikäli laitetta halutaan käyttää myös lämmitykseen, käytetään tällöin asennuksessa neliputkikytkentää. Puhallinkonvektorit ovat yleensä erillisiä laitteita huoneen tuloilmasta, mutta niitä voidaan tarvittaessa käyttää myös tuloilman päätelaitteena, jolloin tuloilma kanavoidaan laitteen sivuun. Puhallinkonvektorit toimivat säädettävillä EC-moottoreilla, joiden syöttöjännite on 230 V, ja niiden ohjaus tapahtuu rakennusautomaation kautta. [1, s. 138.]

Puhallinkonvektoreita on saatavilla laaja valikoima eri valmistajilta erityyppisiin asennuksiin. Laitteita voidaan sijoittaa ikkunapenkkiin, seinään, integroida kasettimallisena alakattoon tai ripustaa kattoon vapaa-asenteisena. Tehoa säädetään vesivirtaa ja puhaltimen pyörimisnopeutta säätämällä. Puhallinkonvektorit voidaan suunnitella niin, että veden kondensoituminen sallitaan laitteen jäähdytyspatteriin tai ei sallita. Ei-kondensoiva puhallinkonvektorijärjestelmä tarvitsee tuloilman kuivatuksen, eli oman jäähdytyspatterin ilmanvaihtokoneessa. Tällöin sisäilman kosteus ei tiivisty huonepäässä laitteen lamellipatteriin. Kondensoivaksi verkoksi suunniteltu puhallinkonvektorijärjestelmä täytyy varustaa aina kondenssiviemäröinnillä, joka toteutetaan viettoviemäröintinä tai kondenssivesipumpun avulla. [1, s. 139.]

Puhallinkonvektoreiden puhtaudesta täytyy huolehtia, sillä huoneilman epäpuhtaudet likaavat laitteen suodatinta. Suodattimien tukkeutuminen alentaa laitteen kierrätysilmämäärää, jolloin laitteen lämmitys- ja jäähdytysteho laskee sekä laitteen äänitaso kasvaa. Suodattimien vaihto- tai puhdistusväli vaihtelee eri laitevalmistajan ohjeiden mukaan ja

huonetilan pölypitoisuudesta riippuen. Tyypillisesti suodattimet vaihdetaan noin kerran vuodessa, laitteen kunnontarkastukset on syytä tehdä tiheämmin välein. Suodattimien vaihdon yhteydessä imuroidaan myös laitteen lamellipatteri ja puhaltimen siivekkeet, laitteen etulevy on irrotettavissa huoltoa varten. [1, s. 238.]

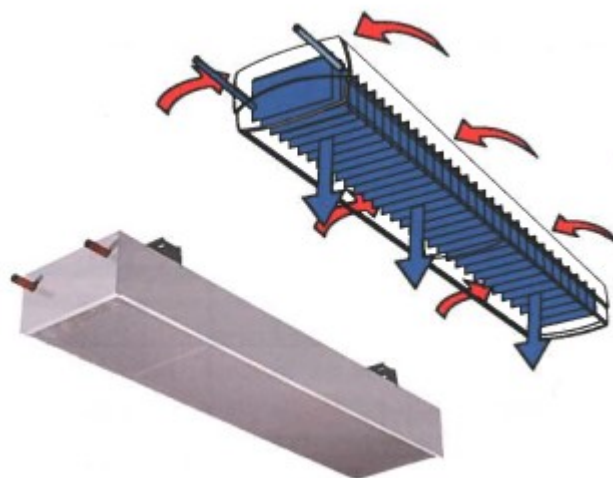
3.2 Jäähdytyspalkkijärjestelmä

Jäähdytyspalkkeja kutsutaan myös nimellä ilmastointipalkki ja ne jaotellaan aktiivi- ja passiivipalkeiksi. Näiden erona on, että passiivipalkeissa lämmönsiirto tapahtuu vapaalla konvektiolla, jossa ilma virtaa luonnollisesti palkin läpi, kun taas aktiivipalkeissa lämmönsiirto tapahtuu pakotetulla konvektiolla, eli palkin läpi tuodaan tuloilmaa. Molempia laitteita käytetään usein pelkästään jäähdytyskäytössä.

3.2.1 Passiivipalkit

Passiivipalkeissa lämmönsiirto tapahtuu noin 80 % vapaan konvektion avulla ja loput 20 % säteilyn avulla. Passiivipalkki (kuva 1) koostuu jäähdytyksen kiertoputkesta, jonka ympärillä on tiheästi asennettuja lamelleja, tuoden lisää lämmönsiirtopintaa. Palkin sivuissa on alumiiniset levyt, jotka lisäävät palkin lämmönsiirtopinta-alaa. Jäähdytystilanteessa lämmin huoneilma virtaa luonnollisesti palkin läpi ylhäältä alas poistaen huoneen lämpökuormaa. Lämmityskäyttöön passiivipalkki ei sovellu, sillä lämmennyt huoneilma kerrostuu huoneen kattoon, lämpimän ja kylmän ilman tiheyseron vuoksi. [1, s. 144.]

Passiivipalkkien huonona puolena on, että jäähdytettyä ilmavirtaa ei voida hallita, vaan se putoaa suoraan alaspäin palkista aiheuttaen mahdollisesti vedon tunnetta. Tästä syystä työpistettä ei voida sijoittaa suoraan palkin alle, mikä tekee toimistihuoneesta heikosti muunneltavan. Luonnollisen konvektion vuoksi passiivipalkeista saatava jäähdytysteho on pienempi kuin aktiivipalkeista.



Kuva 1. Passiivipalkki [1, s. 144].

3.2.2 Aktiivipalkit

Aktiivipalkit toimivat jäähdytystoimintonsa lisäksi myös tuloilman päätelaitteena. Palkin päähän tai sivuun tuodaan tuloilmakanava, jonka ilmavirta sekoittuu huoneen kierrätysilmaan palkin kammiossa (kuva 2). Aktiivipalkkien toiminta perustuu pakotettuun konvektioon, minkä vuoksi niistä saatu jäähdytysteho on suurempi kuin passiivipalkeilla. Jäähdytystoiminnolla lämmin huoneilma nousee induktioperiaatteen avulla palkin alaosasta jäähdytyspatterin läpi, jossa se sekoittuu primääri-ilmavirtaan ja puhalletaan palkin pitkällä sivuilla olevista suuttimista huonetilaan. Aktiivipalkit on paljon käytetty ratkaisu toimitilojen tilajäähdytykseen. Niitä on saatavilla laaja valikoima monilta valmistajilta eripituisina ja -levyisinä vastaamaan tilan jäähdytystehon tarvetta ja huoneen geometriaa. Aktiivipalkit voidaan asentaa alakattoon tai jättää näkyville vapaana asennuksena. Palkkeihin on lisäksi saatavilla erilaisia valaisimia integroituna. [2, s. 53.]



Kuva 2. Alakattoasenteinen aktiivipalkki [1, s. 145].

Ilmastointimoduuleiksi kutsutaan laitteita, joissa ilma puhalletaan neljään suuntaan kahden sijasta (kuva 3). Näiden toimintaperiaate on muuten täysin sama kuin aktiivipalkkien. Neljään suuntaan puhallettava ilma jakautuu tasaisemmin huoneeseen, jolloin ilmantoisuus on alhaisempi. Moduulit ovat neliön mallisia, jolloin ne vievät vähemmän alakattopinta-alaa ja ovat helpompia sijoittaa huoneeseen muun tekniikan kanssa sopivaksi. Suurempia tehon tarvetta varten laitteita on saatavilla myös kaksimoduuliyksikkönä, jossa on rinnan kaksi moduulia. [3, s. 3.]



Kuva 3. Ilmastointimoduuli [3, s. 3].

Aktiivipalkkien sijoittelussa täytyy huomioida seinät ja muut rakenteelliset esteet, jotta ilmavirrat sekoittuvat tasaisesti tilaan. Tilassa, jossa on useampi aktiivipalkki, täytyy niiden etäisyyden toisistaan olla myös riittävä, jotta ilmavirrat eivät törmää keskenään ja putoa suoraan alaspäin aiheuttaen vetoa. Tämä voidaan varmistaa ilmavirtasimulaatioiden avulla. Aktiivipalkeissa on kuitenkin hyvät ilmavirran säätömahdollisuudet. Useimmissa aktiivipalkkimalleissa voidaan ilmavirta säätää puhallettavaksi enemmän toisesta sivusta, mikä mahdollistaa niiden sijoittelun huoneeseen epäkeskeisesti esim.

lähemmäksi seinää. Myös suutinkulmia voidaan säätää palkin molemmin puolin, mikä voi olla tarpeen, jotta ilmavirrat saadaan sivuamaan toisiaan. [2, s. 52.]

Aktiivipalkkien suunnittelussa on hyödynnetty Coanda-ilmiötä. Kun tuloilma puhalletaan palkin sivuilta kattopintaa pitkin, tarttuu tuloilma kattopintaan kiinni ja sekoittuu tasaisesti huoneilmaan eikä tipu suoraan alas sisäänpuhalluksen jälkeen. Vapaa-asenteisissa jäähdytyspalkkeissa ilmavirtaa ohjataan hieman yläviistoon, jotta ilmavirta pääsee kulkeutumaan kattoa pitkin.

Jäähdytyspalkkeihin on saatavilla lisävarusteena myös laitevalmistajien omia toimilaitteita parantamaan ilmavirran säätöä, jotka säätävät laitteen suutinkiskoa pitäen kammio-paineen ja huonetilan paine-eron vakiona, jolloin ilmavirran heittopituus säilyy vakiona. Perinteiset ilmamääräsäätimet soveltuvat heikosti käytettäväksi jäähdytyspalkkien kanssa muuttuvailmavirtaisessa järjestelmässä, sillä ilmamäärän pienentäminen tarpeenmukaiseksi pienentää myös kammio-painetta, jolloin ilmavirran heittopituus pienee. Paine-eron pudotus pienentää myös laitteen induktiokerrointa, jolloin lämpimän huoneilman virtaus jäähdytyspatterin läpi vähenee ja jäähdytysteho laskee merkittävästi. [4.]

Aktiivipalkit vaativat huoltoa ja puhdistusta aika ajoin, sillä huoneilmassa oleva pöly kertyy lamellipatterin ja säleikön pinnalle, joka heikentää laitteesta saatavaa jäähdytystehoa. Aktiivipalkki puhdistetaan avaamalla säleikkö ja imuroimalla patterin sekä säleikön pinnat. Sopiva huoltoväli laitteelle on puolesta vuodesta kahteen vuotta, riippuen kohteesta. [1, s. 146.]

3.3 Säteilypaneelijärjestelmä

Säteilypaneelit soveltuvat sekä jäähdytys- että lämmityskäyttöön ja samaa paneelia voidaan käyttää näiden yhdistelmänä, paneeleita on saatavilla yksi- tai kaksipiirisinä. Lämmitys- ja/tai jäähdytysputket tuodaan paneelin yläpintaan, jossa ne liitetään rinnan tai sarjaan kytkettyihin paneeleihin. Paneeli koostuu alumiinisesta levytasosta, mikä johtaa lämpöä tehokkaasti ja tekee paneelista samalla kevyen. Levytason sisäpinnassa kiertävät tiiviisti kupariputket luovuttaen lämpöä levytasolle tai jäähdytyskäytössä sitoen

lämpöä levytasosta. Paneelien lämmönsiirto tapahtuu pääosin säteilyinä. Säteilypaneelit voidaan asentaa integroituna alas laskettuihin kattoihin tai ripustaa vaijereilla vapaa-asenteisena. Paneelien vakioleveydet ovat tyypillisesti 600, 900 ja 1 200 mm ja vakio-pituudet ovat yleensä 600 mm:in jaolla välillä 600–3 600 mm. Erikoismittaisia paneeleita on myös saatavilla. [5, s. 1; 1, s. 148.]

Säteilypaneelit tuottavat huoneeseen lämpöenergiaa säteilyn avulla. Lämpösäteily lähtee paneelin pinnasta puolipallon muodossa kaikkiin suuntiin lämmittäen huoneen pintoja, ja pinnat vuorostaan lämmittävät huoneilmaa. Lämpösäteilyn jatkuvuusluonteen vuoksi, säteily jatkaa matkaansa heijastuen törmättyään pintaan, jolloin kylmiä kohtia huoneeseen ei pääse syntymään, myöskään toimistotilojen isot pöytäpinnat eivät estä säteilyn pääsemistä pöydän alle. Lämpösäteily lämmittää ensisijaisesti huoneen pintoja, jolloin sisäseinien, lattian ja kalusteiden pintalämpötilat ovat usein huoneilmaa lämpimämmät. Säteilypaneeli lämmittää huoneen pintoja suhteessa niiden pintalämpötilaan. Kylmät pinnat, kuten ulkoseinät, ikkunapinnat ja -syvennykset, imevät eniten lämpösäteilyä, mikä estää epämukavan kylmälaskeuman muodostumista ikkunan eteen. Huonepintojen lämpötila vaikuttaa ihmisen kokemaan lämpötasapainoon saman verran kuin ilman lämpötila, tästä syystä lämpösäteily koetaan hyvin miellyttävänä. [5, s. 10.]

Jäähdytyskäytössä säteilypaneelit toimivat päinvastaisesti kuin lämmityskäytössä, säteily tapahtuu aina lämpimämmältä pinnalta kylmempään pintaan päin. Kun paneelissa kiertää jäähdytysverkoston vesi, säteilee lämpö huoneen pinnoilta paneeliin ja siitä edelleen jäähdytyspiiriin. Paneeli jäähdyttää myös osittain huoneilmaa konvektion avulla, jolloin lämmin huoneilma kohoaa paneelin pintaan ja virtaa takaisin oleskeluvyöhykkeelle jäähtyneenä. Paneelien jäähdytystehoa voidaan kasvattaa myös erityyppisillä perforoiduilla malleilla, joissa paneelin pinta on rei'itetty. Tällöin konvektion osuus kasvaa, kun lämmin huoneilma pääsee putoamaan paneelin läpi. Jäähdytyspaneelit kuuluvat kuiva-jäähdytysjärjestelmiin, eli veden kondensoitumista ei sallita putkien ja paneelien pinnoille, jolloin järjestelmä täytyy varustaa kastepisteautomaatiikalla. [6, s. 15; 7, s. 3–4.]

Säteilypaneelit tulisi asentaa tilaan mahdollisimman tasaisesti sekä painottaa ulkoseinien ja ikkunoiden läheisyyttä sijoituksessa, jolloin voidaan korvata lämpöhäviöt rakenteiden ja ikkunoiden läpi sekä estää kylmälaskeumat lämmittämällä ikkunapintoja tehokkaammin. [5, s. 27.]

3.4 Lattiakonvektorit

Nykyaikaisiin toimistoihin suunnitellaan usein korkeat lattiasta katoon ylettyvät ikkunat tai jopa lasijulkisivuja, tällöin myös ikkunan edusta halutaan mahdollisimman vapaaksi tekniikasta, joka estää näkymää ulos ja vastaavasti tekniikan ei haluta näkyvän ulkoapäin. Tämä asettaa erityisvaatimuksia lämmönluovuttimille, jolloin perinteinen radiaattoriratkaisu ei sovellu käytettäväksi.

Lattiakonvektori on lattiaan upotettava koteloitu laite (kuva 4), jossa on alumiinista tai kuparista valmistettu lämmönvaihdin sekä moottori, joka pyörittää kotelon sisällä olevaa keskipakopuhallinta (pidemmissä malleissa on useampi puhallin ja moottori). Lattiakonvektoreita on saatavilla myös ilman puhaltimia, jolloin lämmönsiirto tapahtuu luonnollisen konvektion avulla. Yleisemmin on käytetty kuitenkin puhaltimilla toimivia konvektoreita, sillä niistä saadaan huomattavasti suurempi teho pakotetun konvektion ansiosta. Lattiakonvektori imee kotelon päällä olevasta rutilästä lämmönsiirtimen läpi huoneilmaa, jonka puhaltimet puhaltavat takaisin ylöspäin huonetilaan. Laitteet sijoitetaan tyypillisesti ikkunan eteen, jolloin ylöspäin suuntautuva lämmin ilmavirta estää tehokkaasti kylmävedon tunnetta. Laitteita on myös mahdollista käyttää jäähdytykseen. [8]



Kuva 4. Lattiakonvektori [8].

Lattiakonvektoreita varten lattiaa ei yleensä tarvitse nostaa, vaan laitteet asennetaan sitä varten tehtävään lattiasyvennykseen, jossa tuodaan myös lämmityksen kiertovesiputket

esim. PEX-muoviputkella jakotukilta lattiakonvektorille, jolloin putket jäävät pois näkyvistä. Vaihtoehtoisesti laitteet voidaan myös kytkeä pystyrunkoputkiin samaan tapaan, kuin patterit. Lattiakonvektorien haasteellinen asennustapa kasvattaa asennuksen hintaa myös rakennuspuolella. [9]

Lattiakonvektorien etuna on, että ne ovat hyvin huomaamattomia, sillä niiden ainut näkyvä osa on laitteen päälle tuleva ritilä, josta ilma liikkuu sisään ja ulos. Ritilöitä on saatavilla laaja värivalikoima ja eri materiaaleista valmistettuja esim. teräksestä tai puusta [8], jolloin ne on helppo sovittaa erilaisiin huoneen lattiamateriaaleihin ja tyyliihin.

Lattiakonvektorit vaativat säännöllistä huoltoa ja puhdistusta, sillä laitteessa ei ole kierätettävälle ilmalle mitään suodatinta, jolloin huonepöly kertyy laitteen sisään koteloon ja lämmönluovuttimen pinnalle, josta puhaltimet nostavat pölyn takaisin huoneilmaan. Lisäksi puhaltimet on vaihdettava aika ajoin rikkoutumisen tai mahdollisten ääniongelmien ilmaannuttua.

3.5 Lattialämmitys ja -viilennys

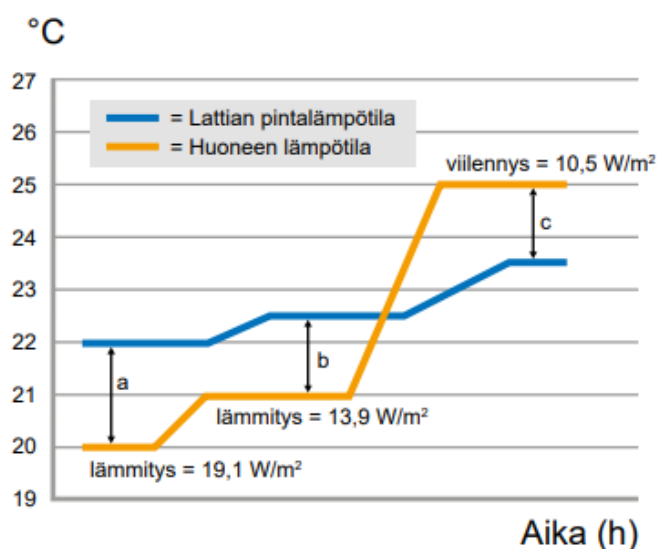
Lattialämmityksellä lämmönsiirto tapahtuu suurimmaksi osaksi säteilylämmityksenä, jolloin lämmin lattia säteilee lämpöä kohti viileämpää huoneilmaa. Vastaavasti jäähdytyskäytössä lämpö säteilee huoneesta kohti lattiaa, poistaen huoneen lämpökuormaa. Lattialämmitys ja -viilennys voidaan toteuttaa samalla putkistolla vaihtokytkennän avulla. Putkimateriaalina käytetään tyypillisesti komposiittia ja happidiffusiosuojattua muoviputkea. Putket asennetaan yleensä kantavan betonilaatan päälle pintavaluun, jonka alle tulee lämpöeristekerros. [10, s. 122]. Lattialämmitys- ja viilennyspiirit tuodaan jakotukilta huone- tai tilakohtaisesti siten, että putket kulkevat ensin ulkoseinän puoleiselle sivulle, jossa lämmitys- ja viilennystehontarve on suurinta [11, s. 39].

Lattialämmityksen teoreettisen maksimitehon nyrkkisääntönä pidetään 11 W/m^2 jokaista astetta kohden lattian pintalämpötilan ja huoneen sisäilman lämpötilaeron välillä. Tehoon vaikuttaa kuitenkin putkien asennussyvyys ja lattian pintamateriaali. Lattialämmityksen suurin sallittu pintalämpötila oleskeluvyöhykkeellä on 29 astetta. Järjestelmän menoveden lämpötila, käyttömukavuus ja lattiamateriaalien lämmönkestävyys rajoittavat

maksimi pintalämpötilan kuitenkin 27 asteeseen. Tiloissa, joissa työskennellään jatkuvasti seisten, kuten toimistot, Uponor suosittelee lattian pintalämpötilaksi enintään 25 °C. [12; 11, s. 18.]

Lattiaviilennystä käytettäessä lattian pintalämpötila saa olla alhaisimmillaan 20 °C, jotta veden kondensoitumisriskiä ei ole. Lattiaviilennyksen tehoon vaikuttaa lattiapintalämpötilan ja huonelämpötilan välisen eron lisäksi myös merkittävästi auringonsäteily, joka tuo lisätehoa lattiaviilennykseen. Auringonsäteilyn vaikutusta tilaan on tarkasteltava simulointiohjelmien avulla aina projektikohtaisesti. Lattiapintalämpötilan ja huonelämpötilan välisestä erosta saatava viilennysteho on noin 7 W/m² jokaista astetta kohden. [11, s. 13.]

Järjestelmä on osittain itsestäänsäätävä (kuva 5), sillä huoneilman lämpötilan muutos vaikuttaa järjestelmästä saatavaan lämmitys- ja jäähdytystehoon suhteellisen paljon, johtuen pienestä lämpötilaerosta huoneen ja lattian pintalämpötilaeron välillä [11, s. 17].



Kuva 5. Järjestelmän itsesäätävä vaikutus huoneen lämpötilan ja lattian pintalämpötilan välillä, kun energian vaihto on positiivista tai negatiivista [11, s. 17].

Järjestelmässä lämmönsiirtopinta-ala on suuri, jolloin lämpötila on tasainen huoneessa, eikä vedontunnetta ole. Lattialämmityksen ja -viilennyksen etuna verrattuna muihin järjestelmiin on, että järjestelmä on täysin huomaamaton ja erillisiä huonepään

lämmönluovuttimia ei tarvita, jolloin säästetään tekniikan viemää tilaa alakatoissa ja tilasta saadaan esteettömän näköinen. Koska lämmönsiirto tapahtuu järjestelmässä tasaisesti, voidaan huonekaluja ja työpistettä liikutella vapaasti tilassa, altistumatta vedolle. Lattialämmityksen ja -viilennyksen eduksi voidaan myös lukea, että se on täysin huoltovapaa järjestelmä. [10, s. 122.]

Lämmitys ja -viilennyspiirit toteutetaan huone- tai tilakohtaisesti, ja lämpötilan säätö tapahtuu huonetermostaatin avulla, jolloin järjestelmällä ei voida huomioida muuntojoustavuutta. Väliseinien siirto sekoittaisi huonekohtaisen säädön eikä huoneen tehontarpeen muutoksiin voida varautua. Toimistotiloissa on usein suuri jäähdytyksen tehontarve, jolloin pelkkä lattiaviilennys ei riitä tuomaan tarvittavaa jäähdytystehoa; tällöin tarvitaan rinnalle lisäksi jokin muu jäähdytysjärjestelmä. Lattialämmityksen ja -viilennyksen huonona puolena pidetään myös sen hidasta reagointiaikaa huoneen lämpötilanmuutokseen, sillä putkilenkkien ympärillä oleva massa varaa energiaa.

3.6 Lämpöpatterit

Patterit sijoitetaan huoneeseen siten, että ilman lämpötila on tasainen huoneessa. Yleisesti tapana on sijoittaa patterit tilaan ikkunan levyisenä sen alle tai eteen, jolloin estetään tehokkaasti kylmävalumiin muodostumista kylmiltä ikkunapinnoilta. Patteri muodostaa ylöspäin suuntautuvan ilmavirtauksen, joka estää tehokkaasti epämiellyttävän vedon muodostumista. Pattereissa lämmönsiirto tapahtuu sekä säteilylämpönä että konvektion avulla. Riippuen kumpaa lämmönsiirtoa on enemmän, voidaan pattereita jaotella radiaattoreiksi tai konvektoreiksi. Pattereita on saatavilla laaja valikoima erikokoisina, värisinä ja erilaisella profiililla varustettuna. Patterin värillä ei ole vaikutusta sen lämmön luovutukseen, ellei pinta ole metallin kiiltävä. Mattapinta säteilee enemmän lämpöä kuin kiiltävä metallipinta. [10, s. 118.]

Levyradiaattorit ovat yleisesti paljon käytetty lämmönluovutin. Se on valmistettu poimutetusta teräslevystä, jonka läpi kulkee vesisolat. Pattereita on saatavilla yksi-, kaksi-, tai kolmilevyisinä, riippuen tehontarpeesta. Levyradiaattoreiden lämmönsiirtopintaa on kasvatettu lisäämällä levyjen taakse ja väliin rivat. [10, s. 119.]

Konvektoripattereissa on vähän lämpöä säteilevää otsapintaa radiaattoreihin verrattuna. Kokonaislämmänsiirtopinta-ala saadaan suureksi tiheään asennetulla ohuella rivoituksella, joka kasvattaa konvektion osuutta. Konvektorit ovat tyypillisesti matalia, alle 30 cm, jolloin ne sopivat hyvin tiloihin, jossa on korkeat lattiasta kattoon ylettyvät ikkunat. [10, s. 119.]

4 Sekoittava ilmanjako

Tässä työssä ilmanjaon osalta tarkastelu rajataan koskemaan sekoittavaa ilmanjakoa, joka on toimitiloissa hyväksi todettu ja tavanomainen ilmanjakoratkaisu. Vertailu tehdään kattopuhalluksen, seinäpuhalluksen sekä ilmastointipalkin läpi puhallettavan tuloilman välillä.

Ilmanjaon toteutuksella on suuri merkitys tilankäyttäjän kokemaan termiseen viihtyvyyteen ja sisäilmanlaatuun. Huonosti toteutettu ilmanjako aiheuttaa veto-ongelmia ja melua, mikä vaikuttaa negatiivisesti työntekijöiden tuottavuuteen, keskittymiskykyyn ja hyvinvointiin. Vastaavasti hyvin toteutettu ilmanjakoratkaisu on huomaamaton eikä aiheuta valituksia tilankäyttäjiltä. [13, s. 254.]

Sekoittavan ilmanjaon tarkoituksena on luoda tasaiset lämpöolosuhteet ja ilmanpitoisuudet koko tilaan. Tuloilma pyritään sekoittamaan mahdollisimman tasaisesti huoneilmaan, jolloin huoneen epäpuhtauspitoisuudet laimenevat riittävän alhaiseksi. Päätelaitteet tulee valita aina tilaan sopiviksi huomioiden tilan koko, päätelaitteiden toiminta-alue, mahdolliset rakenteelliset esteet, asennusta rajoittavat tekijät sekä tuloilmalaitteiden sopiva lukumäärä ja puhalluskuvion säätömahdollisuus. [2, s. 139.]

Ilmanjako kannattaa suunnitella systemaattisesti moduulijaon mukaan, jolloin taataan tasainen kokonaisilmavirta ja päätelaitteiden riittävä lukumäärä, myös päätelaitteiden vaihtoehtovertailu on tällöin helpompaa [13, s. 274]. Sekoittavassa ilmanjaossa pyritään hyödyntämään Coanda-ilmiötä, jossa ilmavirtaa kulkeutuu kattoa pitkin ilmavirran aiheuttaman alipaineen ansiosta. Tällöin vedon riskiä voidaan pienentää ja ilma jakautuu tasaisesti huoneeseen. Ilmanjaossa pyritään välttämään oikosulkuvirtauksia, jossa osa

tuloilmasta virtaa suoraan poistoilman päätelaitteeseen käymättä lainkaan oleskeluvyöhykkeellä, jolloin ilmanvaihdon hyötysuhde heikkenee. [2, s. 148.]

Tuloilman päätelaitteet pitää aina valita tilaan sopiviksi. Oikean heittopituuden määrittäminen on tärkeä kriteeri tuloilmalaitteita valittaessa, sillä liian pitkällä heittopituudella valitulla päätelaitteella ilmavirta törmää vastakkaiseen seinään ja putoaa suoraan alas, aiheuttaen mahdollisesti vetoa seinän läheisyydessä. Liian lyhyellä heittopituudella valitulla päätelaitteella taas alilämpöinen tuloilmavirta putoaa liian aikaisin oleskeluvyöhykkeelle, jolloin vedonriski on myös suuri ja ilmavirta ei tällöin palvele tasaisesti koko huonetta. Tuloilman heittopituus on se matka tuloilma-aukosta, jolloin ilmavirran nopeus on laskenut sen raja-arvoon, raja-arvona käytetään lukemaa 0,2 m/s. Heittopituus ei kerro kuitenkaan mitään ilmanvaihdon tehokkuudesta tai ilmavirran nopeudesta oleskeluvyöhykkeellä. Oleskeluvyöhykkeen ilman nopeuksien määrittäminen on paljon monimutkaisempaa ja vaatii virtaussimulaatiota (CFD-simulaatio). Huoneilmavirtauksiin vaikuttaa merkittävästi se, onko lämmitys- vai jäähdytystilanne, huoneen sekä päätelaitteiden geometria, lämpökuormat, mahdolliset kylmät pinnat ja päätelaitteiden sijainti huoneessa. [13, s. 252, 259.]

Sekoittavassa ilmanjaossa tuloilmasuihkujen virtaukset ovat aina turbulenttisia. Huoneilmavirtoja hallitsee joko tuloilmasuihkut tai huoneen lämpökuormat. Usein sekoittavassa ilmanjaossa tuloilmalaitteen liikemäärävirta on suuri, jolloin se hallitsee huoneen ilmavirtoja. [13, s. 253.]

4.1 Kattopuhallus

Kattopuhallus edellyttää yleensä alaslaskettua kattoa toimistotiloissa. Kattopuhalluksessa ilmavirtasuihku hajotetaan erilaisilla päätelaitteilla kartiomaiseksi tai radiaaliseksi suihkuksi. Erityyppisillä suuttimilla varustetuilla päätelaitteilla voidaan toteuttaa monia eri pyörrevirtaheittokuvioita, joissa tuloilman sekoittuminen on tehokasta ja säädettävyyden monipuolista. Kattopuhalluksessa tuloilmalaitteen heittokuvio jakaantuu erisuuntiin, joka mahdollistaa lyhemmän heittopituuden ja tuloilmavirran sekoittumisen huoneeseen tasaisesti. Radiaalisessa suihkutyyppissä heittokuvioita voidaan säätää tarpeen mukaan 1–4 suuntaan, jolloin laitteet voidaan sijoittaa epäsymmetrisesti huoneeseen ja väistää

ilmasuihkujen törmäilyt esteisiin ja toiseen ilmavirtasuihkuun. Tasaisemman ilman sekoittumisen ja eri suuntiin jaksautuvan heittokuvion ansiosta kattopuhalluksella voidaan tuoda huoneeseen suurempi jäähdytysteho ilmalla vedottomasti, verrattuna seinäpuhallukseen. [13, s. 260.]

Kattopuhallus voidaan toteuttaa myös vapaa-asenteisena, jolloin kanavat ja liitântälaatikot jäävät näkyviin. Tällöin alilämpöisen tuloilman heittokuviossa on huomioitava ilmavirran taipuminen alaspäin oleskeluvyöhykkeelle, kun tuloilmasuihku ei pääse kulkeutumaan kattoa pitkin. Vaarana on, että oleskeluvyöhykkeen ilman nopeuden raja-arvot ylittyvät, jolloin aiheutuu vetoa. [13, s. 275.]

Nykyisin päätelaitteet varustetaan liitântälaatikoilla, joiden avulla virtausta pystytään tasaamaan ja säätämään. Liitântälaatikot sisältävät ilmamäärän mittausyhteen, ja ne vaihentavat myös kanavaääntä, jolloin päästään ääni- ja virtausteknisesti luotettavaan lopputulokseen. [13, s. 264.]

4.2 Seinäpuhallus

Seinäpuhalluksessa ilmavirtasuihku on tasomainen, jolloin tuloilmalaitteen heittopituuseroin on suurempi kuin kattopuhalluksessa. Ilman liikemäärien ollessa suuremmat on seinäpuhalluksessa haasteena suurten jäähdytystehojen tuonti huoneeseen vedottomasti. [13, s. 272.]

Seinäpuhalluksessa käytäväseinältä etuna on, että kanavia ei tarvitse tuoda huonetilaan, jolloin huoneen koko rakenteellista korkoa voidaan käyttää hyödyksi. Ikkunaan päin puhallettaessa, on syytä huomioida, että ikkunan konvektiovirtaukset suuntaavat tuloilmasuihkuun alaspäin ikkunan kohdalla. Kesällä lämmin ikkunapinta saa tuloilmasuihkun kääntymään alas, ja talvella puolestaan patteri saa saman ilmiön aikaan. Tilassa, jossa ei ole patteria tai lattiakonvektoria ikkunan edustalla, voi tuloilmasuihku kiihdyttää talvella kylmien ikkunoiden aiheuttamaa kylmäläskeumaa, jos seinäpuhalluksen heittopituus on liian pitkä. Toisaalta liian lyhyellä heittopituudella valitulla laitteella on riskinä, että tuloilmasuihku putoaa liian aikaisin oleskeluvyöhykkeelle, jolloin ilmavirran rajanopeudet ylittyvät oleskeluvyöhykkeellä. [13, s. 272–273.]

Seinäpuhalluksessa tuloilmalaite tulee sijoittaa riittävän ylös lähelle kattoa, jotta virtaus tarttuu kattopintaan ja hyödyntää Coanda-ilmiötä. Poistoilman päätelaite on optimaalisinta sijoittaa samalle seinälle sisäänpuhalluksen kanssa, jolloin tuloilmavirta huuhtelee koko huoneen ja saa aikaan kiertovirtauksen huonetilassa. [13, s. 272–273]

5 Muuntojoustavuus

Rakennuksen käytönaikaisella muuntojoustavuudella tarkoitetaan rakennuksen muunneltavuutta, joustavuutta ja täydennettävyyttä koko sen elinkaaren aikana. Tarve muuntojoustavuudelle voi johtua vuokralaismuutoksista, toimistosaneerauksesta tai tilan käyttäjän tarpeen muutoksista. Erityisesti toimisto- ja liikerakennuksien suunnittelussa muuntojoustavuus on tärkeä suunnitteluperuste nykypäivän rakentamisessa, sillä vuokralaisten vaihtuvuus tai tilojen muokkaamisen tarve voi tapahtua nopeallakin syklillä. Muuntojoustoa pidetään yhtenä laatutekijänä kestäväen kehityksen mukaisessa rakentamisessa. Tilojen muuntojoustavuuden toteuttaminen lisää hieman investointikustannuksia, mutta sen on todettu alentavan rakennuksen elinkaarikustannuksia ja vähentävän suurten rakennusteknisten korjausten tarvetta myöhemmässä vaiheessa, joista hyötyy kiinteistön omistaja. [14; 15, 17.]

Muunneltavuudella tarkoitetaan, että varaudutaan tilojen väliseinien siirtoon moduulijaon mukaan, jolloin huonekokoja voidaan muuttaa tarpeen mukaan. Talotekniikan osalta tämä huomioidaan siten, että tilalämmitys, -jäähdytys ja ilmanvaihtolaitteet sijoitetaan tilaan moduulileveyden mukaan, jolloin tilan väliseinien siirrot eivät vaikuta ilmaston toimivuuteen. Tällöin huonelaitteet soveltuvat niin toimistohuoneisiin kuin avotoimistoonkin. Lämmityksen osalta laitteet sijoitetaan tilaan aina ikkunan edustoille, jolloin ne soveltuvat aina myös automaattisesti muuttuviin tilaratkaisuihin. Rakennuksen käytönaikainen muunneltavuus parantaa sen elinkaarenaikaista toimivuutta, kun tilat pystyvät palvelemaan sen käyttäjän muuttuvia tarpeita. [2, s. 298.]

Joustavuudella puolestaan tarkoitetaan huoneen käyttötarkoituksen muutokseen varautumista, jolloin ilmanvaihdon tai jäähdytyksen tehontarve muuttuu. Toimitiloissa tämä on tyypillistä, kun halutaan yhdistää kaksi toimistohuonetta yhdeksi neuvotteluhuoneeksi, jolloin henkilömäärä ja lämpökuorma huoneessa kasvavat. Tähän voidaan varautua

mitoittamalla ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmä niin, että ilmavirtoja ja jäähdytystehoa voidaan jälkikäteen kasvattaa ilman suuria teknisiä muutostöitä. Tämä edellyttää, että Ilmanvaihtokoneelle sekä pysty- ja vaakarunkokanaville huomioidaan mitoituksessa kapasiteettivaraus ja huoneen päätelaitteet valitaan laajan säätöalueen mukaan. Jäähdytysrungot tulisi mitoittaa myös riittävän väljiksi, jotta virtaamaa voidaan kasvattaa. Jäähdytysrunkoputkiin voidaan suunnitella lisäksi sulkuventtiilein varustettuja varauksia muutoksia varten. Runkokanavien ja -putkien sijoituksessa tulee huomioida, että ne ovat helposti saavutettavissa ja näkyvillä esim. avattavan alakaton yläpuolella, jolloin huoneen ilmavirran lisäys onnistuu myös tarvittaessa uudella haarakanavalla. Rakennuksen talotekninen joustavuus määritetään aina projektikohtaisesti. Kustannussyistä joustavuuteen ei ole järkevää varautua koko rakennuksen osalta, vaan joustavuus määritetään usein koskemaan jotakin tiettyä osaa tai kerrosta rakennuksessa. Tällöin järjestelmät toimivat energiatehokkaasti ja vältytään järjestelmien ylimitoittamiselta ja suurelta tilantarpeelta. [2, s. 299.]

Täydennettävyydellä tarkoitetaan lähinnä ilmastoinnin tason nostamista jälkikäteen, jolloin huomioidaan esim. tilavarauksia vedenjäähdytyskoneelle, ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterille ja jäähdytysputkien asennuksille käytävälle. Täydennettävyyteen ei yleensä varauduta uusia toimistotaloja suunniteltaessa, sillä ilmastoinnin taso on jo lähtökohtaisesti korkea. [2, s. 300.]

6 Case-tarkastelu

Tässä luvussa esitetään toimistohuoneen erilaisia malliratkaisuita ja niiden kustannuksia. Kaikkia mahdollisia kombinaatioita lämmityksen, jäähdytyksen ja ilmanvaihdon osalta on mahdotonta esittää tässä työssä niiden suuren lukumäärän vuoksi. Malliratkaisut on pyritty esittämään kuitenkin niin, että jokainen tässä työssä käsitelty järjestelmä esitetään malliratkaisuissa, jolloin myös kaikkien järjestelmien kustannuksista ja tehoista saadaan tietoa.

Laitteiden kustannuksia selvitettiin suoraan laitevalmistajilta. Hintoja kysyttiin monilta eri laitevalmistajilta vastaavista tuotteista, joista laskettiin keskimääräinen hinta tarkemman hinta-arvion saamiseksi. Putkien, kanavien, venttiileiden sekä muiden

asennusmateriaalien hinnat selvitettiin Mercus Software Oy:n kehittämällä Broker Estimate-kustannuslaskentaohjelmalla (kuva 6). Ohjelman avulla saatiin myös LVI-työehtosopimuksen mukaiset normituntihinnat laitteiden ja materiaalien asennuksille, jota hyödynnettiin eri järjestelmien asennuskustannusten vertailussa. Kustannuslaskenta on tehty vain LVI:n osalta. Hinnat eivät sisällä sähkö-, automaatio- ja sprinklerikustannuksia, eikä myöskään rakennuspuolen kustannuksia. Kustannuslaskennassa ei ole huomioitu myöskään materiaalihävikiä, urakoitsijoiden projektinjohtokustannuksia eikä katteita.

000039 Laskennassa Oppari		68,71	8 907,05	1 175,66	0,00	0,00	10 082,71											
+	Patterit	1,00	11,70	969,74	201,47	0,00	0,00	1 171,22										
+	Paneelit	1,00	19,14	2 329,13	329,60	0,00	0,00	2 658,73										
+	Iv	1,00	8,67	278,16	149,31	0,00	0,00	427,47										
+	Lattialämmitys	1,00	2,40	325,23	36,18	0,00	0,00	361,41										
+	Ilmastointipakit	1,00	10,39	1 290,63	178,92	0,00	0,00	1 469,55										
+	Wega 2 2,4m	1,00	1	5,48	678,24	94,37	0,00	0,00	772,60									
+	PLPALKTOIMO10W									1,00	69,15	17,22	0,00	0,00	86,37			
+	0305030400W									1,00	540,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
+	P18100328 00W									1,00	0,00	37,20	0,00	0,00	2,16			
+	P18103323 00W									1,00	4,14	7,58	0,00	0,00	11,72			
+	PL1581108 01W									2,00	10,00	6,20	0,00	0,00	16,20			
+	L3713503									4,00	14,50	26,18	0,00	0,00	40,67			
+	PL3221804W									2,00	16,82	0,00	0,00	0,00	0,00			
+	L1551273									4,00	11,23	0,00	0,00	0,00	11,23			
+	Parazol 1200x600	1,00	4,91	612,40	84,55	0,00	0,00	696,95										
+	Lattakonvektori	1,00	3,76	2 122,92	62,35	0,00	0,00	2 185,27										
+	PKN	1,00	3,42	1 190,50	58,89	0,00	0,00	1 249,40										
+	Box Vari 20-L-1 (sisältää kondenssipumpun)	1,00	3,42	1 190,50	58,89	0,00	0,00	1 249,40										
+	Box Vari	1,00								1,00	1 000,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
+	PL1581108 01W									4,00	14,50	26,18	0,00	0,00	40,67			
+	L1551273									2,00	6,20	0,00	0,00	0,00	0,00			
+	PLPAKOPUCU015W									1,00	97,65	15,50	0,00	0,00	113,15			
+	PLPALKTOIMO15W									1,00	72,16	17,22	0,00	0,00	89,38			
+	Käytävän rungot	1,00	9,23	400,72	158,94	0,00	0,00	559,66										
+	Iv	1,00	3,31	98,52	57,00	0,00	0,00	155,52										
+	P18103327 00W									6,00	63,88	28,93	0,00	0,00	92,81			
+	P18100684 00W									2,00	8,37	15,15	0,00	0,00	23,52			
+	PL8332080315 01W									3,00	26,27	12,92	0,00	0,00	39,19			
+	Jäähdytys	1,00	2,74	200,58	47,18	0,00	0,00	247,76										
+	L1551009									2,00	35,58	0,00	0,00	0,00	0,00			
+	PL1581126 01W									6,00	146,52	44,43	0,00	0,00	190,95			
+	PL3126041 2 01W									6,00	7,08	2,75	0,00	0,00	9,83			
+	PL3221816W									4,00	11,40	0,00	0,00	0,00	11,40			
+	Lämmitys	1,00	3,18	101,62	54,76	0,00	0,00	156,38										

Kuva 6. Näkymä Broker-kustannuslaskentaohjelmasta.

Runkoputkien ja -kanavien kustannukset on esitetty taulukossa 1, jolloin huoneiden vertailuhinnoissa tulevat selkeämmin esiin niiden eroavaisuudet. Taulukosta ilmenee case-esimerkissä käytetyt putkimateriaalit, -koot sekä eristetyypit. Runkoputkien ja kanavien koot on valittu toimistoissa käytettyjen tyypillisen kokoluokan mukaan. Kustannukset on laskettu yhden moduulin leveydeltä (3 m), jolloin kokonaiskustannukset saadaan kertomalla kustannukset moduulimäärällä. Runkoputkien ja -kanavien kustannuksissa on laskettu tarvittavat materiaalit, eristeet sekä normituntihinnan mukaiset asennushinnat.

Kustannuslaskenta mallihuoneista tehdään runkolinjoista eteenpäin huoneeseen, mukaan lukien liitos runkoihin, jolloin eri järjestelmien kustannusvertailua voidaan helposti

tehdä. Mallihuoneita monistamalla moduulimäärän mukaan saadaan helposti järjestelmien kokonaiskustannukset.

Taulukko 1. Käytävän runkoputkien ja -kanavien kustannukset yhden moduulin leveydeltä.

Runkoputket- ja kanavat	Materiaalit, koko ja eriste	Materiaalit ja asennus (€, alv. 0 %)
Lämmitys (meno ja paluu)	Fe 25 -ac23	160
Jäähdytys (meno ja paluu)	Cu 35- Ef-13	250
IV (tulo ja poisto)	Kierresaumakanava 315 (tulo LE20)	160
Hinta yhteensä		570

Case-tarkastelu tehdään tavanomaiselle toimistotilalle, jossa on työhuoneita ja neuvotteluhuoneita. Kohteeseen valitaan ilma-vesijärjestelmä, jolloin ilmamäärä mitoitetaan ilmanvaihdon tarpeen mukaan ja jäähdytystehontarve erikseen. Työhuoneiden koko on 12 m² (3 m x 4 m). Ilmanvaihdon mitoituksena käytetään arvoa 1,5 l/s/m², lämmityksen tehontarve on 360 W ja jäähdytyksen tehontarve vedestä on 400 W. Tehontarpeet on valittu referenssikohteiden mitoituksien perusteella. Taulukossa 2 on lueteltu laitteiden mitoituksessa käytetyt eri järjestelmien lämpötilat.

Taulukko 2. Järjestelmien mitoituslämpötilat

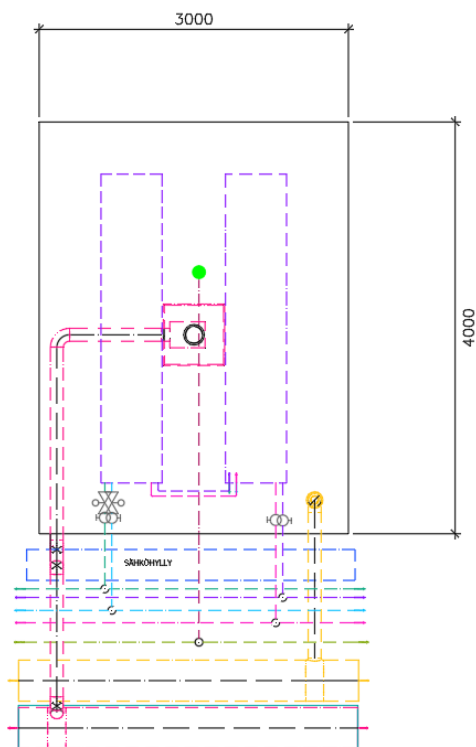
Mitoitustiedot	Lämmitys (meno/paluu) C	Jäähdytys (meno/paluu) C
Säteilypaneelit	50/40	15/18
Ilmastointipalkit	50/40	15/18
Puhallinkonvektorit	-	10/15
Lattialämmitys/viilennys	35/30	18/21
Lattiakonvektori	45/30	-
Patterit	45/30	-

6.1 Malliratkaisu 1

Malliratkaisussa 1 tilan lämmitys ja jäähdytys on toteutettu kahdella sarjaankytketyllä 2-piirisellä säteilypaneelilla ja ilmanvaihto kattoasenteisena (kuva 7). Sarjaankytketyillä paneeleilla saadaan huoneen keskivyöhykkeelle vapaata asennuspintaa, johon voidaan sijoittaa valaisimet, sprinklerit ym. tekniikkaa. Paneelien sarjaankytkentä toteutetaan happidiffuusiotiiviillä kytkentäletkulla. Järjestelmä voidaan toteuttaa vapaa-asenteisena tai alakattoon asennettuna.

Säteilypaneelien mitoitukseen käytettiin tässä työssä Lindabin lindQST-mitoitusohjelmaa. Jäähdytystehoa kahdella sarjaankytketyllä sileäpintaisilla vapaa-asenteisilla paneeleilla saadaan mitoitusohjelmalla 370 W (liite 1), kun vesipiirin lämpötilaero on 3 astetta. Rinnankytketyillä paneeleilla on mahdollista saada enemmän tehoa, kun vesipiirin lämpötilaero voidaan mitoittaa pienemmäksi. Lämmitystehoa sileäpintaisilla paneeleilla saadaan 1 060 W, kun vesipiirin lämpötilaero on 10 astetta.

Perforoiduilla malleilla on mahdollista kasvattaa etenkin paneelin jäähdytystehoa, kun ilma pääsee virtaamaan paneelin reikien läpi, jolloin konvektion osuus lämmönsiirrossa kasvaa. Mitoitusohjelmalla saadaan kahdelle sarjaan kytketyille osittain rei'itetyille paneelille jäähdytystehoksi 445 W (liite 2). Lämmitystehoa perforoiduilla paneeleilla saadaan 1 230 W. Perforoiduilla malleilla voidaan parantaa myös huoneen akustisia ominaisuuksia, kun ääni pääsee kulkeutumaan paneelin reikien läpi. Suunniteltaessa paneeleita alakatolliseen tilaan, on syytä huomioida, että alakattoon integrointi vähentää paneeleista saatavaa tehoa merkittävästi, jopa 25...30 %.



Kuva 7. 2 kpl 2-piiristä sarjaankytkettyä 595 x 2990 kokoluokan paneelia, tuloilma kattohajottajalla ja liitäntälaatikolla. Poistoilma KSO-venttiilillä.

Taulukossa 3 on kuvattu kahden sarjaan kytketyn säteilypaneelin sekä ilmanvaihdon kustannukset laitteiden ja asennuksien osalta. Säteilypaneelien materiaalikustannukset sisältävät lämmityksen sekä jäähdytyksen kytkentäputket ja venttiilit. Ilmanvaihdon materiaalikustannuksissa ovat mukana kytkentäkanavat, lähtökaulukset, käyrät, päätelaitteet sekä tuloilman paineentasauslaatikko.

Taulukko 3. Lämmitys ja jäähdytys säteilypaneeleilla, 2 kpl 595 x 2990 paneeleita, tuloilma kattohajottajalla ja tasauslaatikolla, poistoilma KSO-venttiilillä.

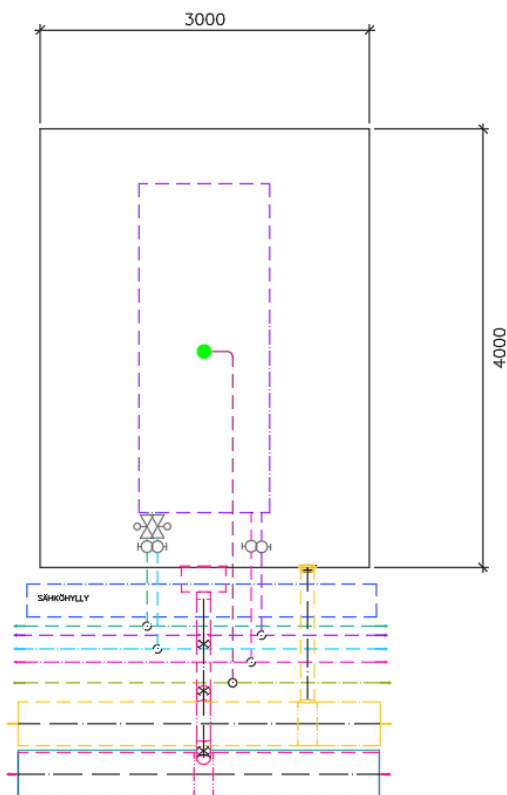
Säteilypaneeli-järjestelmä		Materiaalit (€, alv. 0 %)	Asennus (€, alv. 0 %)
Yhteinen lämmitys- ja jäähdytyspaneeli	2 kpl 595 x 2990 mm 2-piirisiä paneeleita	850	155
Ilmanvaihto katosta	Kanavat, osat, kattohajottaja, tasauslaatikko, poistoilmaventtiili	150	80
Hinta yhteensä		1235	

6.2 Malliratkaisu 2

Malliratkaisussa 2 tilalämmitys ja -jäähdytys on toteutettu yhdellä 1190 x 2990 kokoluokan paneelilla ja ilmanvaihto seinäasenteisena (kuva 8). 1190 x 2990 kokoluokan paneeli vie runsaasti keskivyöhykkeen pinta-alaa katossa, jolloin muulle tekniikalle jää vähemmän vapaata asennuspinta-alaa. Tällöin sprinkleri voidaan integroida paneeliin ja valaisimet on mahdollista ripustaa paneelin alle tai vaihtoehtoisesti myös integroida paneeliin.

Jäähdytystehoa yhdestä 1190 x 2990 sileäpintaisesta paneelista saadaan mitoitusohjelmalla 350 W ja lämmitystehoa 730 W, jolloin jäähdytyksen teho ei ole riittävä. Perforoiduilla (osittain rei'itetty) mallilla saadaan puolestaan jäähdytystehoa 420 W ja lämmitystehoa 840 W, jolloin tehot riittävät.

Seinäpuhalluksella on mahdollista kasvattaa paneelien konvektiolämmönsiirron osuutta, kun ilma puhalletaan pituussuunnassa paneelin pintaa pitkin huoneeseen. Seinäpuhalluksessa ilmavirran liikkeet on kuitenkin syytä varmistaa aina tapauskohtaisesti virtaussimuloinnilla, jotta ilman nopeudet pysyvät sallituissa rajoissa oleskeluvyöhykkeellä.



Kuva 8. 2-piirinen 1190 x 2990 säteilypaneeli, tulo- ja poistoilma otsapinnasta.

Taulukossa 4 esitetään yhden sileäpintaisen lämmitys- sekä jäähdytyspaneelin kustannukset kytkentäputkineen ja venttiileineen. Ilmanvaihdon kustannuksissa on laskettu kytkentäkanavat, seinämällin tuloilman tasauslaatikko ja suutinsäleikkö sekä poistoilma-venttiili otsapintaan asennettuna.

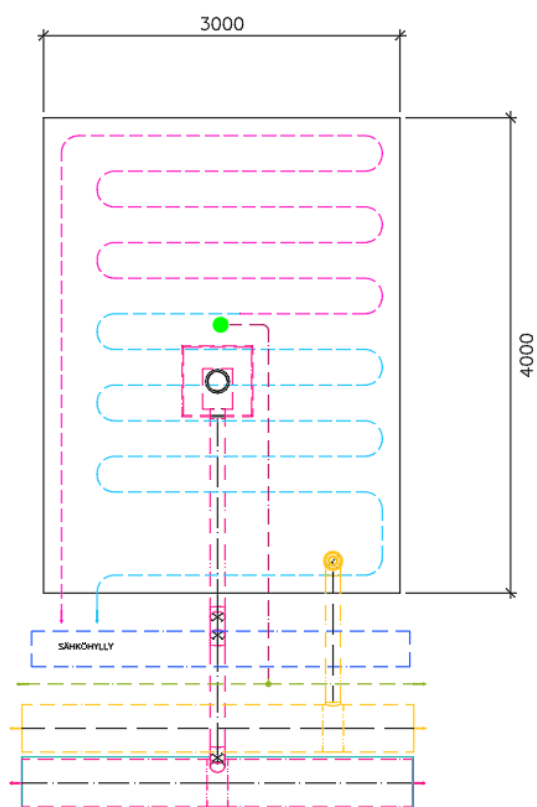
Taulukko 4. Lämmitys ja jäähdytys säteilypaneeleilla, 1 kpl 1195 x 2990.

Säteilypaneeli-järjestelmä		Materiaalit (€, alv. 0 %)	Asennus (€, alv. 0 %)
Yhteinen lämmitys- ja jäähdytyspaneeli	1 kpl 1195 x 2990 mm 2-piirinen paneeli	830	110
Ilmanvaihto otsapinnasta	tasauslaatikko ja suutinsäleikkö. Poisto otsapinnasta.	125	70
Hinta yhteensä		1135	

6.3 Malliratkaisu 3

Malliratkaisussa 3 on esitetty lattialämmitys- ja viilennysjärjestelmä, ilmanvaihto on toteutettu kattoasenteisesti (kuva 9). Järjestelmässä runkoputkia ei tarvitse tuoda toimiston käytävän katossa, vaan pystyrunkoputket tuodaan kerroskohtaisille jakotukeille, josta kytkentäjohdot jaetaan huonekohtaisesti lattian sisässä. Suuremmissa kohteissa jakotukkeja on useita kerroksissa. Lattialämmityksellä on mahdollista saada noin 50 W/m^2 tehoa, kun verkoston lämpötila on 35/30 (meno ja paluu) astetta. Viilennystehoa järjestelmällä saadaan noin 30 W/m^2 , mikä ei riitä kattamaan tarvittavaa jäähdytystehoa.

Lämmitys ja -viilennyspiirit toteutetaan tilakohtaisesti ja lämpötilan säätö tapahtuu huonetermostaatin avulla; tällöin järjestelmällä ei voida huomioida muuntojoustavuutta. Välineinien siirto sekoittaisi huonekohtaisen säädön ja huoneen tehontarpeen muutoksiin ei voida varautua. Lattialämmityksen ja -viilennyksen huonona puolena pidetään myös sen hidasta reagointiaikaa huoneen lämpötilanmuutokseen, sillä putkikilkkien ympärillä oleva massa varaa lämpöä.



Kuva 9. Lattialämmitys ja -viilennysjärjestelmä, tuloilma kattohajottajalla ja liitäntälaatikolla, poistoilma kso-venttiilillä.

Järjestelmän kustannuksissa (taulukko 5) on huomioitu yhden piirin lämmitys-/viilennysputket, termostaatti, sulut sekä toimilaite. Jakotukkikaapin ja 6-lähtöisen jakotukin osalta kustannuksissa huomioitiin kuudesosa. Matkaa huoneesta jakotukille arvioitiin 10 m, jolloin piirille tuli mittaa yhteensä 60 m. Ilmanvaihdon kustannuksissa on huomioitu kytkentäkanavat, tuloilman tasauslaatikko, kattohajottaja sekä poistoilmaventtiili. Rakennuspuolen kustannuksia, kuten rauditusverkoston, eristeiden ja pintavalun kustannuksia ei lasketa tässä työssä.

Taulukko 5. Lattialämmitys ja -viilennysjärjestelmä

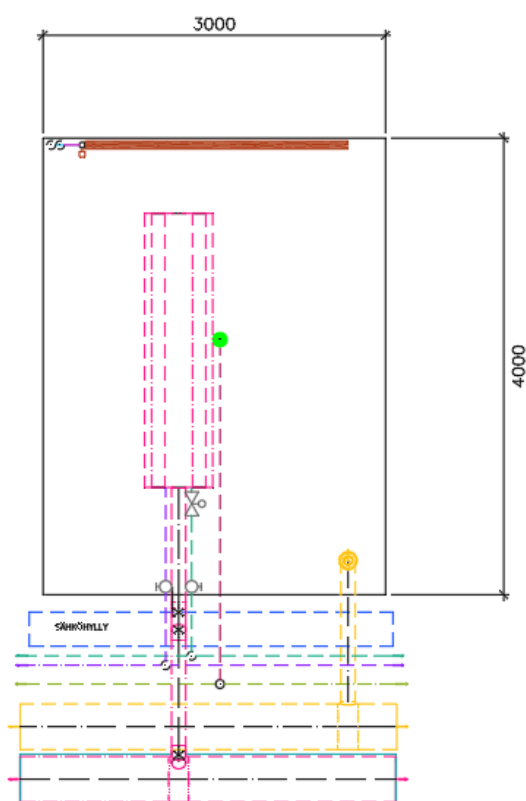
Lattialämmitys ja -viilennys		Materiaalit (€, alv. 0 %)	Asennus (€, alv. 0 %)
Lattialämmitys ja -viilennys	Putket, jakotukki, termostaatti, toimilaite ja kytkennät jakotukkiin	330	40

Ilmanvaihto katosta	Kanavat, osat, kattohajottaja, ta-sauslaatikko, poistoilmaventtiili	150	80
Hinta yhteensä		600	

6.4 Malliratkaisu 4

Malliratkaisussa 4 tilan jäähdytys ja tuloilma on toteutettu ilmastointipalkilla ja lämmitys levyradiaattorilla (kuva 10). Ilmastointipalkin mitoituksessa käytettiin FläktGroupin Select-valintaohjelmaa (liite 5). Malliratkaisuun valittiin 2,4 m:in pituinen palkki, jonka ilmamäärän mitoituksena käytettiin arvoa 18 l/s. Jäähdytysteho palkista saadaan 760 W vedestä, kun vesipiirin lämpötilat ovat 15/18 °C (meno/paluu). Ilmastointipalkilla on lisäksi jäähdytystehokapasiteettia, sillä Ilmamäärää kasvattaessa palkista saatava jäähdytysteho kasvaa myös merkittävästi. Tällöin palkki soveltuu myös neuvotteluhuonekäyttöön. Aktiivipalkin etuna on, että sen avulla pystytään tuomaan tuloilma sekä suuria jäähdytystehoja huoneeseen samanaikaisesti. Palkkien heittokuviota voidaan helposti säätää, mikä mahdollistaa sen sijoituksen huoneeseen myös epäkeskeisesti, jolloin huoneen keskelle jää tilaa sprinklerille, valaisimille ja muulle tekniikalle.

Malliratkaisussa käytettiin sileäpintaista kokoluokan 500–2300–11 radiaattoria, joka valittiin Purmon mitoitustaulukosta. Patterista saadaan lämmitysteho 455 W. Yleisesti pattereiden hyvinä puolina pidetään niiden tehokkuutta, toimintavarmuutta ja edullisuutta. Lisäksi patterit ovat huoltovapaita. Patterin monista eduista huolimatta ne ovat kuitenkin melko näkyviä elementtejä ikkunan edustalla, minkä takia patterit mielletäänkin joskus hieman vanhanaikaiseksi ratkaisuksi uusissa rakennuksissa.



Kuva 10. Lämmitys radiaattorilla, jäähdytys ja tuloilma ilmastointipalkilla

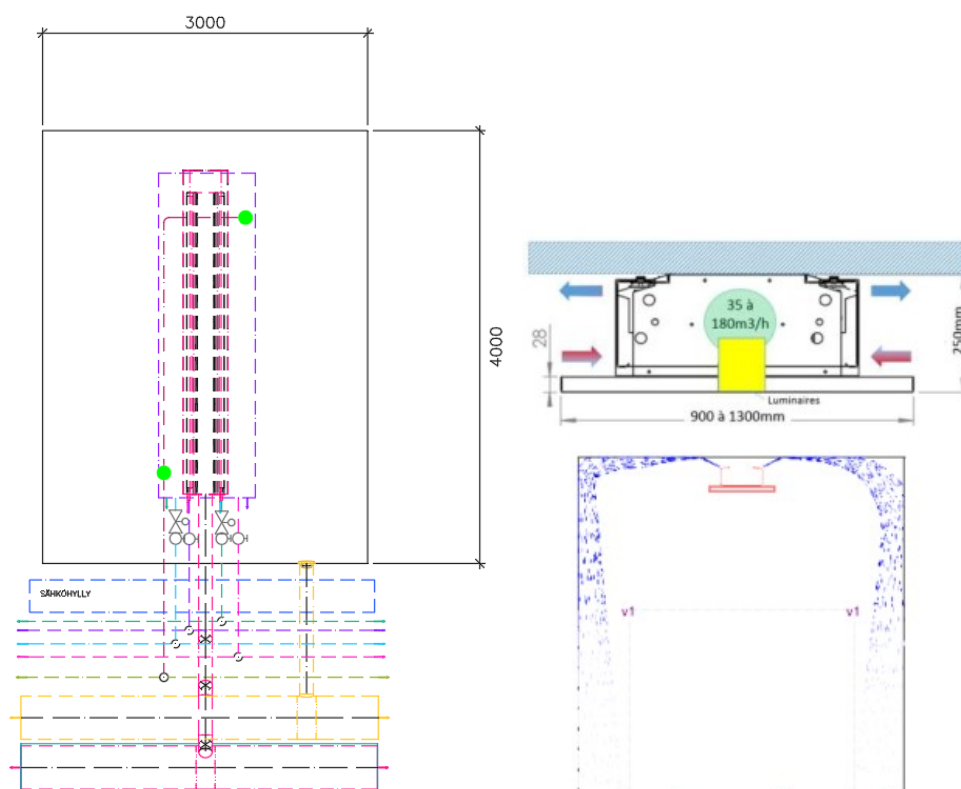
Taulukossa 6 on esitetty malliratkaisun 4 kustannukset. Jäähdytyksen materiaalikustannuksissa on huomioitu ilmastointipalkki, jäähdytyksen kytkentäputket, venttiilit sekä tuloilmakanava ja muut kanavaosat. Lämmityksen kustannuksissa on laskettu radiaattorin hinta, kytkentäputket metrin matkalta pystyrunkoputkista, termostaatti sekä muut asennusmateriaalit.

Taulukko 6. Lämmitys radiaattorilla ja jäähdytys ilmastointipalkilla

Radiaattori ja ilmastointipalkki		Materiaalit (€, alv. 0 %)	Asennus (€, alv. 0 %)
Lämmitys radiaattorilla	500–2300–11 radiaattori +termostaatti ja kytkentäputket	250	55
Jäähdytys ilmastointipalkilla	2,4 m palkki, kanavat, putket ja venttiilit	680	95
Poistoilma	Poistokanava, osat ja venttiili	20	20
Hinta yhteensä			1120

6.5 Malliratkaisu 5

Malliratkaisussa 5 tilan lämmitys on toteutettu säteilypaneelilla. Jäähdytys sekä tuloilma on toteutettu ilmastointipalkilla. Malliratkaisussa säteilypaneeli ja ilmastointipalkki on sijoitettu vapaa-asenteisena päällekkäin, jolloin palkki jää paneelin taakse näkymättömiin. Periaateratkaisu on esitetty kuvassa 11. Yhdistelmässä lämmitys tapahtuu yhdellä 1-piirisellä kokoluokan 900 x 3000 säteilypaneelilla, josta saadaan lämmitystehoa noin 460 W (liite 6). Vapaa-asenteisen ilmastointipalkin mitoituseseen käytettiin Haltonin HIT Design -ohjelmaa (liite 7). Jäähdytys tapahtuu vapaa-asenteisella ilmastointipalkilla, jossa lämpimän huoneilman induktio ja tuloilman puhallus tapahtuu palkin sivuilta. Jäähdytystehoa palkista saadaan 730 W vedestä. Kombinaatiossa yhdistyy säteilypaneelin miellyttävä ja vedoton säteilylämpö sekä ilmastointipalkin suuri jäähdytystehokapasiteetti.



Kuva 11. Yhdistetty ilmastointipalkki (jäähdytys ja tuloilma) ja säteilypaneeli (lämmitys). Poistoilma otsapinnasta.

Taulukossa 7 on esitetty yhdistelmäratkaisun kustannukset. Jäähdytyksen kustannuksissa on laskettu 3 m:in pituisen vapaa-asenteisen palkin hinta, jäähdytyksen kytkentäputket, venttiilit sekä tuloilman asennusmateriaalit. Lämmityksen kustannuksissa on puolestaan lämmityspaneelin hinta sekä lämmityksen kytkentäputket ja venttiilit.

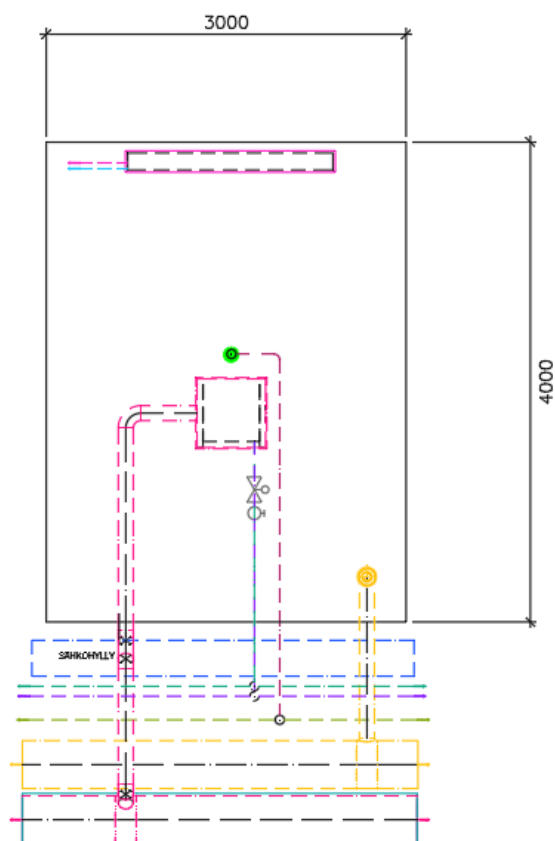
Taulukko 7. 1-piirisen säteilypaneelin ja ilmastointipalkin kustannukset.

Säteilypaneeli ja ilmastointipalkki		Materiaalit (€, alv. 0 %)	Asennus (€, alv. 0 %)
Jäähdytys ilmastointipalkilla	3 m palkki, venttiilit, kytkentäputket ja tuloilmakanava sekä muut osat	720	100
Lämmitys säteilypaneelilla	1 kpl 900 x 3000 mm säteilypaneeli, kytkentäputket ja venttiilit	450	70
Poistoilma	seinästä	20	20
Hinta yhteensä		1380	

6.6 Malliratkaisu 6

Malliratkaisussa 6 tilan lämmitys on toteutettu lattiakonvektorilla (kuva 12), jonka kytkentäputket on viety lattian sisässä jakotukille. Tilan jäähdytys sekä tuloilma on toteutettu ilmastointimoduulilla, jonka mitoituksessa käytettiin Swegonin ProSelect-mitoitustyökälua. Tupla-moduulista (1200 x 600) saadaan jäähdytystehoa vedestä 555 W (liite 8). Yhdestä moduulista (600 x 600) ei saatu riittävästi jäähdytystehoa mitoituksessa käytetyillä arvoilla.

Lattiakonvektorin mitoitukseen käytettiin Purmon mitoitus-Exceliä, jonka avulla valittiin kokoluokan 1750 x 180 x 90 lattiakonvektori. Laitteesta saadaan lämmitystehoa 440 W keskimmaisella puhallinopeudella ja 560 W täydellä puhallinopeudella, laitevalmistaja suosittelee mitoituksessa käytettävän keskimmäistä nopeutta. Laitteessa on yksi 11 W:in moottori sekä 40 W:in muuntaja. Tätä suuremman kokoluokan lattiakonvektoreissa on useampi moottori, jolloin laitteesta saatava teho kasvaa, mutta myös investointikustannukset ja sähkötehon tarve ovat suuremmat.



Kuva 12. Lämmitys lattiakonvektorilla, jäähdytys ja tuloilma ilmastointimoduulilla, poistoilma ksoventtiilillä.

Taulukossa 8 on esitetty malliratkaisun 6 kustannukset. Jäähdytyksen kustannuksiin on laskettu mukaan ilmastointimoduuli, jäähdytyksen kytkentäputket, venttiilit sekä tuloilman kytkentäkanava ja sen osat.

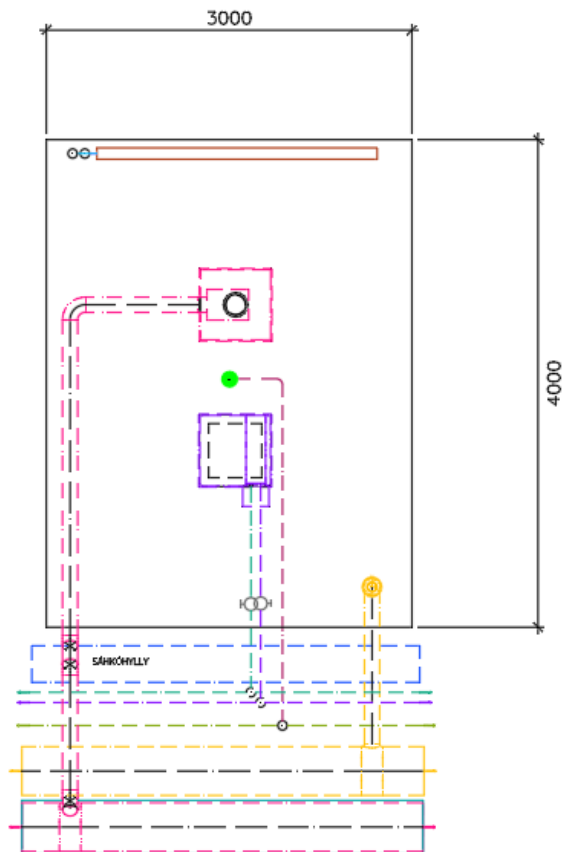
Lämmityksen kustannuksissa on laskettu kokoluokan 180 x 1750 x 90 lattiakonvektori, joka sisältää yhden moottorin, muuntajan, toimilaitteventtiilin, huonetermostaatin sekä lattiakonvektorin päälle tulevan rullattavan duralumiiniritilän. Lämmityksen kytkentätavaksi valittiin PEX-putkien vieminen lattian sisässä jakotukilta lattiakonvektorille. Matkaa jakotukilta huoneen edustalle arviottiin 10 m, jolloin meno- ja paluuputkelle tulee yhteensä matkaa 28 m. Jakotukkikaapin ja 6-lähtöisen jakotukin kustannuksista huomioitiin kuudesosa. Lattiakonvektorin asennuskustannuksissa tulee lisähintaa myös rakennuspuolelle, esim. pintavalusta ja lattiasyvennyksien tekemisestä. Näitä kustannuksia ei ole laskettu tässä työssä.

Taulukko 8. Lämmitys lattiakonvektorilla ja jäähdytys ilmastointimoduulilla.

Lattiakonvektori ja ilmastointipalkki		Materiaalit (€, alv. 0 %)	Asennus (€, alv. 0 %)
Lämmitys lattiakonvektorilla	Lattiakonvektori 180x1750x90 + ritilä, muuntaja ja putkikytkennät	2110	65
Jäähdytys ilmastointimoduulilla	1200x600 moduuli +kanava, putket ja kytkennät	620	90
Poistoilma	Katosta	20	20
Hinta yhteensä		2925	

6.7 Malliratkaisu 7

Malliratkaisussa 7 lämmitys on toteutettu radiaattorilla ja jäähdytys kasettimallisella puhallinkonvektorilla, ilmanvaihto on puolestaan toteutettu kattoasenteisena (kuva 13). Puhallinkonvektoreiden mitoitukseen käytettiin Chillerin Option-valintaohjelmaa, ohjelmalla saatiin pienimmällekin kasettimallin puhallinkonvektorille tehoksi 530 W, puhaltimen pyörimisnopeuden ollessa pienimmässä asetusarvossa (liite 9). Puhallinkonvektoreiden etuna on, että niistä on mahdollista saada suuria jäähdytystehoja ja puhaltimen kierroksia voidaan nostaa, jolloin jäähdytystehokapasiteettiä on vielä takana. Toimistokäytössä tarvittavan jäähdytystehon saaminen puhallinkonvektoreilla ei muodostu ongelmaksi. Radiaattorin lämmitystehot on esitetty malliratkaisussa 4.



Kuva 13. Lämmitys radiaattorilla, jäähdytys puhallinkonvektorilla, tuloilma kattohajottajalla ja liitäntälaatikolla, poistoilma KSO-venttiilillä.

Malliratkaisun 7 kokonaiskustannukset on esitetty taulukossa 9. Lämmityksen kustannuksissa on laskettu radiaattorin hinta, kytkentäputket metrin matkalta pystyrunkoputkista, termostaatti sekä muut asennusmateriaalit. Jäähdytyksen materiaalikustannuksissa on huomioitu kasettimallinen puhallinkonvektori, jäähdytyksen kytkentäputket ja venttiilit. Ilmanvaihdon kustannuksissa on laskettu tuloilman tasauslaatikko, kattohajottaja, poistoilmaventtiili sekä kanavat ja kanavaosat.

Taulukko 9. Lämmitys radiaattorilla, jäähdytys puhallinkonvektorilla ja kattoasenteinen ilmanvaihto.

Radiaattori ja puhallinkonvektori		Materiaalit (€, alv. 0 %)	Asennus (€, alv. 0 %)
Lämmitys Radiaattorilla	500–2300–11 radiaattori +termostaatti ja kytkentäputket	250	55

Jäähdytys puhallinkonvektorilla	600x600 PKN, kondenssivesipumppulla, FV, LSV ja putket	1200	60
Ilmanvaihto	Tuloilma kattohajottajalla ja tasauslaatikolla. Poistoilma katosta.	150	80
Hinta yhteensä		1810	

6.8 Järjestelmävertailu

Taulukossa 10 on esitetty yhteenvetona eri järjestelmien vahvuuksia ja heikkouksia, joita tässä työssä on tuotu esiin sekä teoriaosuudessa että malliratkaisuiden yhteydessä. Taulukossa on kuvattu järjestelmien tärkeimpiä ominaisuuksia, joilla on olennainen merkitys järjestelmää valittaessa. Järjestelmävalintaan vaikuttaa tilaajan tavoitteet, tarpeet ja se mitä valintakriteereitä halutaan painottaa. Yhteenvetotaulukkoa voidaan käyttää hyödyksi, kun tehdään kohteeseen järjestelmävaihtoehtoverailua ja ehdotetaan tilaajalle sopivaa järjestelmää.

Taulukko 10. Yhteenvetotaulukko eri järjestelmien hyvistä ja huonoista puolista.

<p>Säteilypaneeli</p> <ul style="list-style-type: none"> + Alhaiset ilman nopeudet + Tasaiset lämpöolot koko tilassa + Säteilylämpö lämmittää huoneen pintoja ja lattiaa + 2-piirisillä paneeleilla voidaan lämmittää sekä jäähdyttää + Huoltovapaa, ajoittainen imurointi/pintojen pyyhkäisy riittää - Vie paljon kattopinta-alaa - Estääkö kylmän hohkan suurista ikkunapinnoista ja -karmeista. Varmistettava simuloinnilla - Tarvittavan jäähdytystehon saaminen
<p>Ilmastointipalkki/-moduuli</p> <ul style="list-style-type: none"> + Samalla laitteella saadaan tuotua myös tuloilma + Suuri jäähdytysteho + Ilmavirtojen monipuoliset säätö- ja ohjausmahdollisuudet + Erillisellä toimilaitteilla on mahdollista pitää heittokuvio vakiona ilmamäärän muuttuessa + Muuntojoustava - Kierrättää myös osittain huoneilmaa - Ilman liikkeet ovat huoneessa suuremmat, kuin säteilylämmönsiirrossa - Soveltuu heikosti lämmityskäyttöön <p>Puhdistusväli 0,5–2 vuotta</p>
<p>Lattialämmitys ja -viilennys</p> <ul style="list-style-type: none"> + Lämpö nousee tasaisesti alhaalta ylös, lämmittää jalkoja

<ul style="list-style-type: none"> + Huomaamaton + Hiljainen + Huoltovapaa - Lämpötilan säätö hidasta - Viilennysteho alhainen, noin 30 W/m² - Nostaa lattiakorkoa 60–100 mm - Estääkö kylmän virtauksen suurten ikkunoiden edustalla? Varmistettava simuloinnilla - Ei ole muuntojoustava - Lattiaan poraus kiellettävä (vesivahingon riski)
<p>Patterit</p> <ul style="list-style-type: none"> + Ylöspäin suuntautuva ilmavirtaus ehkäisee tehokkaasti kylmävedon ikkunoiden edustoilla + Tehokas + Ei pidä ääntä + Huoltovapaa + Konvektiopattereita saatavilla alle 30 cm korkeita malleja - Melko näkyvä elementti ikkunan edustalla - Pystyrunkoputket näkyvissä - Mielletään joskus vanhanaikaiseksi - Ei sovellu korkeiden lattiasta kattoon ylettyvien ikkunoiden kanssa (estää näkymää ulos ja näkyy ulkoapäin)
<p>Puhallinkonvektorit</p> <ul style="list-style-type: none"> + Suuri jäähdytysteho + Saadaan nopeasti jäähdytettyä tila + Varustettu ilmansuodattimella, jolloin laite puhdistaa myös sisäilmaa - Kierrättää huoneen sisäilmaa - Ilman liikenopeudet suuret, veto - Äänekäs verrattuna muihin järjestelmiin - Puhaltimen sähköteho - Kondenssivedet johdettava viemäriin, jos on kondensoiva järjestelmä - Vaatii säännöllistä huoltoa: suodattimen vaihtoa, säleikön ja kotelon imurointi
<p>Lattiakonvektori</p> <ul style="list-style-type: none"> + Saadaan paljon lämmitystehoa + Ylöspäin suuntautuva ilmavirtaus ehkäisee tehokkaasti kylmävedon ikkunoiden edustoilla + Huomaamaton. Vain ritilä näkyy, joka voidaan valita monista vaihtoehdoista tilaan sopivaksi + On mahdollista käyttää myös jäähdytykseen - Kallis - Kierrättää huoneilmaa - Ei sisällä ilmansuodatinta, nostattaa huonepölyn takasin huoneilmaan - Kerää huonepölyä ja roskaa kotelon sisään - Upotetaan lattiaan. Haasteellinen asennus lisää kustannuksia myös RAK-puolella - Puhaltimien ja muuntajan sähköteho - Puhaltimien ja moottorien kuntotarkastukset aika ajoin - Äänekäs verrattuna muihin järjestelmiin - Vaatii säännöllistä huoltoa: imurointi ja pölyjen pyyhintä Putket tuodaan laitteelle lattian sisässä jakotukilta tai kytketään pystyrunkoputkiin (samoin kuin patterit)

Taulukossa 11 on esitetty koottuna eri järjestelmien kustannukset, jotka tuotiin esiin malliratkaisujen yhteydessä. Taulukossa on esitetty malliratkaisujen mukaisesti järjestelmien kustannukset LVI-materiaalien ja asennuksien osalta, mukaan lukien kytkentäputket ja -kanavat.

Taulukko 11. Eri järjestelmien investointikustannukset koottuna.

Lämmitysjärjestelmä		Materiaalit (€, alv. 0 %)	Asennus (€, alv. 0 %)	Hinta Yhteensä (€, alv. 0 %)
Radiaattori	500–2300–11 radiaattori +termostaatti ja kytkentäputket	250	55	305
Säteilypaneeli	1 kpl 900x3000 mm säteilypaneeli, kytkentäputket ja venttiilit	500	70	570
Lattialämmitys	Putket, jakotukki, termostaatti, toimilaite ja kytkennät jakotukkiin	330	40	370
Lattiakonvektori	Lattiakonvektori 180x1750x90 + ritilä, muuntaja ja putkikytkennät	2110	65	2175
Jäähdytysjärjestelmä				
Säteilypaneeli	1 kpl 900x3000 mm säteilypaneeli, kytkentäputket ja venttiilit	500	70	570
Puhallinkonvektori	600x600 PKN, kondenssiveipumpulla, venttiilit ja putket	1200	60	1260
Ilmastointipalkki	2,4 m palkki, kanavat, putket ja venttiilit	680	95	775
Ilmastointipalkki	3 m palkki, kanavat, putket ja venttiilit	720	100	820
Ilmastointimoduuli	1200x600 moduuli +kanava, putket ja kytkennät	620	90	710
Yhdistetty lämmitys ja jäähdytysjärjestelmä				
Lämmitys- ja jäähdytyspaneeli	2 kpl 595x2990 mm 2-piirisiä paneeleita	850	155	1005
Lämmitys- ja jäähdytyspaneeli	1 kpl 1195 x 2990 mm 2-piirinen paneeli	830	110	940
Ilmanvaihto				
Ilmanvaihto katosta	Tuloilma kattohajottajalla ja taseauslaatikolla. Poistoilma katosta.	150	80	230
Ilmanvaihto otsapinnasta	Taseauslaatikko ja suutinsäleikkö. Poisto otsapinnasta.	125	70	195

7 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena on ollut tehdä hankekehitysvaiheen suunnittelua varten toimiston huonelaitteiden vertailua jäähdytyksen, lämmityksen ja ilmanvaihdon osalta sekä luoda malliratkaisuja toimistoon.

Työn teoriaosuudessa kuvattiin eri järjestelmien ominaisuuksia sekä tuotiin esiin niiden vahvuuksia ja heikkouksia. Case-esimerkin pohjalta tehtiin malliratkaisuita eri vaihtoehtoista, jossa tutkittiin laitteista saatavaa maksimitehoa eri laitevalmistajien mitoitusohjelmien avulla. Malliratkaisuista tehtiin lisäksi kustannuslaskelmat laitteiden, materiaalien ja asennuksien osalta. Lopputuloksena syntyneitä kustannuslaskelmia voidaan hyödyntää tulevissa projekteissa, sillä malliratkaisuja voidaan monistaa moduulimäärän mukaan. Näin ollen on mahdollista tehdä tarkempia hinta-arvioita eri järjestelmistä jo projektin hankekehitysvaiheessa. Tuotevertailun yhteydessä lisäksi havaittiin jonkin verran hajontaa laitevalmistajien hinnoittelussa. Etenkin suurissa kohteissa hintaerot voivat muodostaa merkittäviäkin eroja projektin kokonaiskustannuksiin. Havaintoa voidaan hyödyntää budjetoinnissa tulevaisuudessa.

Eri järjestelmien ominaisuuksia on käsitelty työssä laajasti taulukoimalla niiden vahvuudet ja heikkoudet (taulukko 10). Yhteenvetoon kerättiin tietoa monista eri kirjallisuuden lähteistä sekä laitevalmistajilta saaduista materiaaleista. Yhteenvetoa voidaan hyödyntää tulevissa kohteissa järjestelmävaihtoehtovertailua tehtäessä.

Kustannusten rooli on vaihtoehtovertailussa merkittävä. Investointikustannuksia on pyritty tuomaan kattavasti esiin mallihuoneiden avulla. Työstä saatua kustannustietoa on helppo hyödyntää tulevissa projekteissa järjestelmävaihtoehtoja ja niiden hinta-arvioita valmisteltaessa.

6. lukua vastaavia malliratkaisuja tullaan edelleen tekemään neuvotteluhuoneista, joissa huomioitavana on lisäilmantarve. Malliratkaisut ja kustannustiedot keskitetään yhteen tiedostoon, jonka avulla asiakkaalle voidaan esittää nopeasti vaihtoehtoratkaisuita

riittävän tarkkoilla hinta-arvioilla jo hankesuunnitteluvaiheessa. Malliratkaisuista voidaan helposti muodostaa haluttuja kombinaatioita tuleviin projekteihin, joille on helposti laskettavissa myös kustannukset. Malliratkaisut nopeuttavat hankekehitysvaiheen suunnittelua, säästävät suunnittelun kustannuksia ja sitä myötä myös parantavat Granlundin palvelua.

Malliratkaisut ovat laajennettavissa myös sähkö-, automaatio- ja sprinklersuunnittelun osalta, jolloin konsepti mahdollistaisi valmiiden taloteknisten kokonaisratkaisuiden tarjoamisen valmiine kustannusarvioineen. Lisäksi järjestelmävertailuun olisi hyvä tuoda mukaan myös järjestelmien elinkaariarvioinnit, joissa selvitetään järjestelmien ympäristövaikutukset koko niiden elinkaaren aikana.

Lähteet

- 1 Sandberg, Esa. 2014. Sisäilmasto ja Ilmastointijärjestelmät. Helsinki. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 2 Seppänen, Olli. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Helsinki. Suomen LVI-liitto.
- 3 Parasol integroitu ilmastointimoduuli. Verkkoaineisto. Swegon AB. <https://www.swegon.com/siteassets/_product-documents/waterborne-climate-systems/comfort-modules/_fi/parasolc.pdf>. Luettu 30.9.2021.
- 4 Vedoton ja joustava jäähdytyspalkkijärjestelmä. Webinaari. FläktGroup. 29.4.2020. <<https://www.flaktgroup.com/fi/academy-at-home/webinaari-jaahdytyspalkit/>>. Katsottu 15.7.2021.
- 5 Kattolämmityksen opas. 2014. Verkkoaineisto. Oy Lindab AB. <<https://docplayer.fi/925920-Kattolammityksen-opas.html>> Luettu 13.9.2021.
- 6 ItuGraf tekninen esite. 2020. Verkkoaineisto. Itula Oy. <<https://www.itula.fi/sites/default/files/2020-07/ItuGraf%20tekninen%20esite%202.5.pdf>>. Luettu 15.9.2021.
- 7 Lindab Atrium Plana Lämmitys- ja jäähdytyspaneeli. 2021. Verkkoaineisto. Oy Lindab AB. <https://www.lindab.fi/globalassets/commerce/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/comfort/fin/technical/at-rium_plana.pdf?v=1630121937>. Luettu 16.9.2021.
- 8 Aquilo F2C. Purmo. Verkkoaineisto. <<https://www.purmo.com/fi-fi/tuotteet/lammitys/radiaattorit/konvektorit/puhalttimeila-varustetut-lattiakonvektorit/aquilo-f2c>> Luettu 28.10.2021.
- 9 Asennusohje. 3/2021. Purmo. Verkkoaineisto. <<https://www.purmo.com/public/prod/bcd2c0f2-6156-46c6-99cd-ddcde7354507/10829/648dfd0ed2d70790ebeaad5ae93ba6e5/fi-fi-files-purmo-instrukcja-grzejniki-kanalowe-aquilo-03-2021.pdf>>.Luettu 28.10.2021.
- 10 Seppänen, Olli; Seppänen, Matti. 2007. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Helsinki. SIY Sisäilmätieto Oy.
- 11 Lattialämmityksen ja -viilennyksen käsikirja. 2021. Verkkoaineisto. Uponor. <<https://www.uponor.com/fi-fi/search-page?Category=downloadCenter&query=lattial%C3%A4mmityksen%20ja%20viilennyksen%C3%A4sikirja>>. Luettu 26.9.2021.

- 12 Matalarakennejärjestelmä lattialämmitykseen. Talotekniikka info. Verkkoaineisto. <https://talotekniikkainfo.fi/ratkaisut-etusivu/matalarakennejarjestelma-lattialammitykseen>. Luettu 5.9.2021.
- 13 Sandberg, Esa. Ilmastointilaitoksen mitoitus. 2014. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 14 Hakaste, Harri. Muuntojouston uusi tuleminen. verkkoaineisto. Rakennustieto. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK150201.pdf>>. Luettu 15.8.2021
- 15 Häkkinen, Tarja; Ala-Kotila, Paula. Monikäyttöisyys ja muunneltavuus kestävässä rakentamisessa. Verkkojulkaisu. VTT. <<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2019/T363.pdf>>. Luettu 16.8.2021.

Sarjaankytketyt 2-piiriset säteilypaneelit

Atrium Plana - Säteilypaneelit

Projekti: 2x800x3000 sarjassa (sileä)

27-10-2021



Atrium Plana - Säteilypaneelit

Atrium Plana on erittäin tehokas lämmitys- ja jäähdytyspaneeli, jonka tasainen pinta tekee alakattoasennuksesta huomaamattoman. Tämän lisäksi paneeli voidaan asentaa kiinteään katon pintaan tai asentaa riippumaan katosta. Laitteen näkyvä pinta on alumiinia johon kupariputket on suoraan laserhitsattu. Näin lämmönsiirto vesiputkesta säteilevään pintaan on paras mahdollinen. Yli 50 % laitteen tehosta saadaan säteilyn kautta, joka aikaansaa vedottomat olosuhteet huonetilaan.

Laitteesta on saatavana myös perforoituja malleja, jotka mahdollistavat ilman virtaamisen paneelin läpi. Tämä lisää paneelista saatavaa tehoa. Perforointia voidaan hyödyntää myös huoneakustiikkaa parantamaan.

- Tehosta suurin osa säteilyn kautta
- Perforoidut mallit lisäävät tehoa ja parantavat huoneakustiikkaa
- Helppo puhdistaa
- Huomaamaton ulkonäkö
- CE-merkitty EN 14037 mukaisesti

Tilauskoodi

Atrium Plana-HC-60-10-1-3,0-0

Tuotteen pituus	3,0 m
Toiminta	Lämmitys ja jäähdytys
Asennustapa	Vapaa-asenteinen >50 mm katosta
Perforoinnin tyyppi	Ei perforointia
Eristetyyppi	Ei eristettä
Säätöventtiili	2xLinFlow-S 12 (Kv 0,12 - 0,83) enclosed
Toimilaitteet	2xAPR 40405 / A 40405
Sovitusrengas	2xVA64
Joustavat letkut	4xJG10 push - JG15 push (DN10)

S-4.211025 (Finland)
27.10.2021 12:28:04

Varaamme mahdollisuuden tehdä muutoksia ilman erillisiä ilmoituksia



Vaatimukset:			
Tuotelukumäärä sarjassa		2	
		Jäähdytys	Lämmitys
Huonelämpötila	t_r	25	21 °C
Lämpötilakerrostuma huoneessa	t_d	0	0 K
Menoveden lämpötila	t_{wi}	15	50 °C
Vesipiirin lämpötilaero	Δt_{wr}	3,0	10,0 K
Tulokset:			
Huonelämpötilan ja veden keskilämpötilan ero	Δt_{rw}	8,50	24,00 K
Teho nimellisvirtaamalla	P_{nom}	389	1040 W
Vesivirta	q_w	0,0295	0,0253 l/s
Vesivirtakorjattu teho	P_w	372	1064 W
Kokonaisteho	P	372	1064 W
Painehäviö vesipiirissä	Δp_{wP}	11,8	7,7 kPa
Venttiilin painehäviö	Δp_{wV}	17,9	22,1 kPa
Letkun painehäviö	Δp_{wH}	0,3	0,2 kPa
Vesipiirin kokonaispainehäviö	Δp_{wTOT}	30,0	30,0 kPa
Venttiilin asetusasento / Kv		2,5 / 0,25	1,8 / 0,19 Pos./Kv
Vesiteho / aktiivinen metri	$P_{w/Lact}$	64	183 W/m

Sarjaankytketyt 2-piiriset perforoidut säteilypaneelit

Atrium Plana - Säteilypaneelit

Projekti: 2x800x3000 sarjassa (U8 rei'itys)

27-10-2021



Atrium Plana - Säteilypaneelit

Atrium Plana on erittäin tehokas lämmitys- ja jäähdytyspaneeli, jonka tasainen pinta tekee alakattoasennuksesta huomaamattoman. Tämän lisäksi paneeli voidaan asentaa kiinteän katon pintaan tai asentaa riippumaan katosta. Laitteen näkyvä pinta on alumiinia johon kupariputket on suoraan laserhitsattu. Näin lämmönsiirto vesiputkesta säteilevään pintaan on paras mahdollinen. Yli 50 % laitteen tehosta saadaan säteilyä kautta, joka aikaansaa vedottomat olosuhteet huonetilaan.

Laitteesta on saatavana myös perforoituja malleja, jotka mahdollistavat ilman virtaamisen paneelin läpi. Tämä lisää paneelista saatavaa tehoa. Perforointia voidaan hyödyntää myös huoneakustiikkaa parantamaan.

- Tehosta suurin osa säteilyä kautta
- Perforoidut mallit lisäävät tehoa ja parantavat huoneakustiikkaa
- Helppo puhdistaa
- Huomaamaton ulkonäkö
- CE-merkitty EN 14037 mukaisesti

Tilaukoodi

Atrium Plana-HC-60-10-1-3,0-3	
Tuotteen pituus	3,0 m
Toiminta	Lämmitys ja jäähdytys
Asennustapa	Vapaa-asenteinen >50 mm katosta
Perforoinnin tyyppi	Osittainen U8 rei'itys
Eristetyyppi	Ei eristettä
Säätöventtiili	2xLinFlow-S 12 (Kv 0,12 - 0,83) enclosed
Toimilaitteet	2xAPR 40405 / A 40405
Sovitusrenkas	2xVA64
Joustavat letkut	4xJG10 push - JG15 push (DN10)

Vaatimukset:			
Tuotelukumäärä sarjassa		2	
		Jäähdytys	Lämmitys
Huonelämpötila	t_r	25	21 °C
Lämpötilakerrostuma huoneessa	t_d	0	0 K
Menoveden lämpötila	t_{wi}	15	50 °C
Vesipiirin lämpötilaero	Δt_w	3,0	10,0 K
Tulokset:			
Huonelämpötilan ja veden keskilämpötilan ero	Δt_{rw}	8,50	24,00 K
Teho nimellisvirtaamalla	P_{nom}	436	1196 W
Vesivirta	q_w	0,0353	0,0293 l/s
Vesivirtakorjattu teho	P_w	445	1230 W
Kokonaisteho	P	445	1230 W
Painehäviö vesipiirissä	Δp_{wP}	16,2	9,9 kPa
Venttiilin painehäviö	Δp_{wV}	13,3	19,7 kPa
Letkun painehäviö	Δp_{wH}	0,4	0,3 kPa
Vesipiirin kokonaispainehäviö	Δp_{wTOT}	30,0	30,0 kPa
Venttiilin asetusarvo / Kv		3,9 / 0,35	2,3 / 0,24 Pos./Kv
Vesiteho / aktiivinen metri	P_{wLact}	77	212 W/m

5.4.211025 (Finland)
27.10.2021 12.21.11

Varamme mahdollisuuden tehdä muutoksia ilman erillistä ilmoitusta



Säteilypaneeli 1200x3000 mitoitus tiedot

Atrium Plana - Säteilypaneelit

Projekti: 1200x3000 (sileä)

27-10-2021



Atrium Plana - Säteilypaneelit

Atrium Plana on erittäin tehokas lämmitys- ja jäähdytyspaneeli, jonka tasainen pinta tekee alakattoasennuksesta huomaamattoman. Tämän lisäksi paneeli voidaan asentaa kiinteän katon pintaan tai asentaa riippumaan katosta. Laitteen näkyvä pinta on alumiinia johon kupariputket on suoraan laserhitsattu. Näin lämmönsiirto vesiputkesta säteilevään pintaan on paras mahdollinen. Yli 50 % laitteen tehosta saadaan säteilyä kautta, joka aikaansaa vedottomat olosuhteet huonetilaan.

Laitteesta on saatavana myös perforoituja malleja, jotka mahdollistavat ilman virtaamisen paneelin läpi. Tämä lisää paneelista saatavaa tehoa. Perforointia voidaan hyödyntää myös huoneakustiikkaa parantamaan.

- Tehosta suurin osa säteilyä kautta
- Perforoidut mallit lisäävät tehoa ja parantavat huoneakustiikkaa
- Helppo puhdistaa
- Huomaamaton ulkonäkö
- CE-merkitty EN 14037 mukaisesti

Tilauskoodi

Atrium Plana-HC-120-10-1-3,0-0

Tuotteen pituus	3,0 m
Toiminta	Lämmitys ja jäähdytys
Asennustapa	Vapaa-asenteinen >50 mm katosta
Perforoinnin tyyppi	Ei perforointia
Eristetyyppi	Ei eristettä
Säätöventtiili	2xLinFlow-A 12 (Kv 0,08 - 0,92) enclosed
Toimilaitteet	2xAPR 40405 / A 40405
Sovitusrenkas	2xVA64
Joustavat letkut	Ei

Vaatimukset:

Tuotelukumäärä sarjassa		1	
		Jäähdytys	Lämmitys
Huonelämpötila	t_r	25	21 °C
Lämpötilakerrostuma huoneessa	t_g	0	0 K
Menoveden lämpötila	t_{wi}	15	50 °C
Vesipiirin lämpötilaero	Δt_{wv}	3,0	10,0 K

Tulokset:

Huonelämpötilan ja veden keskilämpötilan ero	Δt_{rw}	8,50	24,00 K
Teho nimellisvirtaamalla	P_{nom}	353	719 W
Vesivirta	q_w	0,0280	0,0173 l/s
Vesivirtakorjattu teho	P_w	353	726 W
Kokonaisteho	P	353	726 W
Painehäviö vesipiirissä	Δp_wP	10,8	2,0 kPa
Venttiilin painehäviö	Δp_wV	19,2	28,0 kPa
Vesipiirin kokonaispainehäviö	Δp_{wTOT}	30,0	30,0 kPa
Venttiilin asetusarvo / Kv		2,5 / 0,23	1,4 / 0,12 Pos./Kv
Vesiteho / aktiivinen metri	P_{wLact}	122	251 W/m

Säteilypaneeli 1200x3000 (perforoitu) mitoitus tiedot

Atrium Plana - Säteilypaneelit

Projekti: 1200x3000 (U8 rei'itys)

27-10-2021



Atrium Plana - Säteilypaneelit

Atrium Plana on erittäin tehokas lämmitys- ja jäähdytyspaneeli, jonka tasainen pinta tekee alakattoasennuksesta huomaamattoman. Tämän lisäksi paneeli voidaan asentaa kiinteän katon pintaan tai asentaa riippumaan katosta. Laitteen näkyvä pinta on alumiinia johon kupariputket on suoraan laserhitsattu. Näin lämmönsiirto vesiputkesta säteilevään pintaan on paras mahdollinen. Yli 50 % laitteen tehosta saadaan säteilyn kautta, joka aikaansaa vedottomat olosuhteet huoneilmaan.

Laitteesta on saatavana myös perforoituja malleja, jotka mahdollistavat ilman virtaamisen paneelin läpi. Tämä lisää paneelista saatavaa tehoa. Perforointia voidaan hyödyntää myös huoneakustiikkaa parantamaan.

- Tehosta suurin osa säteilyn kautta
- Perforoidut mallit lisäävät tehoa ja parantavat huoneakustiikkaa
- Helppo puhdistaa
- Huomaamaton ulkonäkö
- CE-merkitty EN 14037 mukaisesti

Tilauuskoodi

Atrium Plana-HC-120-10-1-3,0-3

Tuotteen pituus	3,0 m
Toiminta	Lämmitys ja jäähdytys
Asennustapa	Vapaa-asenteinen >50 mm katosta
Perforoinnin tyyppi	Osittainen U8 rei'itys
Eristetyyppi	Ei eristettä
Säätöventtiili	2xLinFlow-A 12 (Kv 0,08 - 0,92) enclosed
Toimilaitteet	2xAPR 40405 / A 40405
Sovitusrenkas	2xVA64
Joustavat letkut	Ei

Vaatimukset:

Tuotelukumäärä sarjassa		1	
		Jäähdytys	Lämmitys
Huonelämpötila	t_r	25	21 °C
Lämpötilakerrostuma huoneessa	t_q	0	0 K
Menoveden lämpötila	t_{wi}	15	50 °C
Vesipiirin lämpötilaero	Δt_w	3,0	10,0 K

Tulokset:

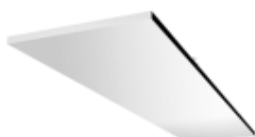
Huonelämpötilan ja veden keskilämpötilan ero	Δt_{rw}	8,50	24,00 K
Teho nimellisvirtaamalla	P_{nom}	416	827 W
Vesivirta	q_w	0,0336	0,0200 l/s
Vesivirtakorjattu teho	P_w	423	839 W
Kokonaisteho	P	423	839 W
Painehäviö vesipiirissä	Δp_{wP}	14,9	2,5 kPa
Venttiilin painehäviö	Δp_{wV}	15,1	27,5 kPa
Vesipiirin kokonaispainehäviö	Δp_{wTOT}	30,0	30,0 kPa
Venttiilin asetusarvo / Kv		3,5 / 0,31	1,8 / 0,14 Pos./Kv
Vesiteho / aktiivinen metri	P_{wLact}	146	289 W/m

Lämmityspaneeli 900x3000 mitoitus tiedot

Atrium Plana - Säteilypaneelit

Projekti: Lämmityspaneeli 900x3000

14-11-2021



Atrium Plana - Säteilypaneelit

Atrium Plana on erittäin tehokas lämmitys- ja jäähdytyspaneeli, jonka tasainen pinta tekee alakattoasennuksesta huomaamattoman. Tämän lisäksi paneeli voidaan asentaa kiinteän katon pintaan tai asentaa riippumaan katosta. Laitteen näkyvä pinta on alumiinia johon kupariputket on suoraan laserhitsattu. Näin lämmönsiirto vesiputkesta säteilevään pintaan on paras mahdollinen. Yli 50 % laitteen tehosta saadaan säteilyn kautta, joka aikaansaa vedottomat olosuhteet huonetilaan.

Laitteesta on saatavana myös perforoituja malleja, jotka mahdollistavat ilman virtaamisen paneelin läpi. Tämä lisää paneelista saatavaa tehoa. Perforointia voidaan hyödyntää myös huoneakustiikkaa parantamaan.

- Tehosta suurin osa säteilyn kautta
- Perforoidut mallit lisäävät tehoa ja parantavat huoneakustiikkaa
- Helppo puhdistaa
- Huomaamaton ulkonäkö
- CE-merkitty EN 14037 mukaisesti

Tilauskoodi

Atrium Plana-H-60-10-1-3,0-0

Tuotteen pituus	3,0 m
Toiminta	Lämmitys
Asennustapa	Vapaa-asenteinen >50 mm katosta
Perforoinnin tyyppi	Ei perforointia
Eristetyyppi	Lämpöeriste / Acutec
Säätöventtiili	LinFlow-A 12 (Kv 0,08 - 0,92) enclosed
Toimilaitteet	APR 40405 / A 40405
Sovitusrengas	VA64
Joustavat letkut	Ei

Vaatimukset:

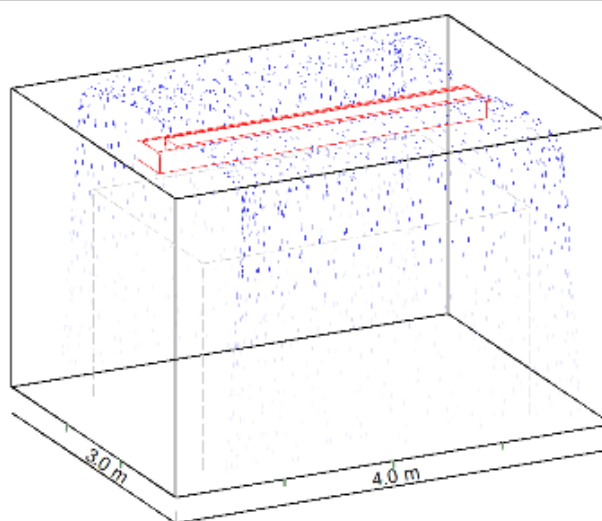
Tuotelukumäärä sarjassa	1
Lämmitys	
Huonelämpötila	t_r 20 °C
Lämpötilakerrostuma huoneessa	t_d 1 K
Menoveden lämpötila	t_{wi} 50 °C
Vesipiirin lämpötilaero	Δt_{wr} 8,1 K

Tulokset:

Huonelämpötilan ja veden keskilämpötilan ero	Δt_{rw}	24,96 K
Teho nimellisvirtaamalla	P_{nom}	457 W
Vesivirta	q_w	0,0135 l/s
Vesivirtakorjattu teho	P_w	458 W
Kokonaisteho	P	458 W
Painehäviö vesipiirissä	Δp_{wP}	1,3 kPa
Venttiilin painehäviö	Δp_{wV}	28,7 kPa
Vesipiirin kokonaispainehäviö	Δp_{wTOT}	30,0 kPa
Venttiilin asetusarvo / Kv		1,1 / 0,09 Pos./Kv
Vesiteho / aktiivinen metri	P_{wLact}	158 W/m

Vapaa-asenteisen ilmastointipalkin mitoitus tiedot

Cooling		REE/A-3000-2700+HAQ(2.0)		2020.08
Room:		Supply air flow rate	18 l/s / 17 l/s	
Room size:	4.0 x 3.0 x 2.6 m	total/nozzle(s):	1.5 l/(sm ²)	
Occupied zone:	h=1.8 m / dw=0.5 m	Supply air temperature:	18.0 °C	
Room air:	25.0 °C / 50 %	Static chamber pressure:	75 Pa	
Heat gain:	-	Total pressure drop:	76 Pa	
Installation height:	2.50 m	Unit sound pressure level:	22 dB(A) 10m ² sab	
Inlet water temperature:	15.0 °C	Total sound pressure level:	22 dB(A)	
Outlet water temperature:	18.0 °C	Primary air capacity:	153 W	
Water flow rate:	0.058 kg/s	Total cooling capacity:	884 W	
Coil capacity:	731 W		327 W/m, 74 W/m ²	
	271 W/m	Dew point temperature:	13.8 °C	
Water pressure drop:	3.5 kPa	Velocity control:	left=3, right=3	
		Flow damper opening:	-	
		L _d :	0.8 m	
Velocity point				
Nozzle jet				
HAQ diffuser jet				
Nozzle jet, isothermal				
dt (nozzle jet-room air)				
Heat sources and their location may influence the velocity and direction of the jet				
v _{lim} = 0.20 m/s				



Ilmastointimoduulin mitoitustiedot

Image	Rendered Picture	Wireframe sketch
Sound Diagram	<u>Calculation results</u>	Flow pattern
Primary air flow, q _l	18.0	l/s
Degrees on the k-factor setting	40	°
Nozzle pressure, P _i	68.3	Pa
K-factor air, k _{pl}	2.18	
Sound Pressure Level, L _{p(A)} *	23	dB
Total pressure drop, DPI	70.0	Pa
	Cooling	
Capacity, air	151	W
Capacity, water	555	W
Total capacity	706	W
Room temperature	25.0	°C
Supply air temperature	18.0	°C
Water temperature in	15.0	°C
Calculate with	dT	
Water temperature out	18.0	°C
Water flow, Q _v	0.044	l/s
Pressure drop water, DP _v	7.8	kPa
K-factor water, k _p	0.0158	
* incl 4 dB room attenuation		

Puhallinkonvektorin mitoitustiedot

Valinta: BOX Vari-20-L-1-CV2-C15-AC10-QC100-KP-P0-R0-T7-EX0

Suoritusarvot	Piste 1	Piste 2	Piste 3	
Ilmamäärä	0,063	0,076	0,089	m ³ /s
Jäähdytys				
Teho	0,53	0,58	0,63	kW
Tuntuva teho	0,53	0,58	0,63	kW
Patterille tuleva ilma		24,0 / 50		°C/%
Neste virtaama (vesi)		0,028		l/s
Nesteen lämpötila tuleva		10,0		°C
Nesteen lämpötila lähtevä	14,5	15,0	15,4	°C
Nestepuolen painehäviö (lämmönsiirrin)		5,3		kPa
Säätöventtiilin painehäviö		0,2		kPa
Sähkö tiedot (puhallin)				
Liitäntä		230-50-1		V/Hz/Ph
Tehonkäyttö	5,0	6,0	7,3	W
Maksimiteho		37,0		W
Maksimivirta		0,33		A
Mittatiedot				
Paino		25,5		kg
Pituus x leveys x korkeus		573 x 573 x 300		mm
Ääni				
Tehotaso $L_{W(A)}$	27,0	32,0	36,0	dB(A)
Painetaso 10 m ² Sabine $L_{p(A)}$	23,0	28,0	32,0	dB(A)
Painetaso 100 m ³ tila ¹ $L_{p(A)}$	18,0	23,0	27,0	dB(A)
Lisävarusteet				
CV2 Jäähdytyksen 2-tiesäätöventtiili kvs 2,5 5 W 0,02 A				
AC10 0 - 10 V toimilaitteella				
KP Kondenssipumppu 1.0 m 11 W 0,09 A				
P0 Ei kytkentäkaapelia				
R0 Ei raitisilmaliitäntää				
EX0 Ei ulkopuolista suojakuorta				
T7 Säädin HLS-44				
Tietomalli				
Magicloud: BOX VariPro - single - 2 pipe				