



# **LINDAB SOLO - ILMASTOINTIPALKKIRATKAISU**

Soveltuvuus matalaenergiatoimistoihin  
Suomessa

Marko Kulmanen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2013  
Talotekniikan koulutusoh-  
jelma  
LVI-tekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma  
LVI-tekniikka

KULMANEN, MARKO:

Lindab Solo -ilmastointipalkkiratkaisu  
Soveltuvuus matalaenergiatoimistoihin Suomessa

Opinnäytetyö 64 sivua  
Toukokuu 2013

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Lindab Solo -ilmastointipalkkiratkaisun soveltuvuutta toimistoon matalaenergiarakennuksessa Suomessa. Solo-ilmastointipalkilla jäähdytetään ja lämmitetään rakennuksen sisätiloja ja tuodaan tiloihin tarvittava ilmamäärä. Erikoista järjestelmässä on se, että palkin jäähdytys- ja lämmitysvaikutuksen saa aikaan samassa putkistossa kiertävä matalalämpöinen vesi. Suurimmat haasteet järjestelmän soveltuvuudelle asettivat oletetusti jäähdytyksen ja lämmityksen mitoitusolot ja -lämpötilat.

Ennen tarkastelua selvitettiin matalaenergiatoimiston tyypilliset rakennustekniset ominaisuudet. Näiden pohjalta luotiin toimistomallit, joihin laskettiin jäähdytys- ja lämmitystehon tarpeet. Tehontarve laskettiin kaikissa tilanteissa jäähdytys- ja lämmitysteknisesti haasteellisimpien olosuhteiden mukaan. Solo-järjestelmän laskentatyökaluja käyttäen laskettiin tapauskohtaisesti tiloihin vaikuttava jäähdytys- ja lämmitysteho ja tarkasteltiin niiden riittävyyttä. Sisäilmastoon vaikuttavia tekijät, kuten tuloilmavirtaus ja ilman liikenopeus olivat myös mukana ilmastointipalkkien soveltuvuuden tarkastelussa.

Tarkastelun laskelmien mukaan matalaenergiatoimiston lämmitystehon tarve Etelä-Suomen avokonttorissa on noin  $27\text{W}/\text{m}^2$  ja toimistohuoneessa noin  $32\text{W}/\text{m}^2$ . Pohjois-Suomessa lämmitystehon tarve on suurempi. Esimerkiksi avokonttorissa lämmitystehoa tarvitaan noin  $34\text{W}/\text{m}^2$ . Jäähdytystehon tarve Etelä-Suomen avokonttoreissa ja toimistohuoneissa on noin  $54\text{W}/\text{m}^2$ . Neuvotteluhuoneissa jäähdytystehon tarve vaihtelee paljon. Pienimmillään se on noin  $76\text{W}/\text{m}^2$  ja suurimmillaan  $118\text{W}/\text{m}^2$ . Ilmastointipalkin jäähdytys- ja lämmitystehot vaihtelivat veden tilavuusvirran, tuloilmavirtauksen sekä palkin lämmönsiirtopinta-alan muutoksissa.

Solo-ilmastointipalkin toimintaa tarkasteltiin teoreettisissa ääriolosuhteissa. Tarkastelujen pohjalta tehtiin havaintoja siitä miten ratkaisu soveltuu Suomeen. Matalaenergiarakentamisessa pyritään suosimaan yksinkertaistettujen matalalämpöjärjestelmien, kuten Solo-järjestelmän käyttöä. Hallittaessa kokonaisvaltaisesti sisäilmastoa Solo-ilmastointipalkkiratkaisulla saatetaan tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa ja lämmitystilanteessa joutua tekemään kompromisseja, mutta muuten järjestelmä soveltuu varsin hyvin suomalaiseen matalaenergiatoimistoon.

---

Asiasanat: lindab solo, matalalämpöinen vesi, matalaenergiatoimisto

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Building Services Engineering  
HVAC Services

**KULMANEN, MARKO:**  
Lindab Solo -chilled beam solution  
Suitability in low-energy offices in Finland

Bachelor's thesis 64 pages  
May 2013

---

The aim of this Bachelor's thesis was to examine the suitability of the Lindab Solo-chilled beam solution in a low-energy office building in Finland. The Solo system is used to cool and heat buildings as well as to bring in the required amount of air. The special feature of the system is that the low-temperature water circulating in one continuous piping produces the cooling and heating effect. The design situations and design temperatures brought up the biggest challenges for the compatibility of the system.

The typical structural specifications of the low-energy office building were researched prior to the examination. Based on these specifications, the office models were created, for which the cooling and heating demands were calculated. In all occasions, the power demands were calculated based on the most challenging cooling and heating technical conditions. The cooling and heating powers of the chilled beam were calculated case specifically using the calculation tools of the Solo system. The adequacies of the results were examined. The suitability of the chilled beam was examined also by other factors that affect the indoor climate, such as the supply airflow and air speed.

According to the calculations in the examination, the heating power of a low-energy office building in southern Finland is approximately 27W/m<sup>2</sup> in an open-plan office and approximately 32W/m<sup>2</sup> in a single office room. In northern Finland, the heating power demand is greater. For example, the heating power is approximately 34W/m<sup>2</sup> in an open-plan office. In southern Finland, the cooling power needed in both types of offices is approximately 54W/m<sup>2</sup>. The cooling power demand varies considerably in conference rooms. At the lowest it is approximately 76W/m<sup>2</sup>, and at the highest, it is approximately 118W/m<sup>2</sup>. The cooling and heating power varied due to the changes in the volume of the water flow, the supply airflow and area of the heat transfer surface.

The functions of the Solo chilled beam have been examined in theoretical extreme conditions. Observations about the suitability of the system in Finland have been made based on the examinations. Low-energy construction aims to favour the use of simple low-temperature systems such as the Solo-system. Managing the overall indoor climate with the Solo chilled beam solution, compromises might be needed for demand controlled ventilation and heating situation. Otherwise the system is very well suited to the low-energy office building in Finland.

---

Key words: lindab solo, low-temperature water, low-energy office

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
1.1	Työn tavoite ja eteneminen.....	8
1.2	Tutkimusmenetelmät .....	9
2	LÄHTÖTIETOA.....	10
2.1	Lämmön siirtyminen ilmastointipalkissa.....	10
2.2	Rakennuksen sisäilmasto .....	11
2.2.1	Sisäilmastoluokitus .....	12
2.3	Kattojäähdytys .....	14
2.3.1	Ilmastointipalkkijäähdytys .....	14
2.4	Kattolämmitys.....	16
2.4.1	Ilmastointipalkkilämmitys .....	17
2.5	Ilmastointipalkin yhdistetty lämmitys ja jäähdytys .....	17
3	KÄYTTÖKOHTEEN JA JÄRJESTELMÄN KUVAUS.....	19
3.1	Energiätehokas rakentaminen .....	19
3.1.1	Matalaenergiarakentaminen .....	19
3.1.2	Toimistotilat matalaenergiarakennuksessa.....	21
3.2	Solo-ilmastointipalkkijärjestelmän toiminta.....	24
3.2.1	Teho ja ohjaus .....	26
3.2.2	Solo-ilmastointipalkki.....	27
4	TARKASTELU JÄRJESTELMÄN SOVELTUVUUDESTA KOHTEESEEN.....	30
4.1	Matalaenergiatoimistotilojen sisäolosuhteet ja niiden hallinta.....	30
4.1.1	Oleskeluvyöhyke.....	31
4.1.2	Operatiivinen lämpötila.....	32
4.1.3	Lämmitys ja jäähdytys .....	34
4.1.4	Ilmanvaihto .....	35
4.2	Toimistomalli ja mitoitusohje.....	36
4.2.1	Tyypillinen toimistorakennus .....	36
4.2.2	Jäähdytys- ja lämmitystehoon vaikuttavat tekijät .....	38
4.2.3	Toimistomallin ominaisuudet.....	41
4.2.4	Toimistomallin jäähdytystehon tarpeen arviointi.....	42
4.2.5	Toimistomallin lämmitystehon tarpeen arviointi.....	44
4.3	Solo-palkin tehon laskenta ja kuvaajat .....	45
4.4	Solo-järjestelmällä jäähdytys .....	47
4.4.1	Jäähdytystehot.....	49
4.4.2	Päätelmä jäähdytykseen soveltuvuudesta .....	50
4.5	Solo-järjestelmällä lämmitys .....	55

4.5.1 Palkin lämmitystehot.....	57
4.5.2 Päätelmä lämmityksen toimivuudesta.....	58
4.6 Lisätietoa.....	60
4.6.1 Lämmityskausi .....	60
4.6.2 Äänikriteerit .....	60
5 POHDINTA.....	61
LÄHTEET.....	63

## ERITYISSANASTO

Alakattorakenne	ylä- tai välikaton alapuolelle sisätilaan asennettava verhoilu
Coanda-ilmiö	virtauksen pyrkimys kääntyä kohti sitä lähellä olevaa pintaa
E-luku	rakennuksen kokonaisenergian käyttöä määrittelevä luku
Heittovirtaus	päätelaitteen tuloilmasuuttimien ohjaaman ilmavirran pituus, leveys ja nopeus
Induktiovirta	yhden kaasuvirran suihkutessa toisen ohi, se sieppaa toisen mukaansa ja kaasun yhteistilavuus kasvaa
Kaksiputkijärjestelmä	lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä samassa putkistossa
Kondenssivesi	ilman kohdatessa tarpeeksi viileän pinnan tiivistyy ilman vesisisällöstä kondenssivettä
Konvektio	lämmön siirtoa kaasussa tai nesteessä
Lämmönluovutin	lämmitysjärjestelmän osa huoneessa, joka luovuttaa lämpöä
Lämmönsiirtopinta	lämmittävän tai jäähdyttävän kappaleen alue, jossa lämpö siirtyy
Lämpöpumppu	yleisnimitys kompressorikäyttöisestä kylmäainepiiristä, jonka lauhdutinosa hyödynnetään lämmityksessä
Matalalämpöjärjestelmä	lämmitysjärjestelmässä keskiarvoa alhaisemmat lämpötilat
Neliputkijärjestelmä	lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän meno- ja paluu putket
Päätelaite	tuloilman välittäjä, joka sijoitetaan huoneeseen
Termostaattiventtiili	lämpötilanasetuksen mukaan toimiva virtauksen säätäjä
Toimitila	toimistot, koulut, liikerakennukset, seurakuntakeskukset ym.
U-arvo	rakenteille ominainen lämpövirran siirtymiskerroin
Ulkovaippa	rakennuksen sisätiloja ympäröivät ulkoilmaa vastaan olevat rakenteet
Vapaajäähdytys	ilman kompressorikäyttöä saatava jäähdytysenergia
Vedenkäsittely-yksikkö	vesi lämmitetään tai jäähdytetään haluttuun lämpötilaan

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihetta etsiessäni pidin työn aiheelle tärkeinä seikkoina energiatehokkuutta, uudenlaisuutta, käytännöllisyyttä sekä kiinnostavuutta markkinoinnillisesti. Näistä syistä päädyin tekemään työn yhteistyöyrittäjä Lindab Oy Ab:n Solo-ilmastointipalkkiratkaisusta. Markkinoilla on monenlaisia kattoon asennettavia lämmittimiä ja jäähdyttimiä, sekä niiden yhdistelmiä. Solo-palkissa yhdistetään jäähdytys ja lämmitys. Se kuitenkin eroaa hieman muista, sillä sen toiminta perustuu ennennäkemättömän alhaisiin lämpötiloihin. Ratkaisu on kohdistettu uusiin matalaenergiarakennuksiin ja ensisijaisesti niissä palveleviin toimistotiloihin.

Ratkaisun kaupallinen nimi tulee todennäköisesti olemaan Solo-jäähdytyspalkki. Mahdollisten epäselvyyksien välttämiseksi työssä käytetään nimitystä Solo-ilmastointipalkki. Ilmastointipalkkeihin johdetaan kaksiputkiverkostosta matalalämpöinen vakiovirtaava vesi, jonka on tarkoitus sekä jäähdyttää että lämmittää huoneita. Vedden pitäminen toimintalämpötilassaan voidaan toteuttaa nykyajan matalalämpöjärjestelmillä. Solo-ilmastointipalkkiratkaisulla on tavoitteena luoda energiatehokkaasti yhdellä järjestelmällä matalaenergiatoimistoihin vähintään Sisäilmastoluokitus 2008 S2-luokan tasoinen sisäilmasto. Tavoitteen saavuttaakseen, on sen pystyttävä vastaamaan matalaenergiatoimistojen lämmitys- ja jäähdytystehontarpeisiin koko maassa sekä samanaikaisesti toteutettava hyvätasoinen sisäilmasto.

## 1.1 Työn tavoite ja eteneminen

Työn tavoitteena on tutkia ja pohtia ratkaisun soveltuvuutta Suomen matalaenergiatoimistoon. Pääkohdat tutkimuksessa ovat, kuinka järjestelmä vastaa jäähdytys- ja lämmitystarpeeseen koko Suomessa. Lähtötiedoissa perehdytään sisäilmasto-käsitteeseen, havainnollistetaan ilmastointipalkkien toimintaa sekä käydään läpi yleisimmät kattojäähdyttäjät ja kattolämmittäjät. Sen jälkeen tutustutaan matalaenergiarakentamiseen ja esitellään Solo-järjestelmän toiminta. Tarkastelussa esitetään tärkeimmät matalaenergiatoimistoon liittyvät osa-alueet ja toimistotilan mallinnus. Näihin viitaten tehdään laskelmat, jotka osoittavat Solo-ilmastointipalkin soveltuvuuden jäähdytys- ja lämmitysti-

lanteseen. Lopuksi kiteytetään esiin nousseita ajatuksia ja pohditaan ratkaisukokonaisuuden soveltuvuutta Suomen matalaenergiatoimistoon.

## **1.2 Tutkimusmenetelmät**

Solo-järjestelmän toiminnalliset arvot saadaan tanskalaisen yliopiston tekemän simuloititutkimuksen tuloksista. Tutkimuksen tarkasteluosiossa käytetään matalaenergiarakentamiseen liittyvää aineistoa ja Sisäilmastoluokitus 2008 asetuksia. Niiden perusteella tehdään järjestelmän soveltuvuustarkastelun kannalta oleellisimmille toimistorakennuksen osille tilamallit. Tilamalleja käytetään laskennallisen tarkastelun pohjana. Suomen rakentamismääräyskokoelmaa ja yhteistyöyrityksen laskentamateriaalia käyttäen on Excel-tilukkolaskentaohjelmalla laskettu tuloksia, jotka esitetään työssä taulukoina. Tarkastelun laskuista oleellisimmat esitetään työssä yhtälöinä.

## 2 LÄHTÖTIETOA

### 2.1 Lämmön siirtyminen ilmastointipalkissa

Ilman ja nesteen välityksellä tapahtuva konvektio sekä lämmönsiirtopinnasta aiheutuva lämpösäteily, ovat ilmastoinnilla lämmittäessä tai jäädyttäessä keskeisimmät lämmön siirtymisen muodot. Olli Seppäsen Rakennuksen lämmitys -kirjassa (2001) esitetään konvektion ja lämpösäteilyn perusteet luotettavasti.

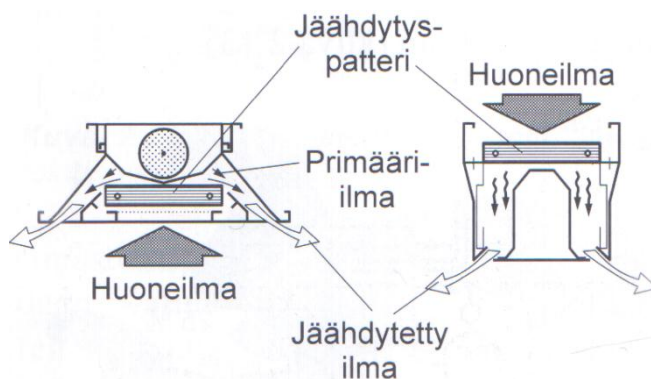
Konvektio on lämmön siirtymistä kuljettumalla kaasun tai nesteen virtauksen mukana. Kun kiinteän pinnan ja sitä koskettavan kaasun tai nesteen välillä on lämpötilaero, siirtyy lämpöä konvektiolla pintaan tai siitä pois. Jos virtaus pinnalla aiheutuu ainoastaan lämpötilaerosta, nimitetään ilmiötä luonnolliseksi konvektioksi. Jos taas virtaus aiheutuu ulkopuolisesta voimasta, nimitetään ilmiötä pakotetuksi konvektioksi (Seppänen 2001, 61). Ulkoisen voiman aikaansaama virtaus aiheuttaa induktiovirtausta, joka tehostaa ilmastointipalkin lämmönsiirtopinnan toimintaa. Induktio on tietynlaista pakotettua konvektiota, joka syntyy nopeasti virtaavan ilmasuihkun ohittaessa paikallaan olevan ilman ja imaistessa tämän mukaansa. Tällöin ilmasuihkun tilavuus kasvaa. Induktioperiaatetta hyödynnetään sekä aktiivisissa ilmastointipalkeissa että induktiolaitteissa. (Järjestelmätekniikka 2007, 17)

Ilmastointipalkissa lämmönsiirtyminen konvektiolla on sitä voimakkaampaa mitä suurempi on lämmönsiirtopinnan ala sekä lämpötilaero pinnan ja huoneilman välillä. Konvektiolämpövirta kasvaa myös virtaavan aineen nopeuden kasvaessa. Ilmastointipalkit soveltuvat hyvin tiloihin, joiden lämpökuormat ovat suuret ja joissa ei ole tarvetta suurille ilmavirroille. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi toimistohuoneet.

Lämpösäteilyllä tarkoitetaan sähkömagneettista säteilyä, jota jokainen kappale lähettää pelkästään lämpötilansa perusteella ympäristön tilasta riippumatta. Lämpösäteily ei tarvitse väliainetta. (Seppänen 2001, 66.) Lämpötilaeron kasvaessa lämmittävän pinnan ja huoneen pintojen välillä, lämmönsiirtymisen käyttövoima kasvaa säteilyssä huomattavasti nopeammin kuin konvektiossa. Lämpösäteilyn voimakkuus määräytyy pintojen koosta, sijainnista, lämpötilaerosta sekä pintojen ominaisuuksista. Lämpösäteilyyn perustuvissa kattolämmityksissä ja kattojäädytyksissä voidaan puhua selkeämmin sätei-

lyn aiheuttamasta lämmönsiirtymisestä. Ilmastointipalkkien lämpösäteilyn merkitys voidaan matalan lämpötilan vuoksi jättää vähälle huomiolle.

Ilmastointipalkit jaetaan yleisesti ominaisuuksiensa perusteella aktiivi- ja passiivipalkkeihin. Ilmastointipalkeissa kiertää vedenkäsittely-yksikössä tai muualla tuotettu vesi. Ilmastointipalkeja voidaan käyttää jäähdytykseen ja lämmitykseen. Passiivipalkit ovat ilmanvaihdosta erillään ja sijoitettuna vapaasti huoneeseen. Passiivipalkeissa lämmönsiirto tapahtuu luonnollisen konvektion avulla ja jonkin verran säteilyn vaikutuksesta. Aktiivipalkeissa lämmönsiirtymisteho on passiivipalkeja suurempi, koska niiden läpi johdetaan huoneeseen tuloilmaa, joka tehostaa konvektiota. Aktiivipalkissa konvektio on suurimmaksi osaksi pakotettua, eli ilman virtaus aiheutuu puhaltimen ja pumpun aikaansaamana. Aktiivipalkissa lämmönsiirto tapahtuu pääosin pakotetun konvektion ja osittain säteilyn avulla. Kuvassa 1 esitetään Olli Seppäsen Ilmastoinnin suunnittelu -kirjan (2004) mukaan aktiivi- ja passiivipalkkirakenteiden toiminta.



KUVA 1. Ilmastointipalkin toimintaperiaate. Oikealla passiivipalkki, jossa jäähdytyspatteri aiheuttaa ilman painovoimaisen virtauksen palkin läpi. Vasemmalla aktiivipalkki, jossa palkista purkautuva tuloilma indusoi huoneilman virtauksen patterin lävitse. (Seppänen. Ilmastoinnin suunnittelu 2004, 51)

## 2.2 Rakennuksen sisäilmasto

Nykyään pystytään tuottamaan paremmilla hyötysuhteilla, eli pienemmällä energiamäärällä, paremmin suunniteltu ja hallittu ilmasto rakennuksen sisälle. Lukuisissa tutkimuksissa on todettu sisäilmaston merkitys talojen rakenteiden terveenä pitämisessä ja riittävän ilmanvaihdon osuus tärkeänä tekijänä siihen. Homeet ja muut haitat, jotka aiheutuvat huonosta sisäilman suunnittelusta, ovat aiheuttaneet yhteiskunnalle mittavat kulut

sairastapauksista ja työkyvyn heikkenemisestä johtuen. Rakennusmääräyksissä ja sisäilmastoluokituksissa on asetettu minimiarvot energiatehokkaalle rakentamiselle ja sisäilman laadulle.

Suomessa on sovellettu monenlaisia jäähdytys- ja lämmitystapoja, joilla on asetettu sisäilmasto säännösten tasolle. Perinteisten lämmityspattereiden tilalle tai ohelle on tullut useita muita lämmitysmuotoja, kuten esimerkiksi lattia- tai kattolämmitys. Jäähdytys voidaan tuottaa muun muassa lämpöpumpuilla kylmäaineen välityksellä tai vapaajäähdytyksellä ulkoilman lämpötilaa hyödyntäen. Kaukolämmityksen rinnalle on tulossa kovaa vauhtia kaukojäähdytys ja nämä yhdessä sopivatkin hyvin tiiviisti asutetuille taa-jamille. Innovatiivisuutta sisäilmaston toteuttamiseen löytyy ja markkinoilla on monenlaisia ratkaisuja tarjolla. Hyvän sisäilman toteuttaminen vaatii tapauskohtaisen ja tilojen käyttäjän tarpeiden mukaisen suunnittelun. Hyvällä suunnittelulla, oikeilla laitteilla ja materiaaleilla sekä ammattitaitoisella ja vastuuntuntoisella toteutuksella saadaan aikaan juuri oikeanlainen ja energiatehokas sisäilmaympäristö.

### **2.2.1 Sisäilmastoluokitus**

Viimeisin ja käytössä oleva ohjeistus sisäilmaston hallintaan on Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäilmastoluokitus 2008 on tarkoitettu käytettäväksi rakennus- ja taloteknisen suunnittelun ja urakoinnin, sekä rakennustarviketeollisuuden apuna, kun tavoitteena on rakentaa entistä terveellisempiä ja viihtyisämpiä rakennuksia. Luokitusta voidaan käyttää uudisrakentamisen lisäksi soveltuvin osin myös korjausrakentamisessa. Luokitus antaa sisäilmaston tavoite- ja suunnittelu-arvot. Se tukee rakennuttajien, suunnittelijoiden, laitevalmistajien, urakoitsijoiden ja käyttökäyttäjien työtä. Luokitusasiakirjaan voidaan viitata rakennusselostuksessa ja LVI-selostuksessa. Luokitus täydentää Suomen rakentamismääräyksiä, rakennustöiden yleisiä laatuvaatimuksia, rakennusselostusohjetta, LVI-selostusohjetta, urakkarajaliitteen, RT- ja LVI-ohjekortteja, sekä muita rakentamiseen liittyviä asiakirjoja. (Sisäilmastoyhdistys: Sisäilmaluokitus)

Sisäilmastoluokitus on otettu rakennusalalla laajasti käyttöön ja siitä on viime vuosilta paljon käyttökokemuksia. Se toimii ohjenuorana lähes kaikessa toimitilarakentamisessa. Sisäilmastoluokituksen avulla rakennushankkeen osapuolet ovat pystyneet sopimaan hyvän sisäilmaston tavoitteista ja varmistamaan niiden toteutumisen valmiissa raken-

nuksessa. Sisäilmastoluokituksen luokat paremmuusjärjestyksessä ovat S1, S2 ja S3. Hyvän sisäilmaston perustasoksi on määritelty S2-luokka (Sisäilmastoyhdistys: Sisäilmaluokitus). Sisäilmastoluokitus 2008:ssa (2009) esitetään kaikkien luokkien perusteet.

#### S1: Yksilöllinen sisäilmasto

Sisäilman laatu on tilassa erittäin hyvä eikä hajuja ole havaittavissa. Epäpuhtauslähteitä ja ilman laatua heikentäviä vaurioita ei ole sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa. Lämpöolot ovat tilan käyttäjälle viihtyisät eikä yllämpenemistä tai vetoa esiinny oleskeluvyöhykkeellä ja tilan käyttäjä pystyy myös yksilöllisesti säätämään ja hallitsemaan lämpöoloja. Ääniosuhteet ovat erittäin hyvät ja tilojen käyttötarkoituksen mukaiset. Valaistus on yksilöllisesti säädettävissä, jotta valaistusolosuhteet ovat hyvät. (Sisäilmastoluokitus 2008 2009, 4)

#### S2: Hyvä sisäilmasto

Sisäilman laatu on hyvä eikä häiritseviä hajuja esiinny tilassa. Epäpuhtauslähteitä ja ilman laatua heikentäviä vaurioita ei ole sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa. Lämpöolot ovat tilassa hyvät. Tilassa ei yleensä esiinny vetoa, mutta kesäpäivinä yllämpeneminen on mahdollista. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset hyvät valaistus- ja ääniosuhteet. (Sisäilmastoluokitus 2008 2009, 4)

#### S3: Tyydyttävä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu sekä lämpö-, valaistus- ja ääniosuhteet täyttävät rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset. Tämä luokka ei vastaa tilan käyttäjien odotuksia sisäilmastolle monessakaan tapauksessa. Rakennuttajien ja suunnittelijoiden tulisi ohjeistaa tilaajaa paremman sisäilmastoluokan aikaansaamiseksi, vaikka rakennuskustannukset nousevatkin vähimmäisvaatimukseen verrattuna. (Sisäilmastoluokitus 2008 2009, 4)

## 2.3 Kattojäähdytys

Kattojäähdytys perustuu huoneessa olevien pintamateriaalien säteilyllä luovuttamaan lämpöön ja huoneilmasta konvektiolla jäähdyttävään pintaan tarttuvaan lämpöön. Näiden kesken jäähdytystehon suhde riippuu jäähdyttäjän tyypistä. Huonetilojen jäähdytyksessä ajetaan jäähdyttävään elementtiin vedenkäsittely-yksiköstä viileä vesi, johon huoneessa ylöspäin noussut yllilämpö siirtyy konvektoitumalla. Huoneiden jäähdytyksessä käytetään nykyään esteettisiä jäähdytyskattoja, joissa jäähdytysteho perustuu eritoten säteilyyn ja hiukan jäähdytyspinnalla tapahtuvaan vapaaseen konvektioon. Lämpösäteilyyn perustuva jäähdytys toimii suurilta osin pintojen lämpötilaeroista aiheutuvan lämmön säteilysiirtymisen periaatteella. Jäähdytyskatto toimii hyvin suurilla lämpötilaeroilla ja kun jäähdyttävä pinta on suuri.

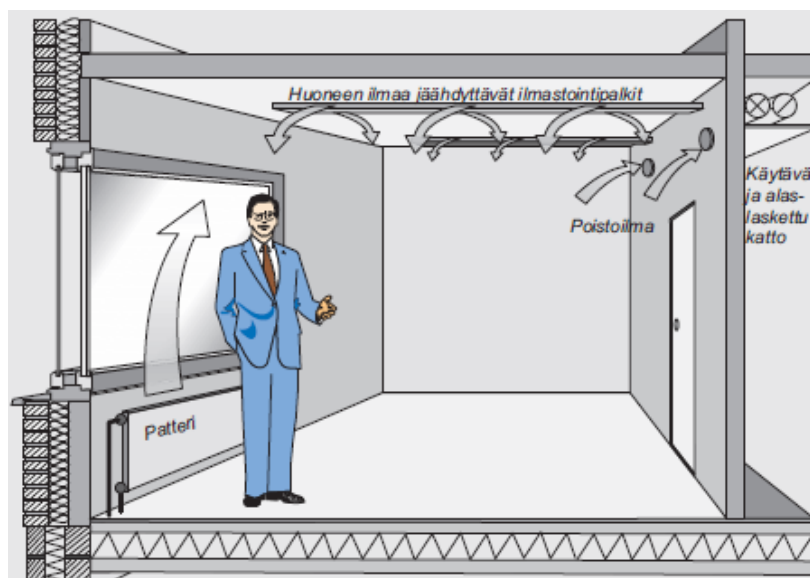
Pienemmissä tiloissa, kuten toimistoissa, yleisimmin käytettyjä ratkaisuja ovat jäähdytyspalkit. S1- ja S2-sisäilmastoluokkaa tavoitellessa jäähdytyspalkki on suosituin tapa hallita sisäilmasto-olosuhteita. Kun jäähdytyspalkki on osa hallinnoitua sisäilmastoa ja lämpöolot pystytään yksilöllisesti säätämään, voidaan saavuttaa S1-tason sisäilmaluokka. Palkit asennetaan aina huoneen kattoon joko vapaasti asennettuna tai alakattorakenteeseen kiinnitettynä. Jäähdytyspalkin jäähdytysteho määräytyy huoneen lämpökuormien mukaan. Olli Seppäsen Ilmastoinnin suunnittelu -kirjan (2004, 49) mukaan optimaalisia tiloja jäähdytyspalkille ovat toimistotilat, joiden lämpökuormat ovat suuret ja joissa ei tarvita suuria ilmamääriä, eikä kosteudesta aiheutuvaa jäähdytysvesiputkiston kondensoitumisvaaraa ole. Ilmastointipalkit jaetaan passiivi- ja aktiivipalkkeihin.

### 2.3.1 Ilmastointipalkkijäähdytys

Passiivipalkkeja käytetään lähinnä jäähdytykseen ja tehokkaimmat passiivipalkit ovat konvektorityyppisiä. Palkki muodostuu jäähdytysveden kiertoputkesta ja siihen tiiviisti liitetystä lamelleista, jotka lisäävät laitteen lämmönsiirtopintaa. Laitetta ympäröi kotello, jonka ylä- ja alaosassa ovat ilmaraoit (Seppänen 2004, 51). Jäähdytyksessä palkki aiheuttaa huoneen yläosaan kohonneen lämpimän ilman painovoimaisen virtauksen ylhäältä alas palkin läpi. Lämpö siirtyy putkessa virtaavaan jäähdytysveteen konvektiolla ja lämmittää paluuvettä jäähdytystehon vaatiman asteisuuden verran. Jäähdytynyt ilma on raskaampaa kuin lämmin ilma ja siksi painuu alas huoneen oleskeluvyöhykkeelle, eli

sinne missä ihminen aistii sisäilman. Lisäksi palkin kylmä ulkopinta jähdyttää säteilyn muodossa huoneessa olevia pintoja. Jähdytyspalkit sijoitetaan kattoon esimerkiksi kuvan 2 mukaisesti.

Aktiivipalkista puhalletaan ilmankäsittelykoneella esikäsitelty alilämpöinen (yleensä 18 °C) tuloilma, joka indusoi lämpimän huoneilman virtauksen jähdytyspatterin lävitse. Jäähdytynyt huoneilma sekoittuu tuloilmavirtaukseen ja yhdistetty ilmavirta puhalletaan katonrajan pintaa pitkin sekoittumaan huoneilmaan. Katon rajassa kulkeutuva ilmavirtaus pyrkii kääntymään kohti katon pintaa. Tätä kutsutaan coanda-ilmiöksi. Aktiivipalkissa on yleensä säädettävät tuloilmasuuttimet, joilla pystytään ohjaamaan virtausta halutulla tavalla.



KUVA 2. Perinteinen jähdytyspalkin käyttötilanne, jossa lämmityspatteri on kytketty pois päältä jähdytyksen aikana. (Harju. Ilmastointitekniikan oppikirja 1. s.16)

Aktiivipalkit sijoitetaan siten, että ne eivät toisiinsa tai seinään nähden ole liian lähikäin, heittoilmavirtausten liian nopean alas taittumisen estämiseksi. Aktiivipalkeilla ei pystytä puhaltamaan suuria ilmamääriä, joten ne tarvitsevat joissakin tapauksissa rinnalleen muita tuloilmapäätelaitteita. Aktiivipalkkien tuloilmamäärä on vakio tai tarpeenmukaisesti säädettävissä. Huoneen ja jähdytyspalkin ilmavirta mitoitetaan yleensä huoneen käyttäjien ja ulkoilmavirran tarpeen mukaan.

Tuloilman esikäsitelyaste, eli kuivaus, vaikuttaa tarvittavaan jähdytystehoon. Jähdytysveden menolämpötila toimistokäytössä on yleensä 14–16 °C ja meno- ja paluuvien

lämpötilaero vähintään 3 °C, jotta vältetään jäähdytysvesiverkoston tarpeettoman suurelta putkikoolta (Seppänen 2004, 51). Viileän veden kondensoitumisen vuoksi putket yleensä eristetään ja palkista kondensoituva vesi johdetaan kondenssivesialtaasta viemärointiin. Jäähdytystehoa on aktiivipalkissa perinteisesti muuteltu vesivirtaa muuttamalla tai tuloilman puhallusta säätämällä. Aktiivipalkkiin kuuluu yleensä termostaattiventtiili, joka säätelee jäähdytystehoa huoneen lämpötilan mukaan. Aktiiviset jäähdytyspalkit soveltuvat hyvin huoneisiin, joiden lämpökuormat (ihmiset, tietokoneet, valaistus yms.) ovat suuret ja joissa ei tarvita suuria ilmavirtoja.

## 2.4 Kattolämmitys

Kattolämmitys mielletään usein isojen varastojen ja ikkunattomien hallitilojen lämmitysmuodoksi, ja silloin on kyseessä yleensä säteilylämmittäminen. Kattolämmityksessä peruselementit ovat samat kuin jäähdytyksessä, eli huoneen lämpöolosuhteita säädellään konvektion ja säteilyn välityksellä. Lämmönsiirtymisprosessi on päinvastainen, eli huoneeseen tuodaan lämpöä sen sijaan että poistettaisiin sitä. Kattolämmitystä käytetään myös pienempien tilojen lämmitykseen ja silloin säteilylämmittäjiä yleisempää on käyttää ilmastointipalkkeja.

Kattosäteilijät toimivat kuten seinäradiaattorit ja niiden tarkoitus on säteillä lämpöä sekä osittain konvektoitua huoneilmaan. Yleisimmin säteilylämmittäjät ovat alakattorakenteeseen integroitavia yksilöllisiä lämmönvaraajamateriaaleja tai katosta roikkuvia paneeleita joihin johdetaan ylälämpöinen lämmitysvesi. Kattosäteilijöissä kiertävä lämmitysvesi voidaan kuitenkin pitää huomattavasti alhaisempana, kuin perinteisissä seinäradiaattoreissa, koska niiden pinta-ala on yleensä suurempi. Säteilylämmittäjiä on myös sähkökäyttöisiä, mutta niiden suosio ei ole suuri sähkön hinnan vuoksi, varsinkaan suurissa lämmitettävissä tiloissa. Kattosäteilylämmitys toimii kuten lattialämmitys, mutta lämpösäteily kulkeutuu huoneeseen ylhäältä. Kattosäteilijässä säteilyn osuus lämmönsiirrossa on lattialämmitystä suurempi ja säteilevän pinnan lämpötila voidaan pitää korkeampana, koska kattolämmityksessä ei ole lattialämmityksen asettamaa mukavuuslämpötilarajaa. Säteilylämmityksessä ei pyritä varsinaisesti lämmittämään huoneilmaa, vaan huoneen pintarakenteita. Tällä tavalla saadaan mukava lämmöntunne ja pystytään pitämään huonelämpötilaa muutamia asteita alhaisempana. Kattosäteilijän teho perustuu lämmitettävän pinnan ja huoneessa olevien pintojen lämpötilaeroon.

### 2.4.1 Ilmastointipalkkilämmitys

Huoneilman lämmittämiseen soveltuvat myös ilmastointipalkit. Lämmitykseen tarkoitetut ilmastointipalkit ovat yleensä aktiivitoimisia. Tällöin esilämmitettyyn tuloilmaan konvektoituu palkin vesiputkista tai lämmönsiirtopinnasta lämpöä. Sekoittavalla ilmanjaolla huoneeseen puhallettu pyörteinen ilma indusoi viileää huoneilmaa palkin lämmityspatterin läpi. Patterin läpi kulkeutuessaan ilma lämpenee ja sekoittuu tuloilmaan. Näin huoneeseen johdettava tuloilma lämmittää ympäröivää tilaa.

Ilmastointipalkilla huonetta lämmittäessä säteilyllä on osuus lämpöolosuhteen muodostumisessa. Lämmitystilanteessa tuloilma pyrkii kerrostumaan huoneen yläosaan, joka laskee ilmanvaihdon hyötysuhdetta ja lämmitystehoa. Tämän vuoksi tuloilmavirtauksen on oltava riittävä ja heittovirtausta ohjaavat suuttimet suunnattu oikein, jotta varmistetaan ilman riittävästä sekoittumisesta oleskeluvyöhykkeellä. Tarvittavan tuloilmamäärän puhallusnopeuden on oltava päätelaitteeseen sopiva, jotta konvektiivinen ilma sekoittuu oleskeluvyöhykkeelle tasaisesti ja tehokkaasti. Ilmastointipalkin menoveden lämpötila määräytyy lämmitystehontarpeen mukaan. Seppäsen (2004) mukaan meno- ja paluuväiden välinen lämpötilaero on yleensä 5–10 °C ja mitoitusvesivirta valitaan lämmitystehon mukaan. Lämmitystilanteessa palkkien sijoittelu perustuu samoihin sääntöihin kuin jäähdystilanteessa. (Seppänen 2004, 54)

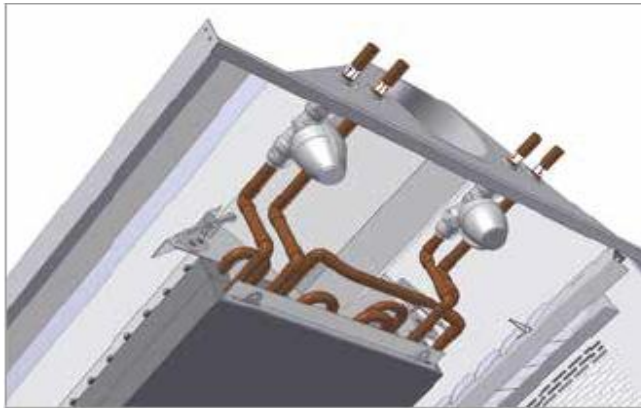
Nykyään uudet rakennukset ovat huomattavan tiiviitä ja ikkunat kylmäsaiteilevät vähemmän sekä aiheuttavat minimaalisesti vetoa. Ikkunoiden alle ei niiden tiiveyden vuoksi välttämättä tarvitse asentaa lämpöpattereita ja ilmastointipalkilla lämmittäminen on tällöin varteenotettava vaihtoehto.

### 2.5 Ilmastointipalkin yhdistetty lämmitys ja jäähdytys

Ilmastointipalkilla lämmittäminen on usein toiminut jonkin muun lämmitystavan, kuten seinäpatterilämmityksen ohella. Rakennusten lämpöhäviöiden paremman hallinnan myötä lämmitystehontarve on pienentynyt oleellisesti. Lämmitystilanteessa tuloilmaa esilämmitetään lähes poikkeuksetta ilmankäsittely-yksikössä ja huoneilman poistoilmasta otetaan lämpöä uudelleenkäyttöön. Lämmityksessä pystytään käyttämään yhä enemmän matalalämmöllä toteutettuja lämmönluovutusratkaisuja.

Mahdollisuus matalalämmön hyödyntämiseen on edesauttanut sisäilman lämpöolojen hallintaa ilmastointipalkkiratkaisuilla. Käytössä on ilmastointipalkkeja, joissa kiertää termostattiohjauksella sekä lämmitys- että jäähdytysvesi. Perinteisesti nämä ovat neliputkijärjestelmiä, joissa jäähdytysvesipiiri on erillään lämmitysvesipiiristä. Kuvan 3 mukaisesti termostattiventtiileillä ohjataan neliputkipalkkiin huoneen lämpötilan mukaan joko jäähdytystä tai lämmitystä. Nykyään tällaiset ratkaisut toimivat yleensä ilman muita lämmitysjärjestelmiä.

Lämpöolojen hallinta ilmastointipalkilla yhdistää jäähdytyksen ja lämmityksen lisäksi ilmastoinnin. Ilmastointipalkeilla hallitaan sisäilmastoa useimmiten uusissa toimitiloissa. Niissä lämmitystehontarve on mahdollisesti pienempi ja jäähdytystä tarvitaan joka tapauksessa, eikä seinäpattereille ole välttämättä tilaa.



KUVA 3. Neliputkijärjestelmässä ilmastointipalkin lämmitys- ja jäähdytysputket kulkevat samaan lämmönsiirtimeen. Kuvassa näkyy molempien verkostojen termostaattiventtiilit. (Premum. 2013, 150)

Huoneen lämpöolosuhteissa usein epäkohdaksi muodostuu lämmityksen ja jäähdytyksen yhdenaikainen toiminta. Lämmityksen ja jäähdytyksen toimiessa eri järjestelmillä pitää viestinnän termostaattisten toimilaitteiden välillä sujua täsmällisesti. Termostaattien asetukset ja niiden keskeinen kommunikaatio ovat avainasemassa lämpöolosuhteen hallinnan toimivuudessa. Neliputkipalkilla voidaan välttää päällekkäinen lämmitys- ja jäähdytystilanne.

### **3 KÄYTTÖKOHTTEEN JA JÄRJESTELMÄN KUVAUS**

#### **3.1 Energiatehokas rakentaminen**

Energiatehokkaassa rakentamisessa keskitytään kokonaissuunnittelun hallintaan. Rakennuksille pakolliseksi tullessa energiatodistuksessa käy ilmi energiantuotantomuoto ja arviot rakennuksen energiankulutuksesta kaikilla osa-alueilla. Rakennuksen lämmittämiseen käytetään paljon energiaa ja sen osuutta pyritään vähentämään. Jäähdytyksessä suositetaan yhä enemmän vapaajäähdytystä, silloin kun se on mahdollista. Ekologisen jalanjäljen koko riippuu myös rakennuksen energiakulutuksen ohjauksesta, sähkönkäytön tehostamisesta, valaistuksesta ja laitevalinnoista. Lisäksi energiataloudelliseen rakentamiseen kuuluvat ilmanvaihdon lämmön talteenotto, rakentamisen hyvä suunnittelu sekä toteutuksen laatu. Oleellista on asettaa energian tarve mahdollisimman pieneksi kaikilla osa-alueilla ja minimoida rakenteista ja ilmanvaihdosta johtuvat lämpöhäviöt. Energian hinnan korotuspaineet ja ympäristöystävällisyyteen panostaminen on johtanut siihen, että rakentamiseen vaikuttavilla säädöksillä johdatetaan rakentamista koko ajan entistä pienemmän kulutuksen suuntaan.

##### **3.1.1 Matalaenergiarakentaminen**

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL:n matalaenergiarakentamisen toimitilojen ohjeen (2012, 15) mukaan matalaenergiarakentamisessa kulutustavoite asetetaan pääsääntöisesti ominaisenergiankulutukselle, joka huomioi energiamuodot. Tämä tarkoittaa, että suunnittelussa tarkastellaan energian tarvetta, energiamuotoja sekä energiaa käyttävien järjestelmien häviöitä. Ohjeen mukaan tavoitteena ovat alhaisen energiankulutuksen ohella alhaiset lämmitys- ja jäähdytystehot kohtuullisin investointikustannuksin, rakennusfysikaalisesti toimivien rakenteiden ja ilman hankalasti huollettavia rakenteita ja järjestelmäratkaisuja. Rakennusten muoto ja aukotus sekä ikkunoiden ja aurinkosuojausten ominaisuudet ovat oleellisesti lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutukseen vaikuttavia tekijöitä. (RIL 259–2012 2012, 15, 82)

Motivan (2011) mukaan vuoden 2010 alusta voimaan tulleiden uusien rakentamismääräysten ohjeiden mukaan matalaenergiarakennusta suunniteltaessa tulisi laskennallisten

lämpöhäviöiden olla enintään 85 % rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä (Motiva: Matalaenergiatalon määritelmä 2011). Taulukosta 1 voidaan havaita, että matalaenergiarakentamisessa kiinnitetään huomiota hyvään rakenteiden lämmöneristykseen ja tiiveyteen sekä ilmanvaihdon lämmön talteenoton vuosihyötysuhteeseen.

TAULUKKO 1. Rakenneominaisuuksien vertailutaulukko. Matalaenergiarakennukselle asetetaan tiukemmat ominaisuudet. (VTT. Kestävän rakentamisen prosessit 2009, 11)

Tekninen tekijä	Normitalo2008	Normitalo2010	Matalaenergia-rakennus	Passiivi-rakennus
U-arvot, W/m <sup>2</sup> K				
· Alapohja maanvastainen	0,24	0,14	0,12	0,06
· Alapohja ryömintätilaan	0,19	0,11	0,10	0,05
· Ulkoseinä	0,24	0,17	0,12	0,08
· Yläpohja	0,15	0,09	0,09	0,05
· Ikkunat	1,4	0,9-1,0	0,8-0,9	0,5...0,6
· Ovet	-	0,6-0,7	0,5	0,2-0,3
Vaipan ilmanvuotoluku n50, 1/h	< 4,0	< 1,0	0,6	< 0,6
Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde %	>30	>50	>65	>80
Ilmanvaihdon ominaissähköteho, kW/m <sup>3</sup> /s	< 2,5	< 2,0	< 2,0	< 2,0

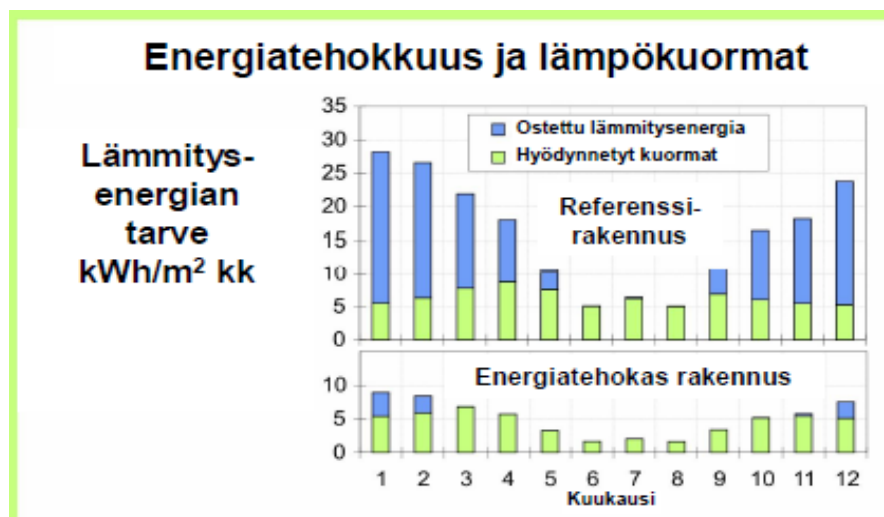
Matalaenergiarakentamisessa käytetään yleensä matalia verkostolämpötiloja ja lämmönluovuttimet voidaan tällöin mitoittaa pienemmiksi. Vesikiertoiset lämmitysjärjestelmät voidaan toteuttaa useilla vaihtoehtoisilla lämmöntuottotavoilla. Kun ikkunat ovat U-arvoltaan ja tiiveydeltään hyvät, ei lämmityspattereita välttämättä tarvita ikkunoiden alla ja lämmitysjärjestelmä voidaan toteuttaa ilman perinteistä patteriverkostoa (RIL 259–2012 2012, 71, 83). RIL:n ohjeistuksesta 259-2012 voidaan päätellä, että LVI-tekniikka ja -suunnittelu ovat tärkeässä roolissa kun pyritään saavuttamaan matalaenergiarakennukseen hyvä sisäilmasto.

Matalaenergiarakennuksissa voidaan hyödyntää rakenteiden lämmönvarauskapasiteettia lämmityksen ja jäähtymisen huipputehojen optimoinnissa. Kesäkaudella voidaan rakenteita jäähdyttää yöaikana yötuuletuksella tai koneellisella jäähtymyksellä, jolloin päiväaikainen huippu alenee (RIL 259-2012 2012, 83). Matalaenergiarakennuksessa jäähtymisen osuus energiankulutuksesta on suurempi kuin tavanomaisissa rakennuksissa. Matalaenergiarakennus on hyvä alusta energiankulutuksen pienentämiselle ja hyvälle sisäilmastolle.

### 3.1.2 Toimistotilat matalaenergiarakennuksessa

Toimistorakennuksen matalaenergiasuunnittelussa huomioitavat pääkohdat ovat eristys, tiiveys, lämmön talteenotto ja lämpökuormien hyödyntäminen. Matalaenergiatoimistorakennusten investoinneissa ja hankinnoissa pyritään kiinnittämään huomiota niiden energiatehokkuuteen. Talotekniikan merkitys on matalaenergiatoimistossa merkittävä. Talotekniikan rooli korostuu lämpöenergian- ja sähköenergiankulutuksessa, kuten taulukoista 2 voidaan havaita. Lämmitys- ja jäähdytystarpeen eroja syntyy matalaenergiatoimitiloissa taulukon 3 mukaisesti.

Matalaenergiatoimiston lämmitysjärjestelmää suunniteltaessa on järkevää ottaa huomioon pieni lämmitystehon tarve. Lämmöntarpeen pienentyessä lämmityskausi lyhenee ja paksun ulkovaipan ansioista rakennus on paremmin lämpöä varaava. Tällöin auringon säteily ja sisäiset lämpökuormat pienentävät tehokkaasti lämmitystehon tarvetta. Lämpökuormia hyödyntämällä voidaan pienentää lämmitysenergian tarvetta, kuten kuvassa 4 esitetään. Pieni lämmitystehon tarve mahdollistaa siirtymisen yksinkertaistettuun talotekniikkaan ja lämmityksessä voidaan käyttää kustannustehokkaampia lämmitysjärjestelmiä.



KUVA 4. Kuntien 5. ilmastokonferenssin VTT:n matalaenergisyyttä koskevan aineiston kuva (Holopainen, Tuomaala & Nieminen 2010, 16). Alemmassa palkistossa on hyödynnetty huoneeseen muodostuvia lämpökuormia lämmityksessä

Ulkovaipan hyvä lämmöneristys pienentää myös jäähdytystehontarvetta. Matalaenergisien toimistorakennuksien jäähdytystehon tarvetta pystytään pienentämään myös ikku-

noiden aurinkosuojauksella. Nykyaikaisessa toimistossa käytetään enemmän rakennuksen sisäistä lämpökuormaa nostavia sähkölaitteita, mutta toisaalta nykyaikaisten laitteiden lämpökuorman tuotto on oleellisesti pienentynyt vanhanaikaisiin laitteisiin verrattuna. Yöaikaista viileämpää ulkoilmaa hyödyntämällä saadaan rakenteiden massiivisuuden vuoksi rakennukseen pidempään yllämmötön sisäilma. Sisäilmaa voidaan siten pienellä lämpötilaerolla, eli energiatehokkaammin, viilentää lämpökuormien kasvaessa.

TAULUKKO 2. Etelä-Suomessa sijaitsevan toimistotalon ominaiskulutuksen vaihteluväli ja energiakertoimin muutetut kulutusluvut (RIL 259–2012 2012, 18). Taulukosta huomataan merkittäviä eroja varasinkin tilojen lämmityksessä.

	Toimitalo 1970 kWh/m <sup>2</sup> /v	Toimitalo 2011 kWh/m <sup>2</sup> /v	Matala- energiatalo kWh/m <sup>2</sup> /v
<b>Lämpöenergiankulutus</b>	<b>70–130</b>	<b>40–60</b>	<b>20–40</b>
- tilojen lämmitys	50–80	20–30	10–20
- ilmanvaihdon lämmitys	5–30	10–15	5–10
- lämmin käyttövesi	15–20	10–15	10–15
<b>Sähköenergiankulutus</b>	<b>60–120</b>	<b>50–70</b>	<b>25–50</b>
- puhaltimet ja pumput	15–25	10–15	5–10
- laitteet	20–35	20–25	10–20
- jäähdytys	0–20	5–10	5–10
- valaistus	20–40	15–20	5–10
<b>Energiankulutus yhteensä</b>	<b>130–250</b>	<b>90–130</b>	<b>45–90</b>
<b>Primäärienergiankulutus</b>			
- lämpö (energiakerroin 0,7)	50–90	35–40	15–25
- sähkö (energiakerroin 1,7)	100–205	90–120	45–85
<b>E-luku</b>	<b>150–295</b>	<b>125–160</b>	<b>60–110</b>

TAULUKKO 3. Suhteelliset kulutuserot vyöhykkeittäin (RIL 259–2012 2012, 19). Kuten huomataan, Pohjois-Suomessa tarvitaan lämmitykseen enemmän energiaa kylmemmän ulkolämpötilan takia.

	Etelä-Suomi	Keski-Suomi	Pohjois-Suomi
Suhteellinen lämmitystarve	100	115	135
Suhteellinen jäähdytystarve	100	95	90
Suhteellinen rakennuskustannus	100	90	80

RIL:n toimitilojen matalaenergiarakentamisen ohjeen (2012, 86) mukaan toimitiloissa on usein tiloja, jotka vaativat jäähdytystä kesäajan lisäksi keväisin ja syksyisin tai jopa ympäri vuoden. Tällöin tiloista vapautuvan jätelämmön hyödyntämismahdollisuus pitäi-

si selvittää. Ellei sitä ole, voidaan tilojen jäähtyäkseen käyttää suurensaa vuotta vapaajäähdytystä.

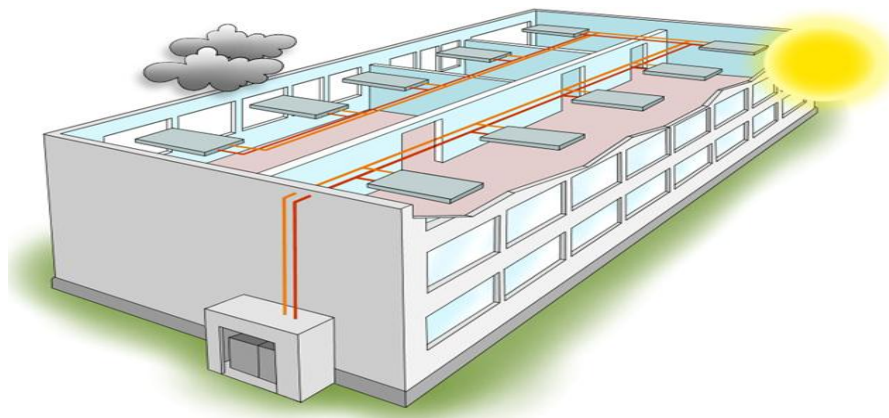
Matalaenergiatoimitilassa lämmitystarve on niin pieni, että tarvittava teho voidaan tuottaa aktiivipalkin avulla (RIL 259-2012 2012, 89). Myös jäähtytystehon tarve on yleensä pienempi kuin tavanomaisissa toimitiloissa. Tällöin voidaan käyttää esimerkiksi aiemmin esiteltyjä neliputkipalkkeja, joissa kiertää matalalämpöinen lämmitysverkoston vesi ja korkealämpöinen jäähtytysverkoston vesi. Matalalämpöisyyden hyödyntäminen lämmitysjärjestelmässä mahdollistaa palkkien sisään ajettavan kiertoveden lämmittämisen vaihtoehtoisilla hyvän hyötysuhteen lämmöntuottomenetelmillä. Kun mitoitetaan jäähtytysvesiverkosto toiminaan korkealla lämpötilalla, pystytään hyödyntämään vapaajäähdytystä esimerkiksi ulkoilmasta tai porakaivoista.

Matalaenergiatoimiston ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelussa optimoidaan järjestelmävalinta ottaen huomioon sisäolosuhdetavoitteet. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ovat yleensä sisäilmaston laatutaso, ilmanvaihdon säädettävyys, energiankulutus sekä muunneltavuus. Matalaenergiarakentamisessa on myös mahdollista päästä tilanteeseen, jossa esimerkiksi normaaleissa toimistotiloissa ei tarvita tilajäähtytysjärjestelmää, vaan tilat jäähtytetään tuloilmalla (RIL 259–2012 2012, 95–96, 83). Toimistoissa käytetään käytännöllisyyden vuoksi yleensä sekoittavaa ilmanvaihtotapaa. Esimerkiksi syrjäyttävän ilmanvaihdon toiminnan kannalta tärkeä, päätelaitteiden eteen ilmavirtauksen esteettömälle kulkeutumiselle jätettävä alue, on usein hankala toteuttaa tilankäytöltään tehokkaissa toimistoissa. Syrjäyttävässä ilmanvaihdossa ilman nopeudet ovat pieniä, eikä sillä voida hallita lämpöoloja. Sekoittavalla ilmanjaolla lämpöolosuhteita pystytään tuloilman välityksellä hallitsemaan toimistossa.

Espooseen toteutettiin vuonna 1992 METOP- hanke, joka oli matalaenergiatoimistotalon prototyyppi. Lämmitys toteutettiin rakennuksen sisäisiä lämpökuormia hyödyntäen, eikä rakennuksessa ollut lainkaan patteriverkostoa. Erillistä lämmitystä tarvittiin vain ajoittain ulkolämpötilan ollessa alle  $-15^{\circ}\text{C}$  (Holopainen, Tuomaala & Nieminen. 2010, 26). Hanke oli aikansa pioneeri matkalla energiatehokkaampaan rakentamiseen. Suomessa on siis ollut jo pitkään kiinnostusta tutkia, kuinka toimitilojen energiankulutusta saataisiin pienemmäksi tinkimättä kuitenkaan hyvästä sisäilmastosta.

### 3.2 Solo-ilmastointipalkkijärjestelmän toiminta

Rakennuksissa käytettävien jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmien osuus kokonaisenergian kulutuksesta on merkittävä. Solo-järjestelmä on kehitetty pienentämään edeltäviltä osin toimistotilojen energiankulutusta sekä tuottamaan miellyttävä ja sisäilmastoluokituksen mukainen sisäilmasto. Järjestelmä on ensisijaisesti tarkoitettu matalaenergiarakennuksiin, joissa lämmitystehontarve on pieni verrattuna rakennusnormien vähimmäistason rakennukseen. Solo-ilmastointipalkkeilla on tarkoitus pitää matalaenergiarakennus tarvittavan lämpimänä kovimmilla talvipakkasilla, poistaa yllämpöä kesähelteillä sekä toimia tuloilman päätelaitteena. Järjestelmä ei tarjoa yksilöllisiä tai tarpeenmukaisia säätöominaisuuksia.

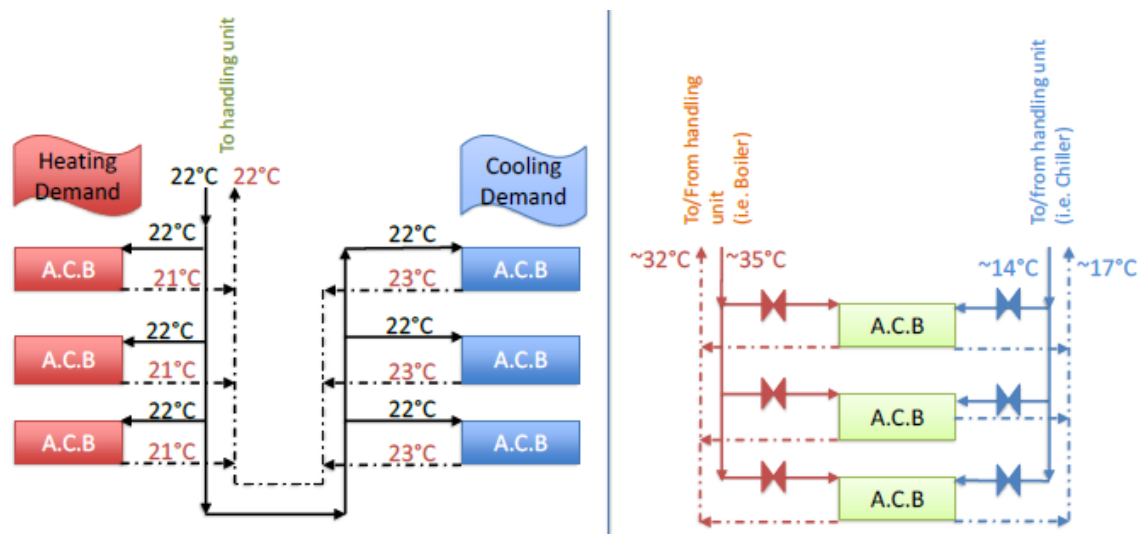


KUVA 5. Vesiverkoston lämpötilatasapaino syntyy kun vesi luovuttaa energiaa saman verran kuin sitoo kiertonsa aikana. (Solo system)

Solo-hankkeen tavoite on tuoda markkinoille nykyaikaisten toimistojen sisäilmaston hallintaan liittyvien tarpeiden kattava ratkaisu. Järjestelmän keskeinen osa on ilmastointipalkki, jota käytetään ympäri vuoden korkean lämpötilan jäähdytykseen ja matalan lämpötilan lämmitykseen. Toiminta perustuu kiertoveden kaksiputkijärjestelmään, jossa menoveden lämpötila on 20–23 °C ja paluuveden lämpötila 21–23 °C, riippuen vuodenaikasta. Kaksiputkijärjestelmässä ilmastointipalkkeihin menevä vesi kiertää yhdessä vesiverkossa kuvan 5 tapaan. Lämmitys ja jäähdytys tapahtuvat samassa kaksiputkiverkossa kiertävän tasalämpöisen menoveden välityksellä. Ilmastointipalkissa vesi joko luovuttaa tai sitoo lämpöä, huoneilman lämpötilasta riippuen. Lämmitystilanteessa veden ja huoneen lämpötilaero on pienehkö, joten lämpimän ja viileän ilman kerrostuneisuutta ei pitäisi ilmentyä.

Samalla vedellä jäähdyttäessä ja lämmittäessä, joissakin tilanteissa verkoston vedellä otetaan ilmastointipalkeissa huoneista lämpöä talteen. Keväisin ja syksyisin on monena päivänä tilanteita, jossa rakennuksen toisessa osassa vesi lämmittää ja toisessa osassa jäähdyttää huonetta. Kuva 5 havainnollistaa tätä tilannetta. Tällöin paluuveden lämpötila pysyy suunnilleen samana kuin menoveden lämpötila. Näin järjestelmässä vallitsee lähes lämpötilatasapaino, eikä veden lämpötilan pitämisessä toiminta-arvossaan tarvita juurikaan ulkopuolista energiaa.

Kaksiputkijärjestelmällä on tarkoitus päästä pienempiin käyttö- ja elinkaarikustannuksiin verrattuna neliputkijärjestelmään. Perinteiseen neliputkipalkkiin yhdistyy erikseen lämmitys- ja jäähdytysverkosto. Neliputkijärjestelmässä, palkkiin ajettavan lämmitys- ja jäähdytysveden virtausnopeutta sekä vuorotoimisuutta säätämään tarvitaan termostaattiventtiilejä, joita Soloa käytettäessä ei tarvita. Solo-ilmastointipalkkiratkaisua voidaan kuvan 6 mukaisesti verrata matalalämpöperiaatteella toimivaan neliputkijärjestelmään.



KUVA 6. Kaksiputkijärjestelmän toimintalämpötila verrattuna neliputkijärjestelmän toimintalämpötiloihin kevät- ja syksytilanteissa. (Solo energiankulutuslaskelmat)

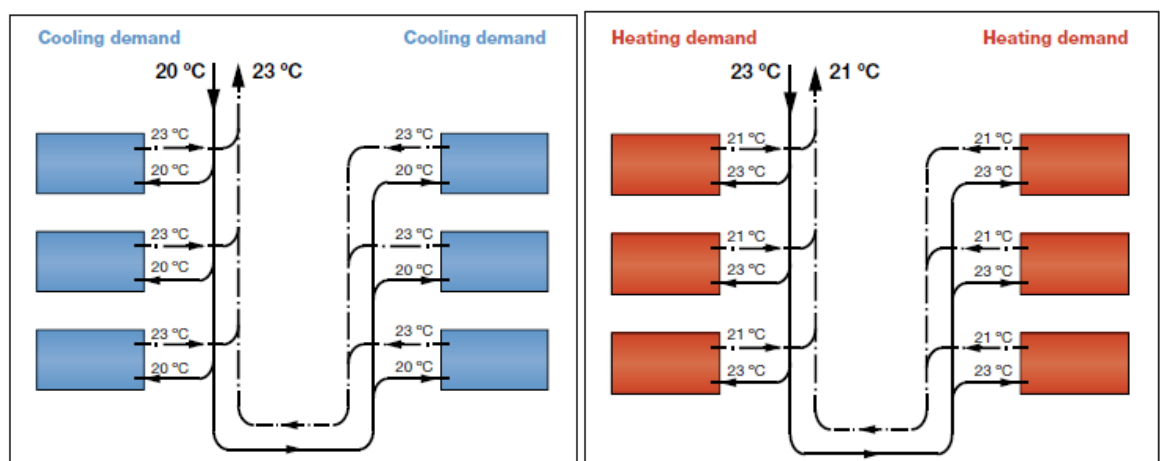
Solo-järjestelmän on tarkoitus säästää hankkeen kokonaiskustannuksissa materiaalin, automatiikan, osien ja tarvikkeiden vähennyttä. Jäähdytys ja lämmitys tapahtuvat yhdessä palkissa sekä yhdellä kiertovesiverkolla, joten huonetermostaatteja ei tarvita. Tästä syystä myös huoltokustannukset ovat odotettavasti pienemmät. Lämmitykseen ei tarvita muita järjestelmiä, joten pois jäävät perinteiset lämmönluovuttimet ja niiden lämpöverkot. Matalalämpöisen veden tuottamiseen on tarkoitus hyödyntää pienellä energiamäärällä ja hyvällä hyötysuhteella toimivia ratkaisuja. Järjestelmässä kiertävään ve-

teen on mahdollista hyödyntää ilmaisenergiaa, eli vapaajäähdytystä, tehokkaammin, kuin perinteisiin viileämmällä lämpötilalla toimivissa jäähdytysratkaisuissa.

Järjestelmän toiminta on simuloitu tanskalaisen yliopiston toimesta sellaisilla olosuhdearvoilla mitkä kuvastavat Tanskan ilmastoa ja rakennusmääräysten mukaista toimistorakennusta. Simuloinnissa todennettiin energiakulutusarvoja muutamassa eri skenaariossa ja kaksiputkijärjestelmän tuloksia verrattiin neliputkijärjestelmään. Skenaariot olivat tilanteita, joissa yhdessä ei käytetty vapaajäähdytystä ja muissa käytettiin vapaajäähdytystä erilaisilla hyödyntämistavoilla. Testin analyysin perusteella, lopputuloksena oli pienempi energiakulutus kaikissa skenaarioissa verrattuna neliputkijärjestelmään. Tilanteissa, joissa hyödynnettiin vapaajäähdytystä, energiakulutus oli selkeästi pienempi. Suomessa ratkaisua ei ole vielä sovellettu, mutta Ruotsiin on rakennettu referenssikohde, joka hyödyntää laitteiston jäähdytysominaisuutta.

### 3.2.1 Teho ja ohjaus

Ilmastointipalkkeihin kierrätettävällä menovedellä on kolme eri lämpötilaa. Ulkoilman lämpötiloille asetetaan tietyt raja-arvot menoveden asteisuuden muutoksille. Kuvassa 7 esitetään verkoston lämpötilat kesä- ja talvitilanteissa. Kesän jäähdytystilanteessa menoveden lämpötila on 20 °C. Talven lämmitystilanteessa menoveden lämpötila on 23 °C. Keväällä ja syksyllä palkkiin menevän veden lämpötila on 22 °C. Menoveden jäähtyessä tietyssä osassa rakennusta asteen ja toisaalla lämmitessä asteen, pysyy meno- ja paluuvesi lämpötilatasapainossa. Tilanne on esitetty kuvassa 6.



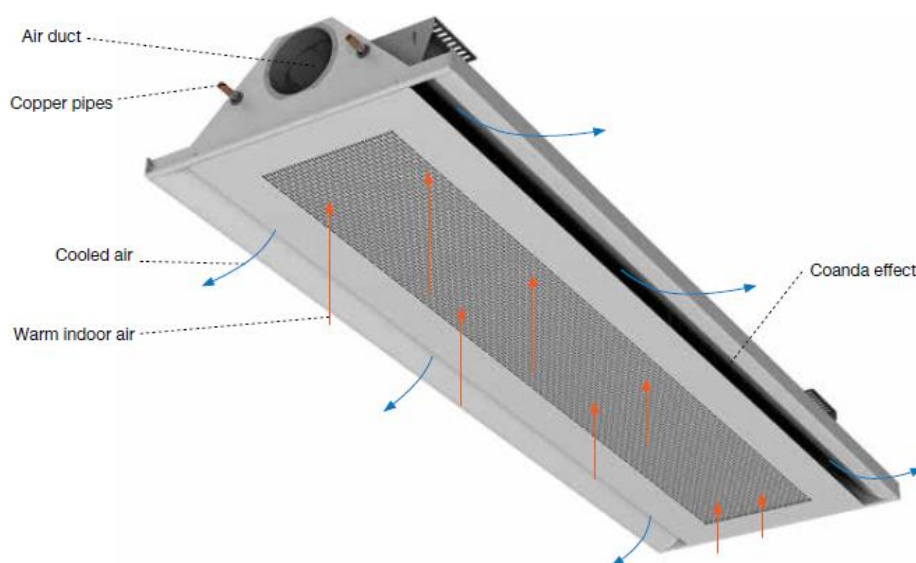
KUVA 7. Veden lämpötilat jäähdytys- ja lämmitystilanteissa. (Solo system)

Veden virtaama putkistossa pidetään vakiona ja veden lämpötilaa ohjataan ulkolämpötilan mukaan. Poiketen useista neliputkijärjestelmistä, Solo-järjestelmässä veden virtausta ei säädetä tehon lisäämiseksi. Tuloilmavirtausta lisäämällä ei myöskään nosteta palkin tehoa. Koska vesi- ja ilmavirta eivät muutu, palkin hetkellisen tehon määrittää huoneen ja veden lämpötilaero. Palkki on sitä tehokkaampi mitä suurempi lämpötilaero syntyy palkissa kiertävän veden ja huoneen lämpötilan välille.

Huoneen lämpötilaa ei pyritä pitämään lämpöolosuhteiden vaihtelusta huolimatta jatkuvasti lähellä suunnitteluarvoa. Solo-palkeilla lämpöolosuhteita hallittaessa on oletettavissa huonelämpötilan hetkellistä huojumista. Useimmiten tämä huoneen lämpötilan huojunta on vain muutaman asteen ja sen pitäisi suurimmillaankin olla viitisen astetta, ennen kuin lämpötila tasoittuu mitoitettulle tasolle.

### 3.2.2 Solo-ilmastointipalkki

Solo I-60 ilmastointipalkki toimii tuloilman päätelaitteena. Palkille asetetaan vakioilmavirtaus ja suuntasäädettävillä tuloilmasuuttimilla voidaan ohjata ilmasuihkun puhallusta halutulla tavalla. Tarkoitus on suunnata tuloilmasuuttimet siten, että ilma leviää 30 ° kuviossa huoneeseen, eikä siten aiheuta suuria ilmanopeuksia ja vetoa oleskeluvyöhykkeelle. Kuvassa 8 esitetään Solo-palkki jäähdytystilanteessa.



KUVA 8. Lindab Solo-palkki jäähdytystilanteessa. Lämmin huoneilma indusoituu palkin kautta tuloilmaan. (Solo tuote-esite)

Palkki toimii sekoittavan ilmanjaon periaatteella. Tuloilma kulkeutuu katonrajaa pitkin coanda-ilmiön avulla ja sekoittuu huoneeseen. Solo-ilmastointipalkkien tarkoitus on toimittaa huoneeseen tarvittavissa oleva ulkoilmavirta. Palkkien lisäksi huoneeseen tulee sijoittaa poistoilmaventtiilit.

Solo I-60 asennetaan alakattorakenteeseen. Kuvassa 9 on palkki asennettuna alakattoon. Solo-palkkeja on neljää eri kokoa ja niitä voi asentaa useampia huoneeseen rinnakkain. Palkin tuloilmakanavan liitos on halkaisijaltaan 125mm. Vesi kiertää palkissa 12mm kupariputkessa. Kupariputki muodostaa kelatyypin lämmönsiirtopatterin. Koska palkkien teho perustuu pieneen huoneeseen ja veden lämpötilaeroon, pitää lämmönsiirtopatterin olla tehokas saavuttaakseen suhteellisen suuren lämmitys- ja jäähdytystehon. Ilmastointipalkista koituvien äänien on laskettu olevan niin pienet, ettei äänenvaimentimia tarvitse asentaa palkkien yhteyteen.



KUVA 9. Solo-palkki asennettuna alakattoon. Alapaneelin ollessa auki nähdään lämmönsiirrin ja sen sisällä kiertävien kupariputkien lenkkien päät. (Solo system)

Lämmitystilanteessa huoneilmaan ja tuloilmaan konvektoituu menovedestä lämpöenergiaa. Esilämmitetty tuloilmavirtaus indusoi huoneilman lämmönsiirtimen kautta tuloilman sekaan ja ilmasekoitus puhalletaan katon myötäisesti huoneeseen. Jäähdytystilanteessa huoneilma kohoaa viileään palkkiin, jossa tuloilmavirtaus indusoi huoneilman lämmönsiirtopatterin kautta palkin sivuille esijäähdytetyn tuloilmavirtauksen sekaan. Lämpöenergia konvektoituu kiertoveteen ja viilennyt ilmayhdiste kulkeutuu huoneeseen samalla tapaa kuin lämmitystilanteessa. Solo-palkin lämmönsiirto kapasiteetti perustuu

myös hieman säteilyyn, mutta pienillä lämpötilaeroilla operoidessa ei säteilylämmönsiirron osuus ole oleellinen.

Tuloilman lämpötilat vaihtelevat kellon- ja vuodenaajasta riippuen. Kesällä toimiston ollessa pois käytöstä, on tarkoitus hyödyntää yöviilennystä sekä jäähdyttää rakennusta energiatehokkaasti. Tällöin sisätiloihin ajetaan ilmankäsittelykoneelta 14 celsiusasteista tuloilmaa. Juuri ennen tilojen käyttöönottoa tuloilman lämpötila nostetaan 20 celsiusasteiseksi, jolloin tuloilman lämpötila on sama, kuin palkissa kiertävän veden lämpötila. Jos yö on ollut lämmin, jatkuu palkin jäähdytysprosessi tehokkaana sisäisen lämpökuormituksen lisääntyessä tilojen käytön alkaessa. Jos yö on ollut viileä, lämmittää palkki tällöin huonetta, kunnes huoneeseen muodostuu jälleen poistettavaa lämpökuormaa ja palkki taas jäähdyttää. Muina kolmena vuodenaikana periaate on sama, mutta menovesi ja tuloilma toimivat eri lämpötiloilla. Työaikojen ulkopuolella toimistossa pidetään vuodenaajan mukainen käyttöajan ulkopuolinen lämpötila. Taulukosta 4 käy ilmi tuloilman lämpötilat sekä veden lämpötilan jäähdytys- ja lämmitysrajat vuodenaajan ja kellonajan mukaan.

TAULUKKO 4. Tuloilman toimintalämpötilat eri vuodenaikoina ja kellonajasta riippuvana. (Solo energiankulutuslaskelmat)

<b>Solo ilmastointipalkin toimintalämpötilat</b>									
Vuodenaika	TALVI			SYKSY/KEVÄT			KESÄ		
Aika (°C)	0-7	7-17	17-0	0-7	7-17	17-0	0-7	7-17	17-0
<b>Tuloilma (°C)</b>	18	22	18	14*	21	18	14	20	-
<b>Lämmitys, vesi (°C)</b>	18	22	18	18	21	18	18	20	-
<b>Jäähdytys, vesi (°C)</b>	22	23	-	21	22	-	20	21	-
*jos Tulko ≤ 14°C, Ttuloilma = 14°C ja jos Tulko ≥ 14°C, Ttuloilma = Tulkoilma									

Matala verkostolämpötila mahdollistaa veden lämmityksen suhteellisen pienellä energialla. Putkistossa ei toimistotiloissa tarvitse olla putkieristystä, koska jäähdytystilanteesakin veden lämpötila on suhteellisen korkea, eikä putkireitti kulje kylmien tilojen lävitse. Veden lämpötila on lähellä rakennuksen sisäistä lämpötilaa, joten lämpöhäviöitä veden kulkiessa putkistossa, ei ole odotettavissa. Sulkuventtiilejä ja linjasäätöventtiilejä lukuun ottamatta muita putkilaitteita ei tarvita.

## 4 TARKASTELU JÄRJESTELMÄN SOVELTUVUUDESTA KOHTEESEEN

Tässä osioissa tarkastellaan Solo-ilmastointipalkkijärjestelmän toimintaa erikseen jäähdytys- ja lämmitystilanteessa. Nämä kaksi tekijää ovat ratkaisevassa asemassa järjestelmän soveltuvuudessa Suomen matalaenergiatoimistoon. Soveltuvuutta määritellään Suomessa sijaitsevan matalaenergiarakennuksen lämmitys- ja jäähdytysmitoitustehon tarpeiden mukaan. Huomioidaan myös kuinka ilmastointipalkit toimivat ilmanvaihdon päätelaitteina ja tutkitaan pysyvätkö tuloilman liikenopeudet sallituilla tasoilla toimistohuoneessa. Matalaenergiatoimiston sisäilmastoa suunnitellessa lähtökohtainen tavoite sisäilmastoluokaksi on S2. Tarkastelussa tuodaan hieman tarkemmin esille sisäilmastoluokkien S1 ja S2 määrittämiä laatukriteereitä. Tarkastelun lopussa pohditaan muun muassa järjestelmän soveltuvuutta äänikriteerien perusteella.

Huomioitavaa on, että jokaisessa hankkeessa on omat erikoisuutensa ja asiansa, jotka vaikuttavat tapauskohtaisesti suunnitteluvaiheeseen. Tällaisia tapauksia varten on olemassa simulointiohjelmia, joilla pystytään laskemaan sisäilmaolosuhteisiin ja lämmitys- ja jäähdytystehon tarpeeseen vaikuttavat tekijät tarkasti. Seuraava tarkastelu pohjautuu Solo-järjestelmän simuloinnista saatuihin arvoihin, matalaenergiatoimistosta hankittuihin tietoihin sekä niiden pohjalta tehtyihin laskelmiin. Laskennassa on käytetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osien ohjeistuksia. Tarkasteluvaiheen päätarkoitustarkoitus on havainnollistaa järjestelmän soveltuvuus mitoittavissa tilanteissa. Tarkasteluun on keksitty karkealle tarkastelulle hankalimmat mahdolliset tilat, joihin jäähdytystä ja lämmitystä matalaenergiatoimistossa sovelletaan.

### 4.1 Matalaenergiatoimistotilojen sisäolosuhteet ja niiden hallinta

Lämpöolojen hallinta on toimistoissa ollut ongelmallista. Rakenteiden vuotavuus, sisäilmaston suunnittelun epähuolellisuus sekä käyttäjien huono opastus ja koulutus talotekniikan käytössä, ovat suurimpia syitä tähän. Sisäilmastopoliittisilla asetuksilla pyritään lisäämään työntekijöiden viihtyvyyttä ja rakennusten energiatehokkuutta. RIL 259-2012 ohjeen (2012, 80) mukaan LVI-tekniikan energiansäästöratkaisuilla pyritään säästämään lämmitys- ja jäähdytysenergiaa, mutta näillä toimenpiteillä vaikutetaan samalla joko lisäävästi tai vähentävästi myös sähköenergian kulutukseen.

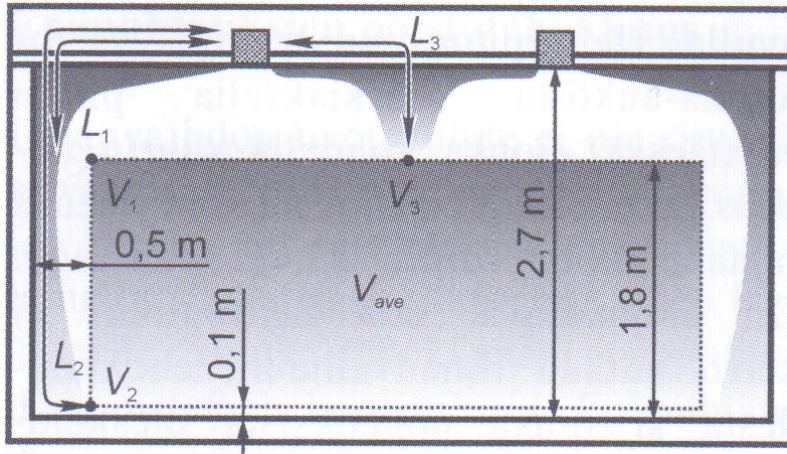
Sisäolosuhteiden tavoitetaso määritellään tilatyypikohtaisesti. Tavoitteessa voidaan viitata Sisäilmastoluokituksen yleisiin tasoihin. Tärkeimmät sisäolosuhteiden parametrit tarkennetaan kuitenkin hankekohtaisesti LVI- ja sähkösuunnittelijan toimesta. Sisäilmastotavoitteena palvelusektorin rakennusten työskentelytiloissa on yleensä sisäilmastoluokituksen 2008 luokan S2 mukaiset olosuhteet (RIL 259-2012 2012,51). S2-luokan sisäilmastotason kriteerit käytiin läpi aiemmin. Sisäolosuhteista voidaan S2-tasolla poiketa kuvan 12 mukaisesti. Toimistorakennuksen sisäilmastoa suunnitellessa tulee ottaa huomioon tilan käyttö. Tämä tarkoittaa sitä, että tiloille asetetaan sen mukaiset lämpötilan ja ilmanvaihdon suunnitteluarvot, kuin on tilan käytön kannalta tarpeellista. Tiloissa ei pidä juurikaan esiintyä lämmityskaudella suunnittelulämpötilaa korkeampia lämpötiloja. Myös tarpeetonta jäähdytystä tulee välttää kesällä.

Sisäolosuhteista huolehtivien järjestelmien tulee toimia energiataloudellisesti ja luotettavasti erilaisissa tilanteissa eri vuodenaikoina ja eri kuormitustilanteissa. Jäähdytysenergian osuus on matalaenergiarakennuksissa suurempi kuin tavanomaisissa rakennuksissa vaipan lämpöhäviöiden merkityksen vähentyessä ja sisäisten kuormien ja käyttöasteen merkityksen lisääntyessä. Jotta myös rakennuksen kokonaisenergiankulutus on hallinnassa, on LVI-järjestelmien häviöihin ja järjestelmien sähköenergian kulutukseen kiinnitettävä erityistä huomiota (RIL 259-2012 2012, 79-80). Sisäolosuhteisiin vaikuttavien järjestelmien suunnittelua ennen olisi hyvä suorittaa tarkat laskelmat ja simuloinnit jäähdytys- ja lämmitystehon tarpeesta. Tarkoilla laskelmilla ja hyvällä suunnittelulla ehkäistään mahdollisesti järjestelmien päällekkäistoiminta ja optimoidaan energiankulutus.

#### **4.1.1 Oleskeluvyöhyke**

Kuvassa 10 havainnollistetaan oleskeluvyöhykkeen rajat. Kuvassa esitetään myös kaksi kattoon asennettua tuloilman päätelaitetta. Päätelaitteista aiheutuvien ilman nopeuksien tarkastelukohdat ovat esitetty V-merkinnällä. Sisäilmastoluokitus 2008 (2009, 5) mukaan oleskeluvyöhykkeen alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1,8 metrin korkeudella lattiasta ja sivupinnat ovat 0,6 metrin etäisyydellä seinistä tai vastaavista kiinteistä rakennusosista. Huonelämpötila mitataan mistä tahansa oleskeluvyöhykkeen kohtaa 1,1m korkeudelta. (Sisäilmastoluokitus 2008 2009, 5)

Sisäilmastoluokituksen S2-luokassa hyväksyttävä poikkeama oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvosta huonetilan keskellä 1,1 m:n korkeudella on  $\pm 1$  °C (Sisäilmastoluokitus 2008 2009, 5). Sisäilmastoluokkien tavoitetasoja korkeammat ilman liikenopeudet aiheuttavat vedon tunnetta oleskeluvyöhykkeelle ja heikentävät ilmanvaihdon toimintaa. Asennettaessa ilmanvaihdon päätelaitteita tiloihin tulee varmistua siitä, etteivät tuloilmasuihkut kohtaa toisiaan tai muita esteitä liian nopeasti.



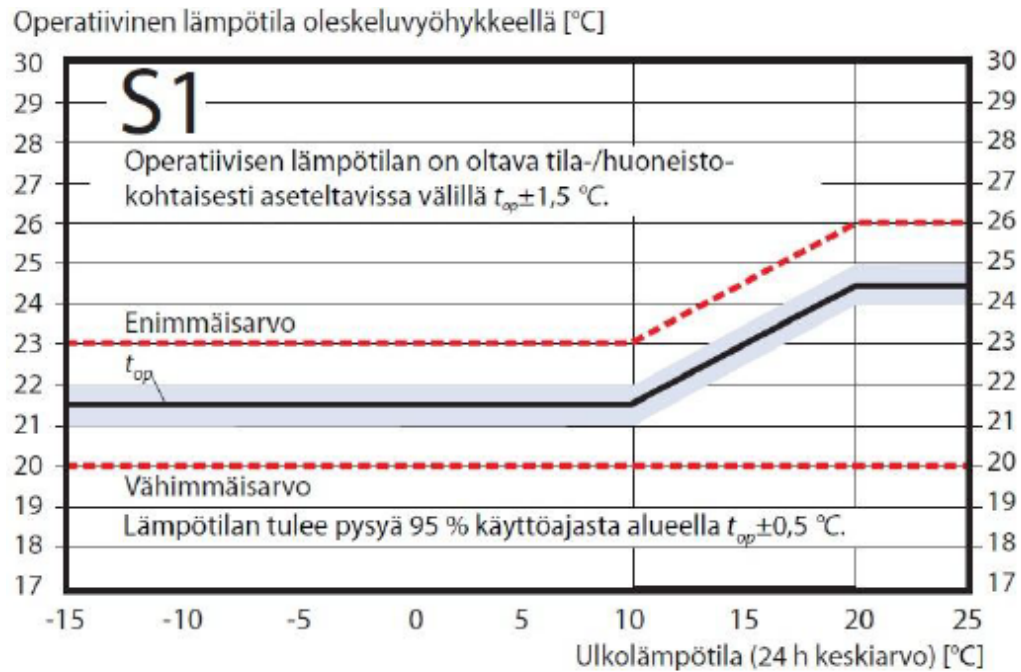
KUVA 10. Oleskeluvyöhykkeellä mitataan lämpöoloja ja ilman liikenopeuksia (Seppänen. 2004, 140). Kuvassa on virhe. Etäisyyden seinästä pitäisi olla 0,6m, eikä 0,5m.

#### 4.1.2 Operatiivinen lämpötila

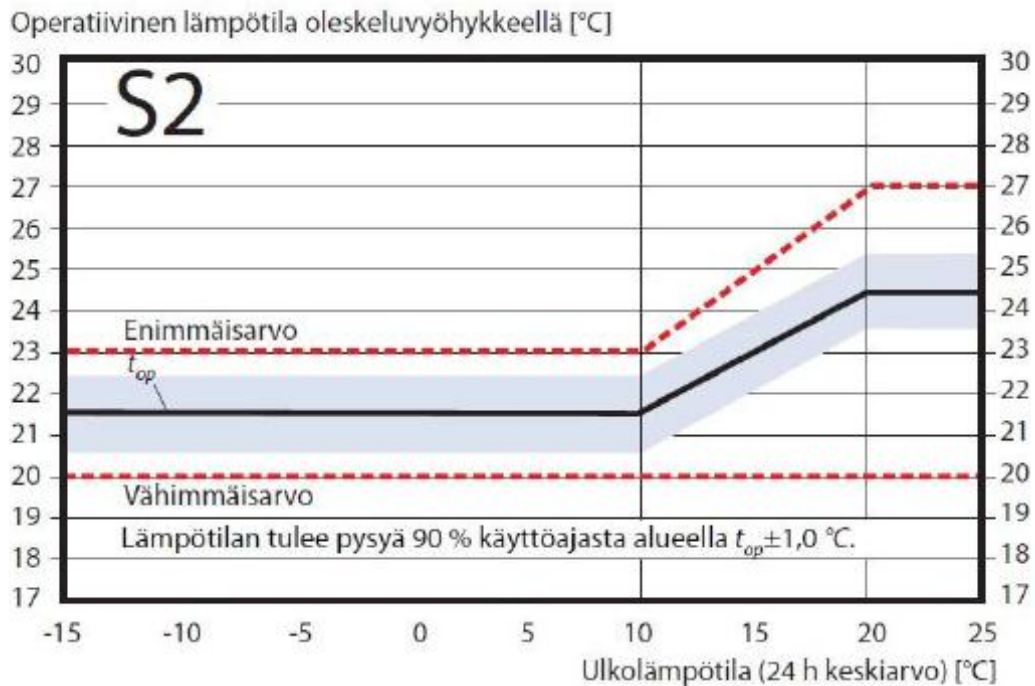
Operatiivisella lämpötilalla tarkoitetaan huoneilman lämpötilan ja ihmistä ympäröivien pintojen säteilylämpötilojen keskiarvoa. Operatiivinen lämpötila kuvastaa huoneilman lämpötilasta poikkeavien pintalämpötilojen vaikutusta ihmisen lämmöntunteeseen. Operatiivinen lämpötila voi poiketa huomattavasti huoneilman lämpötilasta esimerkiksi huoneissa, joissa on suuria ikkunoita tai joiden alla on lämmittämättömiä ilmatiloja. (Asumisterveysohje 2003, 10)

Lämpöolosuhteiden hallitseminen Suomen vaihtelevissa ulkolämpötiloissa on haasteellista. Talviaikaan tilat tarvitsevat runsaasti lämmittämistä ja kesäaikaan tilan lämpötila nousee helposti yli tavoitearvojen ilman koneellista jäädytystä. Kuvissa 10 ja 11 ulkolämpötilalla  $t_u$  tarkoitetaan ulkoilman 24 tunnin liukuvaa keskiarvoa lähimmällä sääha-

vaintoasemalla. Operatiivinen lämpötila  $t_{op}$  tarkoittaa lämpötilaa oleskeluvyöhykkeellä.  
(Sisäilmastoluokitus 2008 2009, 5)



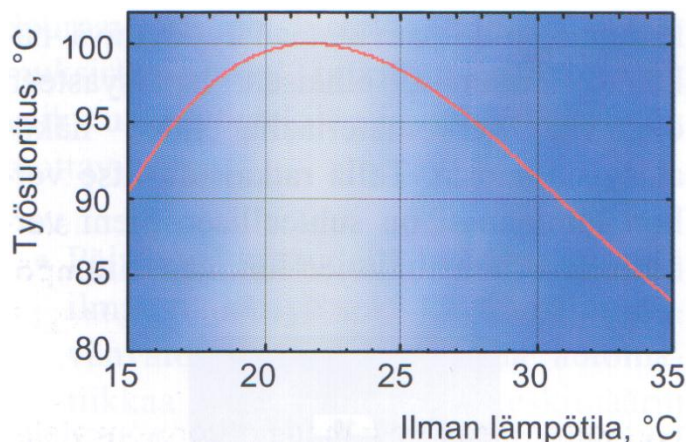
KUVA 11. Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot sisäilmaluokassa S1. Tummennettu kuva kuvaa tavoitelämpötilan ja sisäilmastoluokan sallitun poikkeaman tavoitearvoaluetta. (Sisäilmastoluokitus 2008 2009, 6)



KUVA 12. Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot sisäilmaluokassa S2. Tummennettu kuva kuvaa tavoitelämpötilan ja sisäilmastoluokan sallitun poikkeaman tavoitearvoaluetta. (Sisäilmastoluokitus 2008 2009, 6)

### 4.1.3 Lämmitys ja jäähdytys

Työterveyslaitoksen työpiste artikkelin (2012,1) mukaan toimistotyö on luokiteltu kevyeksi istumatyöksi ja kevyelle istumatyölle on luokiteltu lämpötilan ohjearvoksi 21–25 celsiusastetta. Ihmisen iho on elin, joka aistii lämpötilan ja siinä tapahtuvan vaihtelun. Ihminen ei itse kevyttä työtä tehdessään aiheuta lämpötilan nousua iholleen, joten huoneilämpötila pitää asettaa sen mukaiseksi, etteivät lämpöviihtyvyys ja työn tehokkuus kärsi (kuva 13). Taulukossa 5 kuvataan toimistossa käytettävien lämpöoloihin viittaavat suunnitteluarvot.



KUVA 13. Aurinkosuojaus -kirjan (2011, 9) mukainen kuva toimistotyössä suoriutumista huoneilman lämpötilasta riippuvana. (Seppänen. 2006)

TAULUKKO 5. Toimitilojen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien suunnitteluarvoja luokissa S1 ja S2. (Sisäilmaluokitus 2008 2009, 13)

Suure	Yksikkö	S1	S2
Jäähdytysjärjestelmän suunnitteluarvo	°C	25	25
Lämmitysjärjestelmän suunnitteluarvo	°C	21.5	21.5
Lämpötilan tilakohtainen säädettävyys, talvi	°C	20...23	-
Lämpötilan tilakohtainen säädettävyys, kesä	°C	23...25	-

Matalaenergiatoimitilojen ohjeessa (RIL 259-2012) on hyvin jäsenneilty myös jäähdytykseen ja lämmitykseen liittyviä pääkohtia. Seuraavaksi viitataan niihin, jotka liittyvät mielestäni oleellisesti matalaenergiatoimiston lämmitykseen ja jäähdytykseen.

Matalaenergiatoimitilojen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien suunnittelussa tavoitteena ovat alhaiset järjestelmien häviöt, optimoitu verkostomitoitus sekä hyvä säädettävyys

(RIL 259–2012 2012, 81). Verkostohäviöiden pienentämiseen käytetään matalalämpötilaista lämmitysjärjestelmää ja mahdollisimman korkeaan lämpötilaan perustuvaa jäähdytysjärjestelmää. Tällöin energiantuotannon hyötysuhde on korkea, verkoston häviöt ovat mahdollisimman alhaiset ja säädettävyys on helpompaa (RIL 259–2012 2012, 84). Lämmitys- ja jäähdytystehojen mitoituksessa tulee huomioida tehontarpeen samanaikaisuus. Kaikissa tiloissa ei välttämättä ole yhtäaikaisesti maksimi lämmitystarve ja sisäisiä kuormia voidaan pitää tehoa pienentävinä tekijöinä. Kaikissa tiloissa ei myöskään välttämättä ole samanaikaisesti maksimi jäähdytystarvetta eriasteisten sisäisten ja ulkoisten lämpökuormien vuoksi. (RIL 259-2012 2012, 84)

On huomioitava, että mitoitusasteen mukainen tilanne etenkin lämmitysjärjestelmissä on erittäin harvinainen, eli esiintymisen todennäköisyys on noin kerran 20-30 vuodessa ja tilanne on silloinkin lyhytaikainen. Myös jäähdytyksen huipputehoa tarvitaan vain muutamana päivänä vuodessa, sillä mitoitusolosuhteet ylittyvät keskimäärin 10 vrk vuodessa. (RIL 259-2012 2012, 83-84)

#### 4.1.4 Ilmanvaihto

Hyvä sisäilmaston laatutaso edellyttää säännöllistä ja riittävää ilmanvaihtoa, jonka mitoitus ja käyttö riippuvat tilojen käyttöasteesta ja kuormituksesta. Kun matalaenergiarakentaminen edellyttää rakennukselta hyvää tiiviyttä ja ilmanpitävyyttä, on luonnollinen ilmanvaihtuvuus rakennuksen vaipan läpi estetty (RIL 259-2012 2012, 96). Rakennusmääräyskokoelman sisäilmastoluokitus määrittelee koneellisella ilmanvaihdolla toteutetulle toimistorakennukselle sisäilmastoluokka- ja tilatarkoituksellisesti mitoitusarvot ulkoilmavirroille (taulukko 6). Taulukossa 7 esitetään ilman liikenoisuuden tavoitearvot oleskeluvyöhykkeellä.

TAULUKKO 6. Toimitilojen ulkoilmavirtojen mitoitusarvot normaalissa käyttötilanteessa. Sisäilmastoluokituksen luokat S1 ja S2. (Sisäilmaluokitus 2008 2009, 14)

Tila	Lattia-ala m <sup>2</sup> /hlö	S1-luokka		S2-luokka	
		dm <sup>3</sup> /s/hlö	dm <sup>3</sup> /s/m <sup>2</sup>	dm <sup>3</sup> /s/hlö	dm <sup>3</sup> /s/m <sup>2</sup>
Toimitila, normaali tilatehokkuus	12	16	1.5	13	1.5
Toimitila, suuri tilatehokkuus	8	14	2.0	11	1.5
Neuvotteluhuone	3	12	4.0	9	4.0

TAULUKKO 7. Ilman liikenopeuden tavoitearvot oleskeluvyöhykkeellä. Sisäilmasto-  
luokituksen luokat S1 ja S2. (Sisäilmaluokitus 2008 2009, 6)

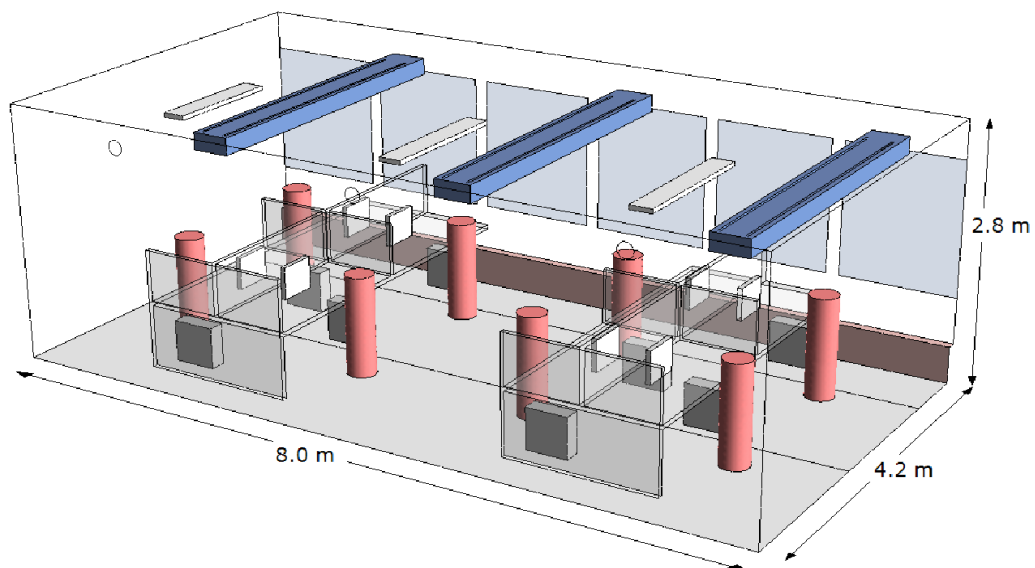
	S1-luokka	S2-luokka
$t_{\text{ilma}} = 21 \text{ °C}$	< 0,14 m/s	< 0,17 m/s
$t_{\text{ilma}} = 23 \text{ °C}$	< 0,16 m/s	< 0,20 m/s
$t_{\text{ilma}} = 25 \text{ °C}$	< 0,20 m/s	< 0,25 m/s

## 4.2 Toimistomalli ja mitoitusvahot

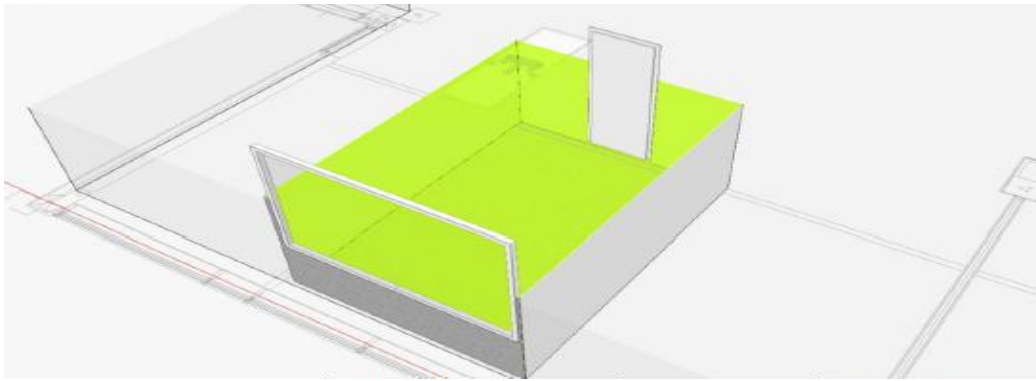
Tässä osiossa tehdään laskennan kannalta oleelliset toimistotilamallinnukset ja käydään läpi jäädytys- ja lämmitystehon mitoittaviin tekijöihin.

### 4.2.1 Tyypillinen toimistorakennus

Toimistot ovat työskentelytiloja, joissa on viimeaikoina painotettu organisaatiolähtöistä tuottavuuden tehostamista myös tilasuunnittelun keinoin. Toimistorakennuksessa on yleensä käytössä avotoimistotiloja, toimistohuoneita ja neuvottelutiloja. Toimiston sisäilma- ja lämpöolosuhteiden käsittelyssä käytetään vertailupohjana kahdeksan hengen avotoimistomoduulia (kuva 14) sekä pientä yhden hengen toimistohuonetta (kuva 15).



KUVA 14. Avotoimistomoduuli 33,6 m<sup>2</sup> (4,2m × 8,0m × 2,8m.) (Koskela 2009, 5).  
Moduulin avulla selvitetään avokonttorin lämmitys- ja jäädytystehon tarve. Moduuli-  
malli sijaitsee rakennuksen kulmassa ja ylimmässä kerroksessa.



KUVA 15. Pieni yhden hengen toimistohuone, 10 m<sup>2</sup> (D3 laskentaopas 2012, 25). Huoneensyvyys 3,7m, leveys 2,7m ja korkeus 2,8m. Kuvasta poiketen huone tulee laskuissa huomioiden sijaitsemaan rakennuksen kulmassa ja ylimmässä kerroksessa.

Yhden hengen toimistohuoneen muodoissa on eroja, mutta voidaan ajatella, että seinien pituudet ovat 3,7m x 2,7m ja pinta-ala 10 m<sup>2</sup>. Kuvan 15 huone on pieni ja sopiikin hyvin vastapainoksi avokonttorin tarkastelun ohelle.

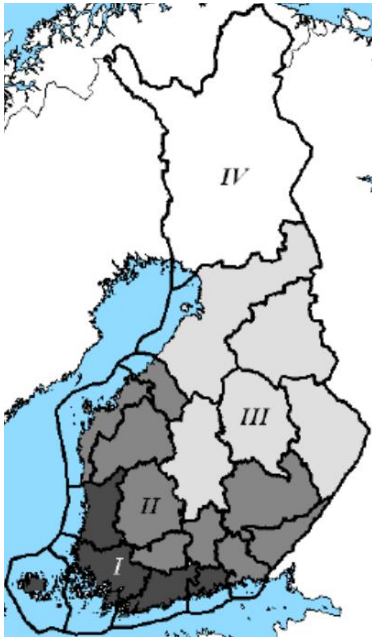
Kuvasta 16 havaitaan, että toimistorakennus muodostuu erilaisista tiloista. Tyypillisessä toimistorakennuksessa on avokonttoreiden, pienempien toimistohuoneiden, taukotilojen, sosiaalitilojen ja muiden vastaavien lisäksi neuvotteluhuone tai useampia. Neuvotteluhuoneet eroavat usein muista toimiston työkäytössä olevista tiloista henkilötiheyden ja -määrän osalta sekä huoneessa käytettävän sähkölaitteikannan aiheuttaman suuremman lämpökuorman vuoksi. Neuvotteluhuoneen keskimääräistä lattiapinta-alaa on vaikea määrittellä, mutta sen voisi asettaa samankokoiseksi kuin tyypillinen avotoimistomodulli, eli 33,6 m<sup>2</sup>. Neuvotteluhuoneille on ominaista, että tuloilmavirtaus ja jäähdytysteho määräytyvät läsnäolon ja tilan käyttötarpeen mukaan. Jäähdytystä ja tuloilmavirtaa yleensä ohjataan huoneen lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden mukaan.

Huonekonttorit										Neuv.												
Avokonttori										Sos. tilat	Avokonttori											
										Neuv.	Huonekonttorit											

KUVA 16. Esimerkkitoimistorakenne nykyaikaisessa matalaenergiarakennuksessa (Kurnitski 2009, 9). Kuva antaa viitteitä toimistorakennuksen pohjaratkaisusta.

#### 4.2.2 Jäähdytys- ja lämmitystehoon vaikuttavat tekijät

Suomi jaetaan lämmitystehon tarpeeseen vaikuttavan ulkolämpötilan mukaan neljään vyöhykkeeseen (kuva 17). Vyöhykkeiden jäähdytystehon tarve vaihtelee hiukan, mutta mitoituslammannetta tarkastellaan Etelä-Suomen osalta, jolloin jäähdytystehon riittävyys muissakin osissa Suomea toteutuu.



KUVA 17. Suomi jaetaan mitoituslämpötilojen osalta neljään vyöhykkeeseen (D5 2007, 56). Jäähdytystehon tarvetta tarkastellaan vyöhykkeen 1 mukaan ja lämmitystehontarvetta kaikkien vyöhykkeiden osalta.

TAULUKKO 9. Mitoittavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä (D5 2007, 56). Mitoittavia ulkolämpötiloja käytetään, kun lasketaan matalaenergiatoimiston tilamallinnuksille vyöhykekohtaiset lämmitystehon tarpeet.

Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila, °C	Lämmityskauden keskimääräinen ulkoilman lämpötila, °C
I	-26	+5	+1
II	-29	+4	0
III	-32	+2	-1
IV	-38	0	-5

Jäähdytysjärjestelmää mitoittaessa jäähdytystehon maksimitarve lasketaan sellaiselle tilalle, johon muodostuu oletetusti rakennuksen suurin ylitämpö. Toimiston jäähdytystehon tarpeen laskemiseksi tarvitaan tiedot sisäisistä ja ulkoisista lämpökuormista. Si-

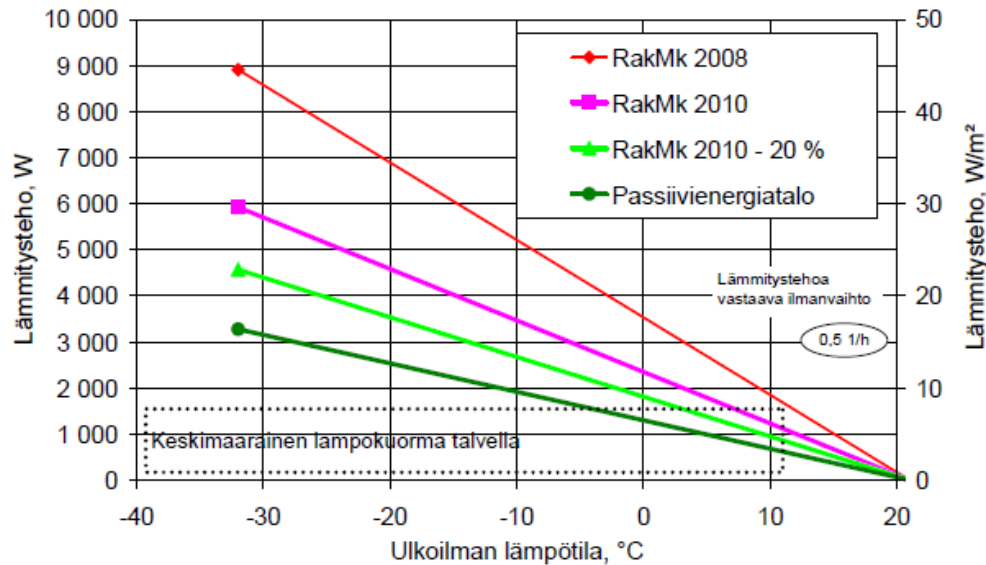
säisiä kuormia kehittävät työntekijät, valaistus sekä sähkölaitteet. Nykyaikaisilla valaisinratkaisuilla saadaan pienennettyä valaisimien lämpökuormaa.

Ulkoiset lämpökuormat aiheutuvat rakennuksen ulkopuolella vallitsevasta säästä. Jäähdytystarpeen mitoittava sää on ulkolämpötilan ja auringon säteilyn yhdistelmä, mikä antaa tietyllä todennäköisyydellä esiintyvän maksimitehon (Seppänen 2004, 189). Ulko- ja sisälämpötilan erotuksesta aiheutuu lämpövirtaa sisälle. Tämä ilmiö on kuitenkin vähäistä ja hyvällä yötuuletuksella saadaan vaikutus minimoitua. Auringon säteilystä aiheutuva ylimääräinen lämpökuorma, varsinkin kesäaikaan, on merkittävä. Ikkunoiden koolla ja mallilla voidaan pienentää auringon säteilystä aiheutuvaa jäähdytystehon tarvetta. REHVA Aurinkosuojaus -ohjekirjan (2011, 22) mukaan auringon säteilystä aiheutuvaan rakennuksen vaadittavaan jäähdytystehontarpeeseen vaikuttaa enemmän rakennuksen suunta sekä suojausmenetelmä kuin sen maantieteellinen sijainti. Aurinkosuojauksella voidaan oikein toteutettuna saavuttaa pienemmät jäähdytyskustannukset toimistossa.

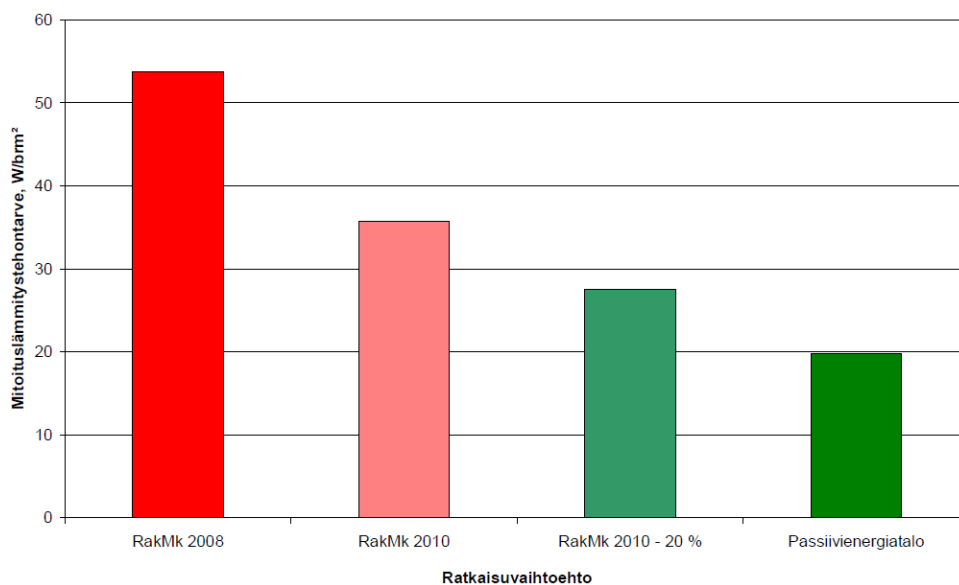
Fläkt Woods Oy:n Kaj Karumaan (s.20) mukaan nykyaikaisissa rakennuksissa toimistohuoneen jäähdytystehontarve on 50–70 W/m<sup>2</sup>. Jäähdytystehontarve on todellisuudessa hieman pienempi kuin mitä laskennallisella menetelmällä yleensä osoitetaan, koska rakenteisiin varastoituu jonkun verran lämpöä ja poistettavan lämpökuorman osuus pienee. Tarkoissa tehontarvelaskelmissa tilan lämpökuormille lasketaan lämmityksessä hyödynnettävä osuus, jolloin jäähdytysteho asetetaan pienemmäksi.

Lämmitysteho lasketaan huonekohtaisesti ja lämmönluovuttimet valitaan sen mukaan. Lämmitystehontarpeeseen vaikuttaa rakennuksen maantieteellinen sijainti ja rakenteiden lämmönpitävyys. Ulkoilman mitoituslämpötilat (taulukko 9) ovat lämmityskauden huippulukemia. Lämmitystehon tarpeeseen vaikuttaa oleellisesti rakennuksen lämpöhäviöt. Rakentamismääräyskokoelman osassa D5 esitetään lämpöhäviölaskennan toteutus. Lämpöhäviölaskennassa otetaan huomioon rakenteiden lämmönpitävyydet, ilmanvuotoluku, ulkoilman mitoituslämpötila ja ilmaston lämpöhäviö. Toimistotilan karkeahkossa lämpöhäviölaskennassa voi ilmaston lämpöhävikin jättää huomiotta, koska hyvien lämmön talteenottolaitteiden yleistyessä, voidaan olettaa rakennuksen sisäisten lämpökuormien peittävän ilmanvaihdon lämpöhäviön.

METOP- matalaenergiatoimistotalon mitoituslämpöhäviöt vyöhykkeellä 1 olivat  $27\text{W}/\text{m}^2$  eli noin  $300\text{W}$  toimistohuonetta kohti. (Pietarinen & Saari 1999, 17). Nykyajan matalaenergiarakennusta suunniteltaessa tyypillisesti käytetään tarkempaa lämmitystehon simulointia. Lämpöhäviöt ja rakenteiden kylmäsillat ovat pienentyneet paksun vaipparakenteen myötä, joten sisäinen lämpökuorma saatetaan tarkemmissa laskelmissa huomioida lämmitystehon tarvetta pienentävänä tekijänä. Matalaenergiarakennuksen lämmitystehon tarpeiden tarkasteluun saadaan hieman suuntaa kuvioista 1 ja 2.



KUVIO 1. RakMk 2010-20% kuvastaa tämän hetken matalaenergiarakennusta (Saari & Laine 2009, 32.). Lämmitystehoa kuvaavat viivat ulottuvat vyöhykkeen 3 mitoituslämpötilaan  $-32\text{°C}$  asti.



KUVIO 2. Mitoituslämmitystehon tarve esitetty palkkikuvaajana mitoituslämpötilalla  $-32\text{°C}$ . RakMk -20% kuvastaa matalaenergiarakennusta. (Saari & Laine 2009, 13)

### 4.2.3 Toimistomallin ominaisuudet

Toimistomallin rakenteellisina ominaisuuksina käytetään Helsingin kaupungin matala-energiselle toimitilarakentamiselle asettamia suunnitteluarvoja (2011, 5). Taulukon 10 mukaisilla arvoilla lasketaan lämmön siirtyminen rakenteiden läpi. Pohjois-Suomen matalaenergiarakentamisen suunnitteluarvot saattavat poiketa Etelä-Suomen arvoista, mutta toimistomallin tarkastelussa käytetään koko Suomen osalta taulukkoa 10. Tehontarpeiden laskennassa on käytetty taulukon 12 laskennallisten arvojen lisäksi toimistomallin rakenteellisiä mittoja sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 laskentaopasta. Lämpöhäviö- ja tehontarvelaskennan ohjeistajan toimi Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D5.

TAULUKKO 10. Matalaenergiatoimitiloille asetetut suunnitteluohjearvot taulukoituna. (Helsingin kaupungin palvelurakennusten matalaenergiarakentamishoje 2011, 5)

Matalaenergiatoimisto		
Rakenne	U-arvot	Vaipan ilmanvuotoluku n50, 1/h = 0,8
<b>Alapohja</b>	0,14 W/m <sup>2</sup> K	Ikkunoiden säteilyläpäisevyys g-arvo = alle 0,4 (0,36)
<b>Ulkoseinä</b>	0,14 W/m <sup>2</sup> K	
<b>Yläpohja</b>	0,19 W/m <sup>2</sup> K	Ikkunoiden ilmanvuotoluku L /kiinteät = alle 0,12m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h
<b>Ikkunat</b>	0,9 W/m <sup>2</sup> K	
<b>Ulko-ovet</b>	0,5 W/m <sup>2</sup> K	Ikkunoiden ilmanvuotoluku L /avattavat alle = 0,15m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h
g-arvo = ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin		

TAULUKKO 11. Matalaenergiatoimiston tilamalleille lasketut ominaisarvot.

Matalaenergiarakennus	Lämpövirtealaskennan lähtötiedot						
	ulkoseinä	lattia	tilavuus	Ikkunat	ulkoseinä	yläpohja	vuotoilma
	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(dm <sup>3</sup> /s)
<b>Avokonttori (moduuli)</b>	12,2	33,6	94,1	13,8	20,4	33,6	0,83
<b>Toimistohuone</b>	6,4	10,0	28,0	4,1	3,5	10,0	0,25
<b>Neuvotteluhuone</b>	12,2	33,6	94,1	13,8	20,4	33,6	0,83
Toimiston ikkunapinta-ala = 41% lattiapinta-alasta. ( D3 laskentaopas 2012, 24 )							

Toimistotilan mallinnuksessa on otettu huomioon sijainniltaan lämmitys- ja jäähdytys-teknisesti haastavimmat rakennuksen alueet. Toimistorakennuksessa tällainen tila sijaitsee ylimmässä kerroksessa ja mahdollisesti heti yläpohjan alapuolella. Lisäksi tila sijaitsee rakennuksen kulmassa, jolloin on mahdollisimman paljon ulkoilman vastaista seinäalaa.

#### 4.2.4 Toimistomallin jäähdytystehon tarpeen arviointi

Mallitoimiston sisäisten lämpökuormien arvioinnissa käytetään Sisäilmastoluokitus 2008 määrittämiä laskennallisia arvoja (taulukko 12). Suomen rakentamismääräyskokoelma D5 toimi ohjeistuksena lasketuissa rakenteiden läpi tulevan lämpökuorman (taulukko 13) ja auringon säteilystä (yhtälöt 1-2) aiheutuvan lämpökuorman laskennassa.

TAULUKKO 12. Toimistotilojen käyttöprofiili ja laskennalliset sisäiset lämpökuormat. (Sisäilmastoluokitus 2008, 12)

Rakennus/tila	Kellonaika	Käyttöaika		Henkilötiheys	Käyttöaste	Valaistus	Laitteet	Ihmiset
		h/vrk	vrk/vko	m <sup>2</sup> /hlö		W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>
Toimistotilat	07:00-18:00	11	5	12	0.55	12	15	6
Neuvottelutilat	08:00-17:00	9	5	3	0.6	12	18..60	25

Taulukon 12 mukaan saadaan sisäisten lämmönlähteiden aiheuttama jäähdytystehontarve. Ihmisistä, valaistuksesta ja laitteista saadaan sisäisille lämpökuormille yhteenlaskettu lämpökuorma toimistotiloille 33W/m<sup>2</sup> ja neuvottelutiloille 55W/m<sup>2</sup>-97 W/m<sup>2</sup>.

TAULUKKO 13. Toimistomallin lämpökuorma rakenteiden läpi.

VYÖHYKE 1	Lämpökuorma sisälle mitoitustilanteessa					
	ulkoseinä	ikkuna	yläpohja	vuotoilma	Yhteensä	teho/pinta-ala
Jäähdytystilanne	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	(W/m <sup>2</sup> )
Avokonttori (moduuli)	14,3	62,0	15,1	5,0	96,4	2,9
Toimistohuone	9,7	18,5	4,5	1,5	34,1	3,4
Neuvotteluhuone	14,3	62,0	21,2	5,0	96,4	2,9
Huoneen jäähdytyksen suunnittelulämpötila 25°C, ulkoilma 30°C						

Taulukon 13 mukaan lisätään jäähdytystehon tarpeeseen rakenteista aiheutuva lämpökuorma 2,9 W/m<sup>2</sup>. Kuten aiemmin mainittiin, ei rakenteiden läpi kulkeutuvaa lämpökuormaa tarvitse välttämättä huomioida, jos käytetään hyväksi järkevästi toteutettua yötuuletusta. Mallitoimiston laskennassa se on kuitenkin mukana, koska laskelmat ovat teoreettisia ja kuvaavat ääriolosuhteita.

Yhtälön (1) mukaan lasketaan auringon säteilystä avotoimistomoduliin (33.6 m<sup>2</sup>) kohdistuva lämpöteho. Yhtälön arvot ja laskutapa perustuvat Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 (2007, 42-46) osaan. Tilanne on kuvattu Etelä-Suomen kesäkuulle ikkunat etelään suunnattuina.

$$Q_{aur} = \Sigma G_{pystypinnan\ säteily} \times F_{läpäisy} \times A_{ikk} \times g \quad (1)$$

$Q_{aur}$  = Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon

säteilyenergia = kWh/kk

$G_{säteily}$  = Pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia

pinta-alayksikölle = 117,8 kWh/(m<sup>2</sup>kk)

$F_{läpäisy}$  = Säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin = 0,75

$A_{ikk}$  = Ikkuna-aukon pinta-ala (kehys- ja karmirakenteineen) = 13,8m<sup>2</sup>

$g$  = Valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin = 0,36

$$Q_{aur} = 117,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{kk}) \times 0,75 \times 13,8 \text{ m}^2 \times 0,36 = 438,9228\text{kWh}/\text{kk}$$

Yhtälössä (2) muutetaan auringon säteilyenergia tehoksi lattiapinta-alaa kohden.

$$438,9228\text{kWh}/\text{kk} \times 1000 / 720\text{h} = 609,615\text{W} \approx 610\text{W} \quad (2)$$

(Kesäkuussa 30vrk  $\Rightarrow$  30vrk  $\times$  24h/vrk  $\Rightarrow$  720h)

$$\Rightarrow 609,615\text{W} / 33,6\text{m}^2 = 18,143\text{W}/\text{m}^2 \approx 18,1\text{W}/\text{m}^2$$

Auringon säteilystä aiheutuva lämpökuorma 18,1 W/m<sup>2</sup>. Säteilykuorma laskettiin avoimistomodulin ikkunapinta-alan mukaan, mutta säteilyteho lattianeliötä kohden on sama myös toimistohuoneissa. Lasketaan lämpökuormat yhteen ja saadaan tiloille taulukon 14 mukaiset jäähdytystehontarpeet.

TAULUKKO 14. Tilojen jäähdytystehontarpeet

VYÖHYKKEET 1-4	Jäähdytystehontarve	
	lattianeliötä kohden	koko pinta-alaa kohden
Avokonttori (33,6 m <sup>2</sup> )	54 W/m <sup>2</sup>	1814W
Toimistohuone (10,0 m <sup>2</sup> )	54,5 W/m <sup>2</sup>	545W
Neuvotteluhuone (33,6 m <sup>2</sup> )	76...118 W/m <sup>2</sup>	2554...3965W

#### 4.2.5 Toimistomallin lämmitystehon tarpeen arviointi

Mitoitustilanteen avotoimistomoduuli, toimistohuone sekä neuvotteluhuone sijaitsevat lämmitystehon tarkastelun kannalta vaativimmissa osissa rakennusta. Edellä esitetyissä taulukoissa 10 ja 11, on lämpöhäviön tehon määrittämiseen tarvittavat tiedot. Lämpöhäviöt on laskettu Suomen rakentamismääräyskokoelma D5:den (2007, 18-21) mukaisella tavalla.

TAULUKKO 15. Lämmitystehontarve vyöhykkeellä 1.

<b>VYÖHYKE 1</b>	Lämpöhäviöt mitoitustilanteessa -26°C					
<b>Matalaenergiarakennus</b>	ulkoseinä	ikkuna	yläpohja	vuotoilma	Yhteensä	teho/pinta-ala
Lämmitystilanne	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	(W/m <sup>2</sup> )
<b>Avokonttori (moduuli)</b>	135,6	588,9	143,6	47,7	916	27,3
<b>Toimistohuone</b>	91,9	175,3	42,8	14,2	324	32,4
<b>Neuvotteluhuone</b>	135,6	588,9	143,6	47,7	916	27,3

TAULUKKO 16. Lämmitystehontarve vyöhykkeellä 2.

<b>VYÖHYKE 2</b>	Lämpöhäviöt mitoitustilanteessa -29°C					
<b>Matalaenergiarakennus</b>	ulkoseinä	ikkuna	yläpohja	vuotoilma	Yhteensä	teho/pinta-ala
Lämmitystilanne	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	(W/m <sup>2</sup> )
<b>Avokonttori (moduuli)</b>	144,1	626,1	152,7	50,7	974	29,0
<b>Toimistohuone</b>	97,7	186,3	45,5	15,1	345	34,5
<b>Neuvotteluhuone</b>	144,1	626,1	152,7	50,7	974	29,0

TAULUKKO 17. Lämmitystehontarve vyöhykkeellä 3.

<b>VYÖHYKE 3</b>	Lämpöhäviöt mitoitustilanteessa -32°C					
<b>Matalaenergiarakennus</b>	ulkoseinä	ikkuna	yläpohja	vuotoilma	Yhteensä	teho/pinta-ala
Lämmitystilanne	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	(W/m <sup>2</sup> )
<b>Avokonttori (moduuli)</b>	152,7	663,3	161,8	53,7	1031	30,7
<b>Toimistohuone</b>	103,5	197,4	48,2	16,0	365	36,5
<b>Neuvotteluhuone</b>	152,7	663,3	161,8	53,7	1031	30,7

TAULUKKO 18. Lämmitystehontarve vyöhykkeellä 4.

<b>VYÖHYKE 4</b>	Lämpöhäviöt mitoitustilanteessa -38°C					
<b>Matalaenergiarakennus</b>	ulkoseinä	ikkuna	yläpohja	vuotoilma	Yhteensä	teho/pinta-ala
Lämmitystilanne	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	(W/m <sup>2</sup> )
<b>Avokonttori (moduuli)</b>	169,8	737,7	179,9	59,7	1147	34,1
<b>Toimistohuone</b>	115,1	219,6	53,6	17,8	406	40,6
<b>Neuvotteluhuone</b>	169,8	737,7	179,9	59,7	1147	34,1

### 4.3 Solo-palkin tehon laskenta ja kuvaajat

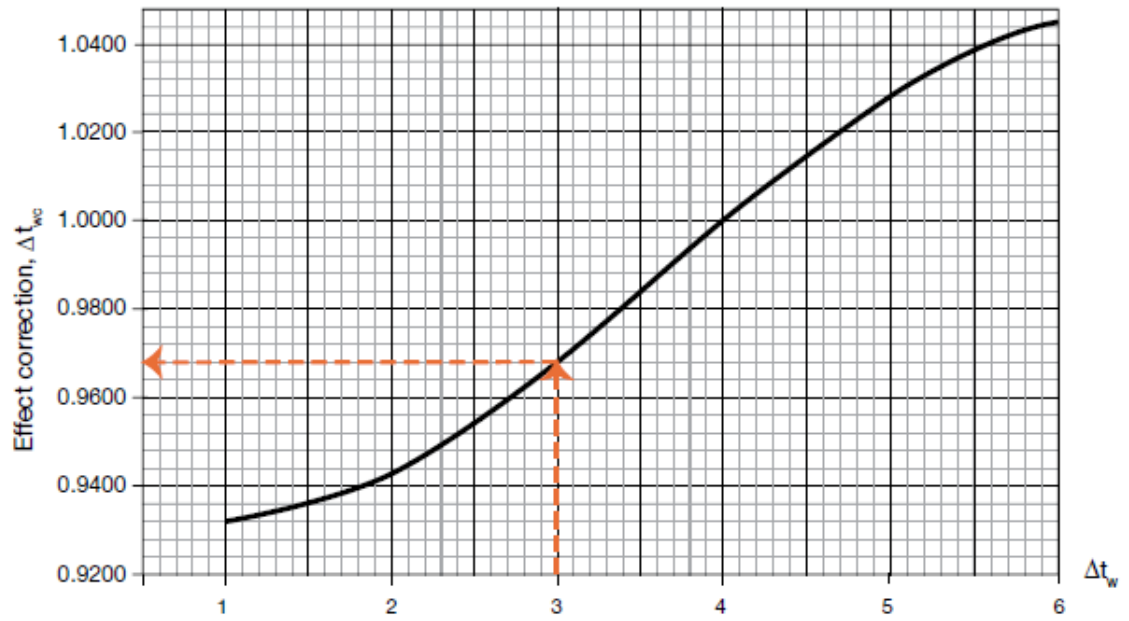
Kun määritetään lämpöoloja hallinnoivan ilmastointipalkin lämmitys- tai jäähdytystehoa, pitää laskea lämmönsiirtopinnasta ja tuloilmasta saatavat tehot. Lämmönsiirtopinnan teho muodostuu vesitoimisen lämmönsiirtimen ominaisuuksien mukaan. Ominaisuuksiin vaikuttaa siirtimen veden lämmönsiirtokerroin, siirtimen pinta-ala sekä lämpötilaero huoneeseen nähden. Tuloilmasta saatava teho voidaan laskea kun tiedetään huoneen ja tuloilman lämpötilaero sekä ilman ominaisuus huonelämpötilassa. Ilmastointipalkin lämmönsiirtopinnan teho lasketaan tarkemmin sitä valmistavan yrityksen testeissä. Lämmönsiirto- ja kokonaistehon määrittämiseen on Solo-palkilla valmiiksi työstetyt työkalut, joten niitä käytetään tehoarvojen määrittämisessä.

Kuviot 3-5 ovat Solo laskentaoppaan kuvaajia, joita käyttämällä lasketaan palkin aktiivisen pituuden lämmönsiirtopinnan tehot. Kuvio 6 esittää 3-metrinen Solo-palkin teho-kapasiteetin ja hetkellisen tehon huonelämpötilasta riippuen.

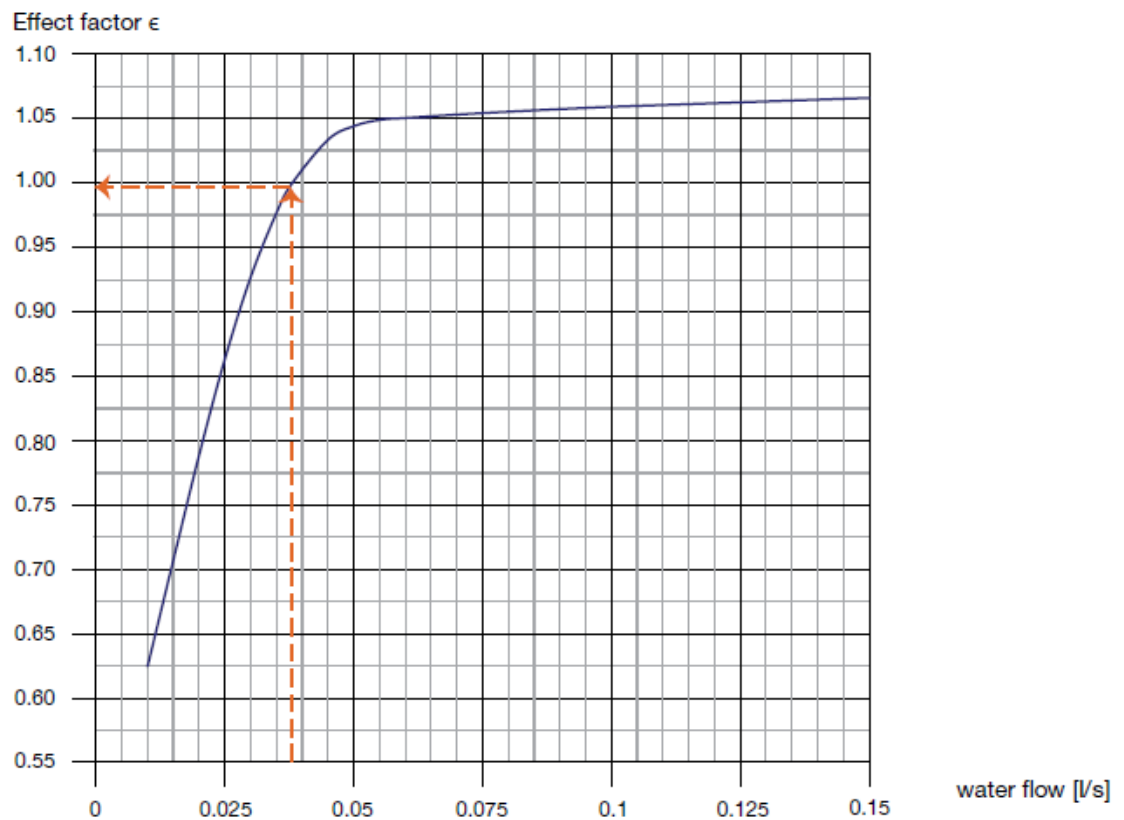


KUVIO 3. Tehovaikutus aktiivista palkkipituutta kohden. (Solo tuote-esite)

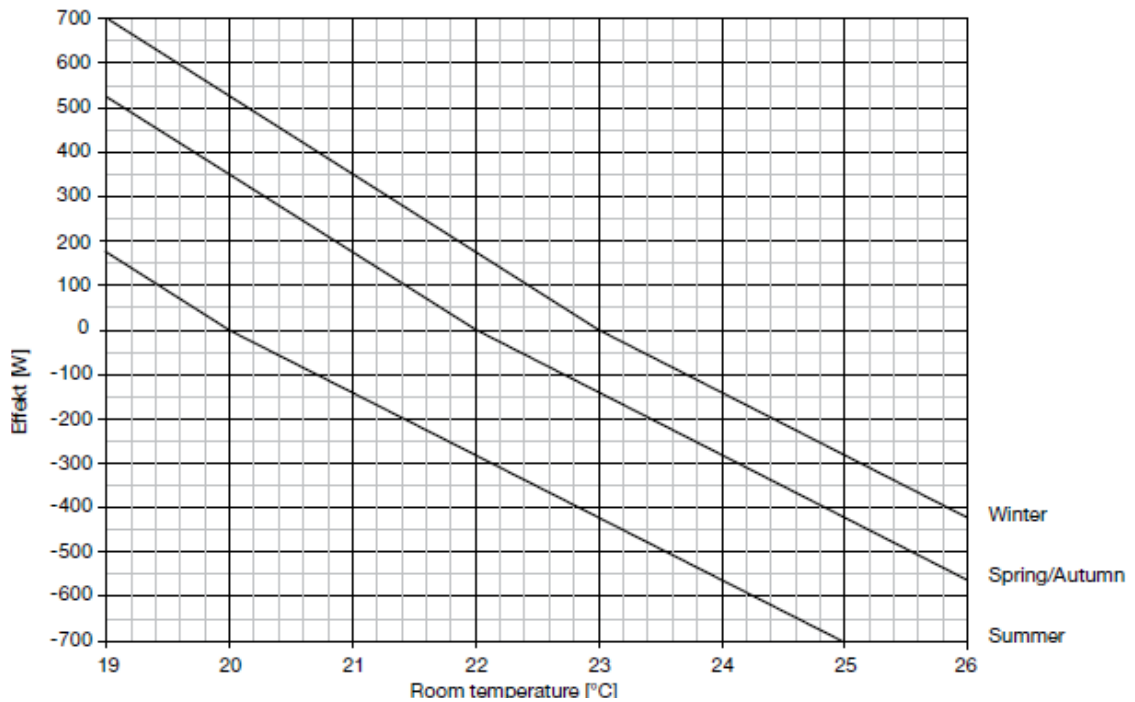
Vesivirta on järjestelmässä vakio, mutta suunnitteluvaiheessa sitä muuttamalla voi vaikuttaa palkin jäähdytys- ja lämmitystehoon. Halkaisijaltaan 12 millimetrinen kupariputken aiheuttamien painehäviö- ja veden virtausnopeusrajoitteiden sekä järkevä lämmönsiirtotehon saamiseksi, suunnitteluvirtaaman pelivara on 0.025l/s - 0.05l/s.



KUVIO 4. Jäähdytysvaikutuksen korjauskerroin meno- ja paluueden lämpötilaerolla virtaamalla 0,038l/s. (Solo tuote-esite)



KUVIO 5. Vesivirtauksen mukainen korjauskerroin lämmönsiirtimen teholle kun poikeaan 0,038l/s virtaamasta. (Solo tuote-esite)



KUVIO 6. Oletettu teho huonelämpötilan mukaan. Terminen kuorma Solo 1-60 3.0m palkissa eri vuodenaikojen mukaisten veden lämpötilojen asetuksilla. Tuloilmavirta 25l/s, 0.038l/s. Talvella huoneen suunnittelulämpötila on 20 °C. (Solo system)

#### 4.4 Solo-järjestelmällä jäähdytys

Jäähdytyksen tarve syntyy kun toimistohuoneen lämpötila nousee yli tavoitellun suunnittelulämpötilan (kesällä 25 °C ja talvella 21,5 °C). Jäähdytystehon tarpeen ollessa korkeimmillaan kesällä, on huoneen suunnittelulämpötila jäähdytykselle 25 °C.

Kesän jäähdytystilanteessa järjestelmän ilmastointipalkin menoveden lämpötila on 20 °C ja paluueden lämpötila 23 °C. Jäähdytystehon laskennassa vesivirta on asetettu 0.038 l/s. Tälle virtaamalle on tehty palkin jäähdytystehon laskentaa helpottava työkalu (kuvio 4). Palkin jäähdytystehoon vaikuttaa tuloilmavirran jäähdyttävä teho sekä palkin kupariputkissa virtaavasta vedestä saatava jäähdytysteho.

Tuloilmavirta on vakio 25l/s ja palkin tuloilmasuuttimista aiheutuu muuttumaton 100 Pascalin painehäviö. Tuloilman jäähdyttävään tehoon vaikuttaa tuloilman lämpötila ja virtausnopeus. Tuloilman jäähdyttävä teho saadaan yhtälöllä (3).

$$P_i = q_{vi} \times c_{pi} \times \rho_i \times \Delta t_{h-i} \quad (3)$$

$P_i = \text{Tuloilman jäähdytysteho [kW]}$

$q_{vi} = \text{Tuloilman tilavuusvirta [m}^3/\text{s]} = 0,025\text{m}^3/\text{s}$

$c_{pi} = \text{Ilman ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]} \approx 1$

$\rho_i = \text{Ilman tiheys [kg/m}^3] \approx 1,2$

$\Delta t_{h-i} = \text{Huoneen lämpötilan ja tuloilman lämpötilan erotus [K]}$

$\text{Huoneen jäähdytyksen suunnittelulämpötila} = 25\text{ }^\circ\text{C},$

$\text{tuloilman lämpötila} = 20\text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \Delta t = 5\text{K}$

$P_i = 0,025\text{ m}^3/\text{s} \times 1\text{ kJ/kgK} \times 1,2\text{ kg/m}^3 \times 5\text{K} = 0,15\text{kW} = 150\text{W}$

Solo-palkin jäähdytystilanteen laskentaoppaalla pystytään kuvioden 3 ja 4 avulla laskemaan 0.038l/s vesivirtaamalla palkin lämmönsiirtimen ominaisjäähdytysteho. Yhtälössä (4) lasketaan Solo I-60 3.0m palkin vedestä saatava jäähdytysteho.

$$P_v = \Delta t_{h-v} \times P_{\text{Aktiivip.}} \times P_{pt} \times \Delta t_{\text{vkorjaus}} \quad (4)$$

$P_v = \text{vedestä saatava jäähdytysteho}$

$\text{Lasketaan huoneen lämpötilan ja keskimääräisen veden lämpötilan erotus:}$

$\Delta t_{h-v} = 25\text{ }^\circ\text{C} - (20\text{ }^\circ\text{C} + 23\text{ }^\circ\text{C}) / 2 = 3,5\text{K}$

$\text{Palkin aktiivipituus:}$

$P_{\text{Aktiivip.}} = 3,0\text{m} - 0,2\text{m} = 2,8\text{m}$

$\text{Jaetaan tuloilmavirta palkin aktiivipituudella. Saadaan ilmavirta aktiivipituutta kohden:}$

$25\text{l/s} / 2,8\text{m} \approx 9\text{l/s/m}$

$\text{Asetetaan tulos kuvioon 3 ja saadaan astevaikutus aktiivipituutta kohden:}$

$\text{Kuviosta 3} \Rightarrow P_{pt} = 55\text{W/mK}$

$\text{Luetaan veden lämpötilaerotuksen mukaan kuviosta 4 korjauskerroin:}$

$\Delta t_v = 3\text{K} \Rightarrow \text{kuviosta 4} \Rightarrow \text{korjauskerroin} = 0,9680$

$\text{Kerrotaan aktiivipituuden astevaikutus korjauskertoimella:}$

$55\text{W/mK} \times 0,9680 = 53,24\text{W/mK}$

$\text{Kerrotaan huonelämpötilan ja keskimääräisen veden lämpötilan erotus aktiivipituudella, kerrotaan vielä korjattu aktiivipituuden astevaikutus:}$

$3,5 \times 2,8\text{m} \times 53,24\text{ W/mK} \approx 522\text{W}$

Kesän jäähdystehon mitoittavassa tilanteessa, tuloilman lämpötilalla 20°C ja huoneen jäähdystyksen suunnittelulämpötilassa 25°C, Solo I-60 3.0m palkin kokonaisjäähdysteho saadaan yhtälöstä (5).

$$P_{\text{kok.teho}} = P_i + P_v \quad (5)$$

$$\Rightarrow 150W + 522W = 672W$$

#### 4.4.1 Jäähdystehot

Yhtälössä (5) laskettiin kolmemetrinen Solo-jäähdystypalkin kokonaisjäähdysteho vesivirtaamalla 0.038 l/s, ilmavirralla 25 l/s sekä tuloilmasuuttimen painehäviöllä 100 Pa. Samoilla arvoilla ja yhtälöiden (3-5) mukaan lasketaan jäähdystehot myös muille palkeille. Solo I-60 jäähdystypalkkeja on neljä pituusmallia ja siten neljä eri jäähdystehoa. Taulukossa 19 esitetään palkeille lasketut kokonaistehot.

TAULUKKO 19. Jäähdystehot 25 l/s tuloilmavirralla

Solo I-60				
Pituus	1,8 m	2,4m	3,0m	3,6m
Jäähdysteho	540W	612W	672W	726W
0.038 l/s, 25 l/s, 100 Pa		tuloilman lämpötila 20°C		

Jäähdystypalkkien ja kuvaajat pohjautuvat vakioilmavirralla 25 l/s ja vakiovesivirtaamalle 0.038 l/s. Yllä olevia jäähdystehoja voidaan nostaa asettamalla jonkun verran suurempi ilmavirta ja kasvattamalla hieman vesivirtaa. Jos palkin tuloilmavirraksi asetetaan 30 l/s, saadaan palkkien kokonaisjäähdystehoa kasvatettua taulukon 20 mukaisesti. Suunnitellun tuloilmavirran kasvattaminen on riippuvainen palkin pituudesta. Tämän takia 1,8 metrisen palkin tuloilmavirtaa ei laskelmien mukaan voida nostaa yli 25 l/s, koska ilmavirta kasvaisi liian suureksi.

TAULUKKO 20. Jäähdystehot 30 l/s tuloilmavirralla

Solo I-60				
Pituus	1,8 m	2,4m	3,0m	3,6m
Jäähdysteho	-	687W	749W	802W
0.038 l/s, 30 l/s, 100 Pa		tuloilman lämpötila 20°C		

Ilmavirtaa nostamalla kasvaa kanavaliitoksen painehäviö taulukon 19 mukaisesti. Tämä paine lisätään suutinpaineeseen, jolloin saadaan päätelaitteen kokonaispainehäviö.

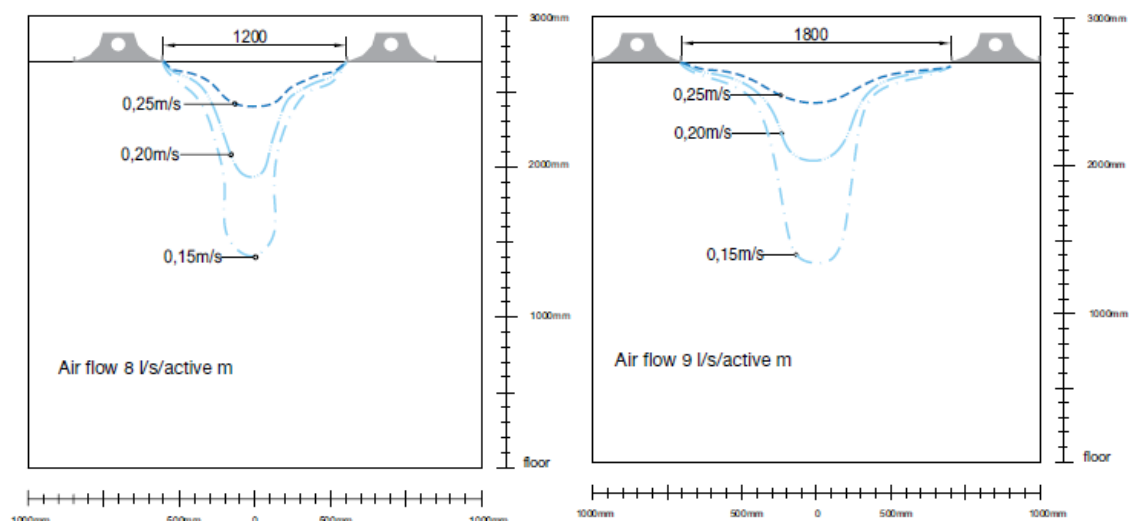
TAULUKKO 21. Päätelaitteen tuloilman paineenpudotus. (Solo tuote-esite)

Solo						
Air flow (l/s)	20	25	30	40	50	60
Pressure drop (Pa)	0	1	1	1	2	3

Jäähdytysteho voidaan nostaa myös vesivirtaa kasvattamalla. Uusi jäähdytysteho saadaan laskemalla yhtälön (15) mukaisesti.

#### 4.4.2 Päätelmä jäähdytykseen soveltuvuudesta

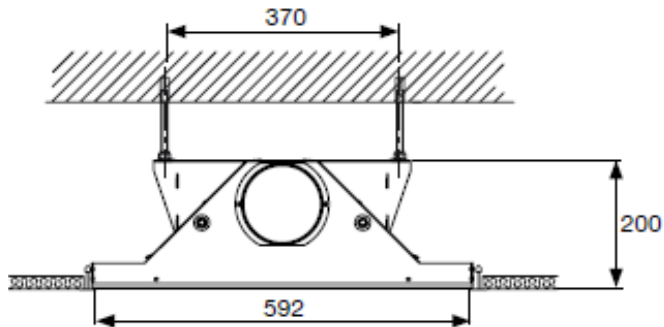
Solo-ilmastointipalkkien soveltuvuus mitoittavassa jäähdytystilanteessa tarkastellaan tilamallien jäähdytystehontarpeen kattamisen, palkkien sijoittelun, ilman nopeuden sekä tilan ulkoilmavirran riittävyyden mukaan. Jäähdytyspalkkien sijoittelussa tulee huomioida niiden välimatkan aiheuttamat rajoitukset. Palkkeja ei voi asentaa puhaltamaan tuloilmaa liian lähelle toisiansa kohden. Palkkien asennusväli kulkee portaittain 600mm väleillä. Kuva 18 esittää palkkien tuloilmavirran nopeuksia asennusväleillä 1200mm ja 1800mm. Jäähdytystilanteen tarkastelussa sovelletaan ensisijaisesti Solo I-60 3.0m palkkia.



KUVA 18. Ilman liike huoneessa asennusvälistä ja ilmavirrasta riippuvana. Solo I-60 3.0 = 8l/s/aktiivinen pituus. Solo I-60 3.6m = 9l/s/aktiivinen pituus. (Solo tuote-esite)

Kuvista voi havaita, että jäädyttäessä palkeilla Solo I-60 3.0m ja Solo I-60 3.6m ilman nopeudet tilan oleskeluvyöhykkeellä pysyvät pienempinä, kuin Sisäilmastoluokituksen 2008 luokan S1 tavoitearvot (taulukko 7).

Kuvasta 19 tarkastellaan ilmastointipalkin vaatimaa tilaa leveysuunnassa. Toimiston mallitilan alakaton sisäpinnan korkeus on 2,8 metriä. Tällöin jäädytyspalkin alapinta on alakaton tasalla 2,8 metrin korkeudessa.



KUVA 19. Solo I-60 palkin mitat. (Solo tuote-esite)

Ilmastointipalkin leveys on 0,6m. Avotoimistomodulin poikkipituus palkkiin nähden on 8,0m. Yhtälössä (6) lasketaan kuinka monta Solo I-60 3.0m palkkia riittää kattamaan avotoimistomodulin mukaisen jäädytystehontarpeen.

$$1814W / 672W = 2,7 \Rightarrow 3 \text{ palkkia} \quad (6)$$

*Kolmen palkin yhteisteho:*

$$3(\text{palkkia}) \times 672W = 2016W$$

Kuten yhtälöstä (6) havaitaan, kolme Solo I-60 3.0m palkkia pystyy vastaamaan avotoimistomodulin jäädytystehontarpeeseen.

Yhtälössä (7) tarkastellaan voidaanko asennustilan puitteissa avotoimistomodulia jäädyttää kolmella palkilla.

$$\text{Tuloilmasuihkulle käytettävissä oleva välimatka} \quad (7)$$

*= (käytettävissä oleva välimatka –*

*palkkien yhteisleveys-tuloilman heittopituus) / palkkien lukumäärä.*

*Kolmen palkin vaatima fyysinen tila huoneen pituussuunnassa:*

$$0,6m \times 3 = 1,8m$$

*Tuloilmavirtauksien heittopituudeksi siis jää:*

$$8,0m - 1,8m = 6,2m$$

*Vastakkaisten tuloilmasuihkujen välimatkaan ja etäisyyteen seinästä, jää käytettäväksi pituus:*

$$6,2m / 3(\text{palkkia}) = 2,1m$$

Kuvassa 18 esitetty Solo I-60 3.0m palkkien 1,8 metrin asennusväli onnistuu ja jäähdytystehot riittävät.

Taulukon 6 mukaan tehostetun tilankäytön toimistossa ilmavirran tulee olla vähintään 2,0 l/s/m<sup>2</sup> Sisäilmastoluokitus 2008 luokassa S1. Yhtälöiden (8) ja (9) mukaan avotoimistomoduulin tuloilmavirraksi saadaan 2,2 l/s/ m<sup>2</sup>. Näin S1:sen tasoinen ulkoilmavirta saadaan aikaiseksi kolmella ilmastointipalkilla.

$$q_{vi,moduuli} = q_{vi,palkki} \cdot \text{palkkien lkm} \quad (8)$$

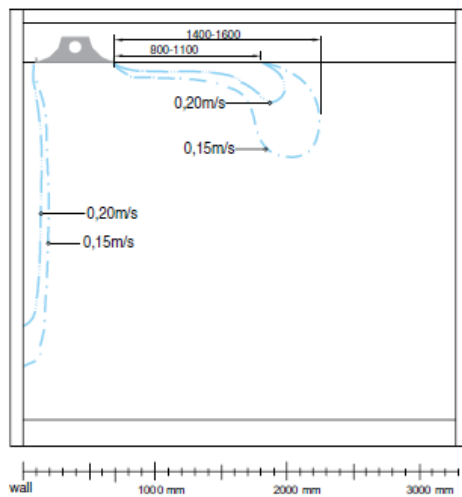
$$\Rightarrow 0,025m^3/s \times 3 = 0,075m^3/s$$

$$q_{vi,pinta-ala} = q_{vi,moduuli} / \text{moduulin pinta-ala} \quad (9)$$

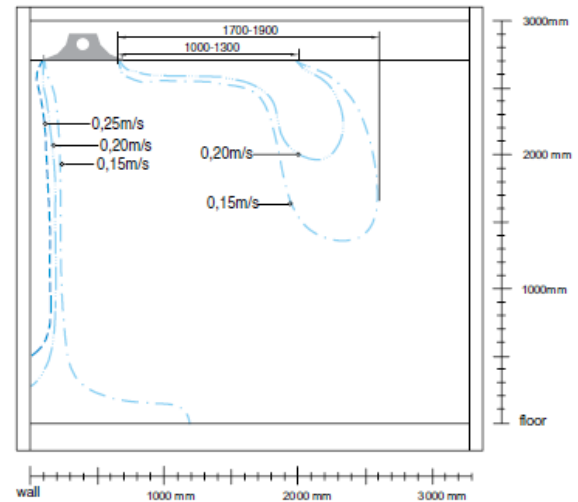
$$\Rightarrow 0,075m^3/s / 33,6 m^2 = 0,022 m^3/s / m^2$$

Yhden hengen huoneissa on yleensä käytössä yksi jäähdytyspalkki. Mahdollista on myös asentaa useampia palkkeja, jos ilman nopeudet eivät ylitä sisäilmastoluokituksen mukaisia arvoja oleskeluvyöhykkeellä. Solo I-60 palkin voi asentaa seinän vierustalle, jolloin säädettävillä tuloilmasuuttimilla ohjataan ilman virtaus siten, että se ei laskeudu liian nopeasti seinää pitkin ja aiheuta vedon tunnetta oleskeluvyöhykkeelle.

Kuvassa 20 toimistohuoneeseen on sijoitettu Solo I-60 3.6m ja kuvassa 21 Solo I-60 2.4m. Palkeilla 2.4m, 3.0m, 3.6m voidaan taulukon 6 ja kuvien 20-21 perusteella jäähdyttää toimistohuoneessa ilman nopeuksien pysyessä S1-luokan tasolla oleskeluvyöhykkeellä.



KUVUVA 20. 8l/s/akt.m. (Solo tuote-esite)



KUVUVA 21. 11l/s/akt.m. (Solo tuote-esite)

Yhden henkilön toimistohuoneen jäähdytystehon tarve on taulukon 14 mukaisesti 545W. Taulukosta 19 huomataan, että Solo I-60 3.0m riittää teholtaan peittämään huoneen jäähdytystehontarpeen. Taulukon mukaan myös Solo I-60 2.4m selviytyy jäähdytystilanteesta. Taulukon 14 mukainen 10 m<sup>2</sup> toimistohuone todennäköisesti aiheuttaa ongelmia isompien palkkien sijoittamisessa, joten Solo I-60 2.4m sopii pituutensa puolesta paremmin pieneen huoneeseen.

Sijoittamalla ilmastointipalkin tuloilmavirtaus 25 l/s ja huoneen lattiapinta-ala 10 m<sup>2</sup> yhtälöihin (8) ja (9), saadaan ulkoilmavirraksi 2,5l/s/ m<sup>2</sup>. Tämä arvo ylittää taulukon 6 mukaisen S1 luokan tason.

Neuvotteluhuoneen vaatima jäähdytysteho on taulukon 14 mukaan 2554W-3965W. Tarkastellaan jäähdytystilannetta maksimitehon tarpeen mukaan. Taulukon 6 perusteella neuvottelutilan ulkoilmavirran pitää S1- ja S2-tason mukaan olla vähintään 4,0 l/s/ m<sup>2</sup>. Taulukon 6 mukaan oleskeluvyöhykkeen ilman nopeus ei saa ylittää 20m/s. Avotoimistomoduuliin saatiin yhtälöiden (8) ja (9) mukaisesti tuloilmavirta 2,2 l/s/ m<sup>2</sup>, joten 25l/s tuloilmavirralla ei neuvotteluhuoneen määreitä täytetä.

Taulukko 21 osoittaa Solo I-60 3.6m palkille eri tuloilmavirtaamille lasketut jäähdytystehot ja tuloilmavirtaaman aktiivista palkkipituutta kohden. Arvot on saatu sijoittamalla tuloilmavirtaamat yhtälöihin (3), (4) ja (5). Otetaan tarkasteluun Solo I-60 3.6m tuloilmavirralla 45l/s. Yhtälön (10) mukaan tarvitaan 4 ilmastointipalkkia peittämään neuvotteluhuoneen maksimi jäähdytystehontarve.

TAULUKKO 21. Solo I-60 3.6m jäähdytystehot maksimi-ilmavirtaan saakka

Solo I-60 3.6m			
Tuloilmavirta	35 l/s	40 l/s	45l/s
Jäähdytysteho	890W	977W	1030W
Tuloilma/aktiivinen pituus	10,3 l/s/akt.m	11,8 l/s/akt.m	13,2 l/s/akt.m
0.038 l/s, 100 Pa	tuloilman lämpötila 20°C		

$$3965W / 1030W = 3,8 \Rightarrow 4 \text{ palkkia} \quad (10)$$

*Kolmen palkin yhteisteho:*

$$4(\text{palkkia}) \times 1030W = 4120W$$

Sijoitetaan 4 palkkia yhtälöön (7) ja saadaan tuloilmasuihkulle, yhtälön (11) mukaisesti, käytettävissä olevaksi välimatkaksi 1,4 metriä. Kuvasta 22 havaitaan, että 1,2 metrin välimatka riittää taulukon 21 mukaisten palkkien (45l/s) sijoittamiseen rinnakkain siten ettei oleskeluvyöhykkeen ilma ylitä 20m/s nopeutta.

*Neljän palkin vaatima fyysinen tila huoneen pituussuunnassa:*

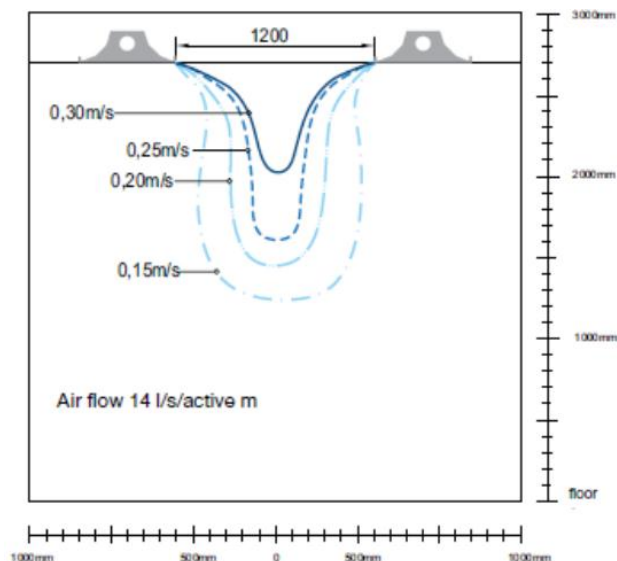
$$0,6m \times 4 = 2,4m$$

*Tuloilmavirtauksien heittopituudeksi siis jää:*

$$8,0m - 2,4m = 5,6m$$

*Vastakkaisten tuloilmasuihkujen välimatkaan ja etäisyyteen seinästä, jää käytettäväksi pituus:*

$$5,6m / 4(\text{palkkia}) = 1,4 m \quad (11)$$



Kuva 22. Solo I-60 3.6m (45l/s). (Solo tuote-esitys)

Sijoittamalla ilmastointipalkkien tuloilmavirtaus 45 l/s ja huoneen lattiapinta-ala 33,6 m<sup>2</sup> yhtälöihin (8) ja (9), saadaan ulkoilmavirraksi 5,4 l/s/ m<sup>2</sup>. Tämä arvo ylittää taulukon 6 mukaisen S1-luokan tason.

Neuvottelutilat eivät ole säännöllisesti käytössä, joten sinne yhtäjaksoisen 45l/s ilmavirran puhaltaminen ei ole järkevää.

#### 4.5 Solo-järjestelmällä lämmitys

Lämmityksen tarve syntyy kun toimistorakennuksen sisätiloissa lämpötila laskee alle tavoitellun suunnittelulämpötilan 21,5 °C (taulukko 5).

Lämmityskaudella järjestelmän ilmastointipalkin menoveden lämpötila on 23 °C ja paluueden lämpötila 21 °C. Myös lämmitystehon laskennassa vesivirta on vakio ja virtaamaksi asetetaan 0.038 l/s. Palkin lämmitystehoon vaikuttavat tuloilmavirran lämmitävä teho sekä palkin lämmönsiirtimessä virtaavasta vedestä saatava lämmitysteho.

Tuloilmavirta on vakio 25l/s ja palkin tuloilmasuuttimista aiheutuu muuttumaton 100 Pascalin painehäviö. Tuloilman lämmittävään tehoon vaikuttavat tuloilman lämpötila ja virtausnopeus. Tuloilman lämmityskapasiteetti saadaan yhtälöllä (12). Viitaten kuvan 11 lämpötilapoikkeamiin, Sisäilmaluokitus 2008 S1-tason operatiivinen lämpötila oleskeluvyöhykkeellä saa olla välillä 21-22 °C. Alustavien laskelmien perusteella 21,5 °C ja 21 °C huonelämpötilan suunnitteluarvoilla ei kuitenkaan saavuteta tarpeellisia lämmitystehoja. Viitaten kuvan 12 S2-luokan sallittuun oleskeluvyöhykkeen lämpötilan poikkeaman alarajaan, asetetaan lämmityskauden huonelämpötilaksi 20,5 °C.

$$P_i = q_{vi} \times c_{pi} \times \rho_i \cdot \Delta t_{h-i} \quad (12)$$

$P_i =$  Tuloilman lämmitysteho [kW]

$q_{vi} =$  Tuloilman tilavuusvirta [m<sup>3</sup>/s] = 0,025m<sup>3</sup>/s

$c_{pi} =$  Ilman ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]  $\approx 1$

$\rho_i =$  Ilman tiheys [kg/m<sup>3</sup>]  $\approx 1,2$

$\Delta t_{h-i} =$  Huoneen lämpötilan ja tuloilman lämpötilan erotus [K]

Huoneen lämmityksen suunnittelulämpötila = 20,5 °C,

$$\text{tuloilman lämpötila} = 22\text{ °C} \Rightarrow \Delta t = 1,5\text{K}$$

$$P_i = 0,025\text{ m}^3/\text{s} \times 1\text{ kJ/kgK} \times 1,2\text{ kg/m}^3 \times 1,5\text{K} = 0,045\text{kW} = 45\text{W}$$

Tuloilman lämmityskapasiteetti on siis 45W 25l/s ilmavirralla. Jatketaan lämmitystarkastelua jälleen Solo I-60 3.0m palkilla. Yhtälöstä (13) saadaan palkin lämmönsiirtimen lämmitysteho.

$$P_v = \Delta t_{h-v} \times P_{\text{Aktiivip.}} \times P_{pt} \quad (13)$$

$$P_v = \text{vedestä saatava lämmitysteho}$$

Lasketaan huoneen lämpötilan ja keskimääräisen veden lämpötilan erotus:

$$\Delta t_{h-v} = 20,5\text{ °C} - (20\text{ °C} + 23\text{ °C}) / 2 = 1,5\text{K}$$

Palkin aktiivipituus:

$$P_{\text{Aktiivip.}} = 3,0\text{m} - 0,2\text{m} = 2,8\text{m}$$

Jaetaan tuloilmavirta palkin aktiivipituudella. Saadaan ilmavirta aktiivipituutta kohden:

$$25\text{l/s} / 2,8\text{m} \approx 9\text{l/s/m}$$

Asetetaan tulos kuvioon 3 ja saadaan astevaikutus aktiivipituutta kohden:

$$\text{Kuviosta 3.} \Rightarrow P_{pt} = 55\text{W/mK}$$

Kerrotaan huonelämpötilan ja keskimääräisen veden lämpötilan erotus aktiivipituudella, kerrotaan vielä korjattu aktiivipituuden astevaikutus:

$$1,5 \times 2,8\text{m} \times 55\text{ W/mK} \approx 231\text{W}$$

Talven lämmitystehon mitoittavassa tilanteessa, tuloilman lämpötilalla 22 °C ja huoneen lämmityksen suunnittelulämpötilassa 20,5 °C, Solo I-60 3.0 palkin kokonaislämmitysteho saadaan yhtälöstä (14).

$$P_{\text{kok.teho}} = P_i + P_v \quad (14)$$

$$\Rightarrow 45\text{W} + 231\text{W} = 276\text{W}$$

#### 4.5.1 Palkin lämmitystekot

Yhtälöiden (12-14) mukaisesti, muuttamalla palkkien ominaisarvot, voidaan lämmitystekoa laskea kaikille neljälle palkille. Taulukossa 22 esitetään palkkien kokonaislämmitystekot. Kuten jäähdystilanteessa, myös lämmitystilanteessa voidaan palkkien tehoa nostaa ilmavirtoja kasvattamalla. Tosin vaikutus tehon lisääntymiseen on pienempi kuin jäähdystilanteessa. Taulukossa 23 on 30l/s ilmavirralla lasketut kokonaislämmitystekot. Kuten jäähdystilanteessa, myöskään lämmitystilanteessa Solo I-60 1.8m palkin tuloilmavirtaa ei voida nostaa yli 25 l/s.

TAULUKKO 22. Lämmitystekot 25l/s ilmavirralla

Solo I-60				
Pituus	1,8 m	2,4m	3,0m	3,6m
Lämmitysteho	218W	250W	276W	300W
0.038 l/s, 25 l/s, 100 Pa		tuloilman lämpötila 22°C		

TAULUKKO 23. Lämmitystekot 30l/s ilmavirralla

Solo I-60				
Pituus	1,8 m	2,4m	3,0m	3,6m
Lämmitysteho	-	279W	306W	329W
0.038 l/s, 30 l/s, 100 Pa		tuloilman lämpötila 22°C		

Jos halutaan poiketa 0,038l/s vesivirtaamasta, on ilmastointipalkille laskettava uusi teho yhtälön (15) osoittamalla tavalla.

$$q_v = P_v / (c_{pv} \times \rho_v \times \Delta t_{m-p}) \quad (15)$$

$$q_v = \text{Veden tilavuusvirta [m}^3\text{/s]}$$

$$P_v = \text{Veden lämmönsiirtoteho lämmitysteho [kW]}$$

$$c_{pv} = \text{Veden ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]} \approx 4,2$$

$$\rho_v = \text{Veden tiheys [kg/m}^3\text{]} \approx 1$$

$$\Delta t_{m-p} = \text{Meno- ja paluuveden lämpötilan erotus}$$

Yhtälön tulos sijoitetaan kuivioon 5 ja poimitaan tehovaikutuksen korjauskerroin. Vanha palkin teho korjataan korjauskertoimella, jolloin saadaan uusi tehokokema.

#### 4.5.2 Päätelmä lämmityksen toimivuudesta

Solo-ilmastointipalkkien soveltuvuus mitoittavassa lämmitystilanteessa tarkastellaan mallitilojen vyöhykekohtaisen lämmitystehontehontarpeen kattamisen, palkkien sijoittelun sekä tilan ulkoilmavirran riittävyyden mukaan. Jäähdytystilanteen tarkastelussa käytiin läpi palkkien mahdolliset asennusvälit, ulkoilmavirtojen riittävyys ja ilman nopeudet oleskeluvyöhykkeellä. Edellä mainitut toteutuvat myös lämmitystilanteessa, joten niihin ei oteta enää kantaa. Lämmitystilanteen tarkastelussa käydään läpi palkkien soveltuvuus Suomen ulkoilman mitoitusvyöhykkeisiin.

Alustavien laskelmien perusteella, otetaan tarkasteluun avotoimistomoduulin osalta neljän ilmastointipalkin asennus 1200mm väleillä. Kuten yhtälöstä (11) ja kuvasta 22 havaittiin, neljällä palkilla pystytään toimimaan avotoimistossa. Vertailussa ovat taulukot 15-18. Taulukossa 24 ovat vertailussa Solo I-60 3.0m ja Solo I-60 3.6m. Taulukoista 15-17 huomataan, että vyöhykkeillä 1-3 avotoimiston lämmitystehontarve on 916W-1031W. Taulukon 24 mukaisesti neljä Solo I-60 3.0m palkkia riittää kattamaan lämmitystarpeen vyöhykkeelle 3 asti. Taulukon 18 mukaan vyöhykkeen 4 lämmitystehontarve on 1147W. Joten vyöhykkeen 4 tehontarpeen kattamiseen vaaditaan neljä Solo I-60 3.6m palkkia. Taulukosta 25 nähdään kuinka tuloilmavirran nostaminen viidellä litralla sekunnissa vaikuttaa palkkien lämmitystehoon.

TAULUKKO 24. Lämmitystehoja kolmella ja neljällä palkilla.

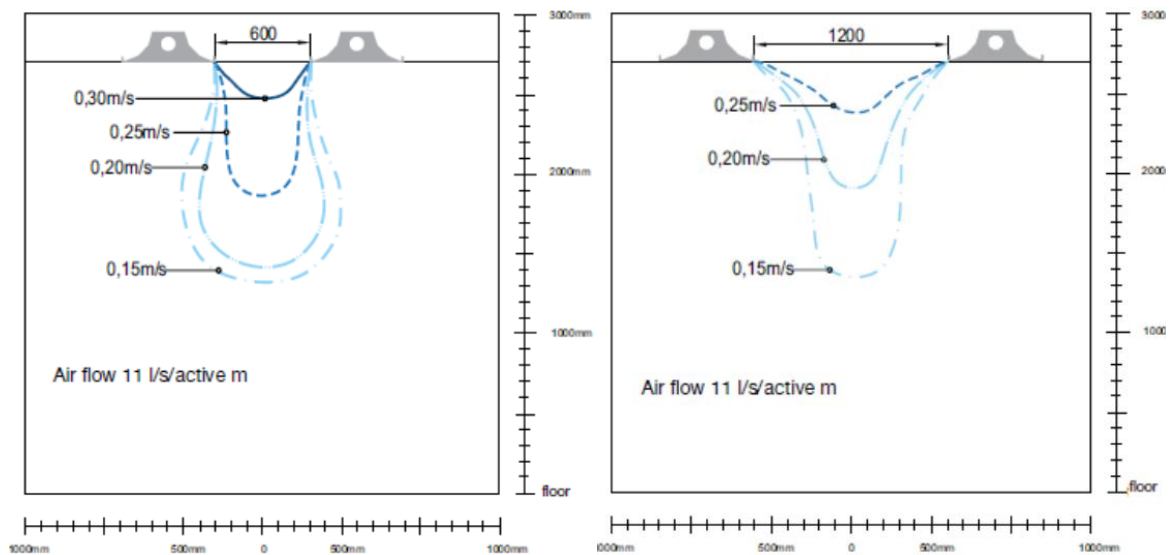
Solo I-60		
Pituus	3,0m	3,6m
Kolmen palkin lämmitysteho	828W	900W
Neljän palkin lämmitysteho	1104W	1200W
0.038 l/s, 25 l/s, 100 Pa	tuloilman lämpötila 22°C	

TAULUKKO 25. Lämmitystehoja kolmella ja neljällä palkilla ilmavirtaa nostettaessa.

Solo I-60		
Pituus	3,0m	3,6m
Kolmen palkin lämmitysteho	918W	987W
Neljän palkin lämmitysteho	1224W	1316W
0.038 l/s, 30 l/s, 100 Pa	tuloilman lämpötila 22°C	

Jäähdytystarkastelussa jo mainittiin, että pienessä toimistohuoneessa käytetään yleensä yhtä ilmastointipalkkia. Solo I-60 palkit voidaan asentaa seinän vierustalle, jolloin tulo-

puhallus säädetään siten, että seinälle puhalletaan pienempi osuus tuloilmasta kuvien 20 ja 21 mukaisesti. Taulukoista 15-18 saadaan toimistohuoneen lämmitystehontarpeeksi 324W-406W. Taulukosta 24 voidaan näiden teholutujen perusteella päätellä, että isoinkaan Solo I-60 palkki ei riitä kattamaan yksinään lämmitystehontarvetta. Tilanpuutteen vuoksi tarkastellaan kahden Solo I-60 2.4m palkin soveltuvuutta huoneeseen. Kun asennetaan pieneen yhden hengen huoneeseen kaksi ilmastointipalkkia, voidaan ne asentaa kahdella tavalla. Kuvassa 23 on kaksi Solo I-60 2.4m palkkia 600mm ja 1200mm asennusväleillä. Huoneen tilamallin seinämitat ovat 2,7m ja 3,7m (kuva 15). Huoneleveyttä toimistohuoneen tilamallissa on 2,7 metriä, joten tarkastellaan kuinka kaksi palkkia mahtuu siihen tilaan. Taulukossa 26 on tila- ja teholaskelmien tulokset.



KUVA 23. Kaksi Solo I-60 2.4m palkkia 600mm ja 1200mm väleillä. (Solo tuote-esite)

TAULUKKO 26. Tehot ja asennusvälimallit

Solo I-60 2.4m		
Lämmitystilanne	Huoneen leveys 2,7 metriä	
Asennusväli	600mm	1200mm
Seinustoille jäävä tila	450mm	150mm
Kahden palkin lämmitysteho	500W	500W
0.038 l/s, 25 l/s, 100 Pa	tuloilman lämpötila 22°C	

Koska tuloilmavirtausta pystytään ohjaamaan, kuten kuvassa 21 on esitetty, voidaan kaksi taulukon 25 osoittamaa palkkia asentaa pieneenkin toimistohuoneeseen. Yhteislämmitysteho palkeilla on 500W, joten vyöhykkeiden 1-4 tehontarve 324W-406W peityy.

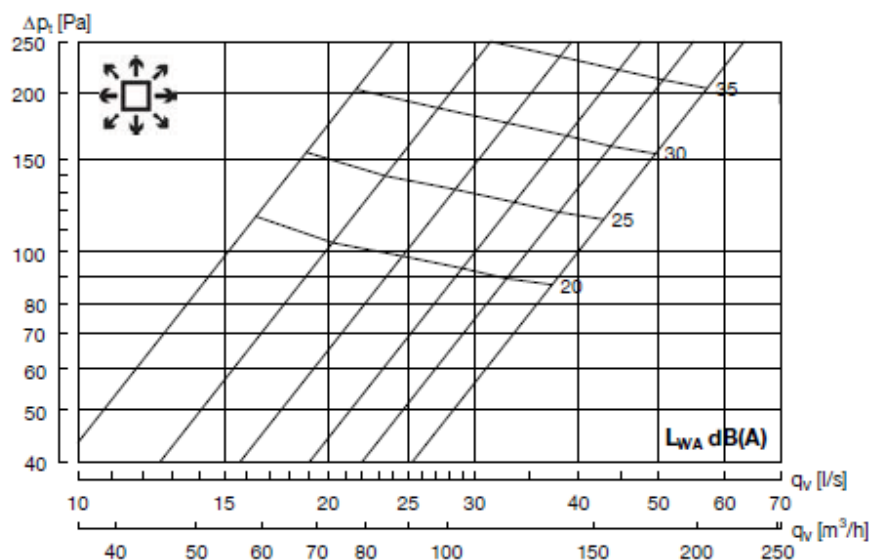
## 4.6 Lisätietoa

### 4.6.1 Lämmityskausi

Tanskalaisen yliopiston simulointituloksissa lämmityskauden huoneen suunnittelulämpötila on 20 °C. Pohjustavien laskelmien perusteella huoneen suunnittelulämpötilalla 21,5 °C, huoneen lämpötilan ja ilmastointipalkin veden lämpötilan erotuksella ei saada tuotettua tarpeeksi lämmitystehoa. Sisäilmastoluokitus 2008 asettaa S2-luokassa suunnittelulämpötilaksi 21,5 °C ja sallii  $\pm 1$  °C poikkeaman lämpötilasta. Tämän mukaan lämpöteholaskennan huonelämpötilan suunnitteluarvoksi asetettiin 20,5 °C, joka on S2-luokan poikkeaman alaraja. Vertailuna S3-luokan tavoittelulämpötila on 21 °C ja sallittu poikkeama lämpötilasta  $\pm 1$  °C (Sisäilmastoluokitus 2008 2009, 6). Karkean laskennan suunnittelulämpötilalla 20,5 °C kuitenkin saatiin tarvittava lämmitysteho matalaenergiarakennuksen lämpöhäviöiden peittämiseksi kaikilla vyöhykkeillä. Huonelämpötilan suunnitteluarvolla 21,5 °C pitäisi suorittaa tarkempi lämmitystarpeen simulointi.

### 4.6.2 Äänikriteerit

Sisäilmastoluokitus 2008 mukaan S1-luokassa toimisto- ja neuvotteluhuoneiden LVIS-laitteiden äänitaso ei saa ylittää 35dB. Avotilatoimistossa raja on 40-41Db (Sisäilmastoluokitus 2008 2009, 7). Kuviosta 7 havaitaan, että vaikka tarkastelun mukaisesti suurimman ilmavirran vaativassa neuvotteluhuoneessa ilmavirta nousi 45l/s tavoittaakseen jäähdytystehontarpeen ja ilmamäärävaatimuksen, äänitaso pysyy S1-luokassa.



KUVIO 7. Äänitasokuvaaja eri ilmavirtauksille. (Solo tuote-esite)

## 5 POHDINTA

Matalaenergiarakennukset ovat tulevaisuuden suuntaus ja energiatehokkaan rakentamisen määritykset muuttuvat rakennusmääräysten vähimmäisvaatimusten tiukentuessa. Rakennuksille asetettavien E-lukujen myötä energiatehokkaaseen rakentamiseen tullaan panostamaan tulevaisuudessa entistä enemmän. Matalalämpöjärjestelmät vastaavat hyvin rakentamisen suuntaukseen ja matalaenergiarakentamisen myötä taloteknisten järjestelmien odotetaan yksinkertaistuvan. Solo-järjestelmä on omiaan testaamaan Suomen rakentamiskulttuurin avarakatseisuutta. Suomalaiseen rakentamiseen vakiintuneet ratkaisut saattavat olla peräisin useiden vuosikymmenten takaa. Nykyinen rakennustekniikka elää väistämättä murroskautta, jossa kansalliset ja kansainväliset innovaatiot pyrkivät murtamaan perinteisiä rakentamistapoja ja LVI-suunnittelua. Vakiovirtaavat vesi ja ilma, sekä lähes samalla lämpötilalla ympäri vuoden lämmittävä ja jäähdyttävä ilmastointipalkin lämmönsiirrin, tekevät Solo-ilmastointipalkkiratkaisusta kokonaisvaltaisen paketin, joka on yksinkertaistetun talotekniikan ilmentymä. Lämmitys- ja jäähdytysominaisuuksien yhdistäminen samaan kaksiputkijärjestelmään on vanhoillisia näemyksiä heilauttava innovaatio.

Solo-ilmastointipalkkiratkaisun kriittiset ominaisuudet, Suomen matalaenergiatoimistoon soveltuvuuden osalta, todettiin tarkastelussa riittäviksi jäähdytyksen ja tuloilman toimituksen osilta. Kaikkiin toimiston vaatimuksiin Solo-kaksiputkijärjestelmällä ei pystytä kuitenkaan vastaamaan samalla mitalla kuin perinteisellä neliputkijärjestelmällä. Neuvotteluhuoneiden ilmamäärä- ja jäähdytystarpeen suuren vaihtelevuuden vuoksi, Solo-ilmastointipalkeilla toimitettaisiin tilaan tarpeettoman suuri jatkuva ilmamäärä. Yksilöllinen säätö toimistohuoneissa ei onnistu, koska tuloilma- ja lämpölohallintaan tarvittavia komponentteja ei ratkaisussa ole. Lämmitystilanteessa on, tämänhetkisten suunnitteluohjeistuksien mukaan, parantamisen varaa. Lämmitys voitaisiin toteuttaa, jos poikettaisiin hieman Suomen huonelämpötilan suunnitteluarvoista. Kaikkien rakennuksen tilojen lämmitystä ei tietenkään voida järjestelmällä toteuttaa. Kosteissa tiloissa käytetään todennäköisesti sähkölämmitystä ja esimerkiksi korkeita porrastiloja saatetaan joutua lämmittämään myös muilla laitteilla.

Matalaenergiatoimitilojen rakentamisessa pyritään vähintään sisäilmastoluokituksen S2-luokan tasoiseen sisäilmastoon. Solo-kaksiputkijärjestelmä pystyy toteuttamaan osittain

S1-luokan sisäilmastovaatimukset. Näkisin kuitenkin, että S2-luokka on suurimmilta osilta se, mihin järjestelmällä pyritään vastaamaan. Vapaaäähdytyksen pitkäaikainen hyödynnettävyys, meno- ja paluueden lämpötiloja tasapainottava ominaisuus sekä energiatehokkaiden lämpöpumppuratkaisujen lämmöntuoton käyttömahdollisuus ovat järjestelmän etuja. Lämmitys- ja jäähdytystilanteiden päällekkäisyyksiä ei pitäisi esiintyä ja huoneiden lämpötilat oletettavasti tasapainottuvat ilman säätölaitteita. Matala-energiatoimistossa saatetaan lämmityskaudella pystyä merkittävästi hyödyntämään sisäisiä ja ulkoisia lämpökuormia, jolloin Solo-ilmastointipalkkiratkaisulla saattaisi olla paikka Suomen LVI-ratkaisuiden joukossa.

## LÄHTEET

Beck, W., Dolmans, D., Dutoo, G., Hall, A. & Seppänen, O. Aurinkosuojaus. 2011. Aurinkosuojauksen suunnittelu kestävän kehityksen mukaisiin rakennuksiin. Belgia: REHVA V & ES-SO.

D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2007. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta.. Tulostettu 16.3.2013.  
<http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>

D3 Laskentaopas. 2012. Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen. RakMK D3 2012 mukaan 14.9.2012. Tulostettu 3.5.2013  
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=139039&lan=fi>

Harju, P. Ilmastointitekniikan oppikirja 1. Penan Tieto-Opus Ky. Tulostettu 11.4.2013.  
<http://www.penantieto-opus.fi/tuotteet/ilmastointitekniikka.pdf>

Helsingin kaupungin rakennusvirasto. 2011. Helsingin kaupungin palvelurakennusten matalaenergiarakentamisohje. LVI-suunnitteluohje versio 1.4. Tulostettu 28.4.2013  
<http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/4b7f898045cf33739ad4ff527882ad24/LVI-suunnittelu+-Matalaenergiarakentamisen+ohjeet+2011.pdf?MOD=AJPERES>

Holopainen, R., Tuomaala, P. & Nieminen, J. 2010. Matalaenergiarakentaminen. Kuntien 5. ilmastokonferenssi 5.5.2010. Tampere: VTT. Luettu 20.4.2013.  
[http://www.kunnat.net/fi/tietopankit/tapahtumat/aineisto/2010/viides-ilmastokonferenssi/Documents/1\\_Holopainen.pdf](http://www.kunnat.net/fi/tietopankit/tapahtumat/aineisto/2010/viides-ilmastokonferenssi/Documents/1_Holopainen.pdf)

Karumaa, K. Jäähdytyspalkit ja sekoittava ilmanvaihto. Fläkt Woods Oy. Tulostettu 17.4.2013.

Kestävän rakentamisen prosessit. 2009. Elinkaarikriteerit sisältävä taloteknisten järjestelmien hankinta. VTT. Luonnos 2.11.2009. Luettu 2.5.2013.  
[http://virtual.vtt.fi/virtual/envIRON/susproc/Hankinta\\_ARE\\_Case.pdf](http://virtual.vtt.fi/virtual/envIRON/susproc/Hankinta_ARE_Case.pdf)

Koskela, H. 2009. Jäähdytyspalkkien tuloilman jaon toiminta ja lämpöolosuhteet toimistoympäristössä. Työterveyslaitos: Sisäilmastoseminaari 18.3.2009. Luettu 5.4.2013.  
[http://www.sisailmayhdistys.fi/attachments/sem2009/koskela\\_hannu.pdf](http://www.sisailmayhdistys.fi/attachments/sem2009/koskela_hannu.pdf)

Kurnitski, J. 2008. Rakennuksen energiatehokkuus loppuenergialla ja CO<sub>2</sub>-päästöillä mitattuna. Helsinki: Air academy Swegon 31.1. 2008. Luettu 13.4.2013.  
<http://www.swegonairacademy.com/wp-content/uploads/2012/04/Kurnitski-Helsinki-2008.pdf>

Lindab Oy Ab. 2013. Premum ilmastointipalkki.. Tulostettu 4.4.2013.  
<http://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/comfort/fin/technical/premum.pdf>

LVI-kortisto. Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. LVI 05-10440. [Pdf-tiedosto]. Päivitetty 18.5.2009.. Luettu 6.3.2013

Motiva. 2011. Matalaenergiatalon määritelmä. Päivitetty 17.5.2011. Luettu 29.4.2013.  
[http://www.motiva.fi/rakentaminen/millainen\\_on\\_energiatehokas\\_pientalo/matalaenergiatalon\\_maaritelmaa](http://www.motiva.fi/rakentaminen/millainen_on_energiatehokas_pientalo/matalaenergiatalon_maaritelmaa)

Pietarinen, P & Saari, M. 1999. Ilmanvaihtolämmityksen hajautettu automaatio matalaenergiatalossa. VTT Rakennustekniikka. Luettu 23.4.2013.  
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1950.pdf>

RIL 259–2012. 2012. Matalaenergiarakentaminen. Toimitilat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Saari, M. & Laine, J. 2009. Passiivienergiatalo harkoista. LVI-tekniikan ratkaisumallit ja suunnitteluohje. VTT Raportti. Tulostettu 2.5.2013.  
<http://ebookbrowse.com/vtt-r-08496-09-passiivienergiatalo-harkoista-lvi-ohje-161109-071209-pdf-d101172234>

Sauvolainen, P. Tuoteryhmä- ja markkinointipäällikkö. Solo energiankulutuslaskelmat. Danish Building Research Institute / Aalborg University. Sähköpostiviesti. [pasi.sauvolainen@lindab.fi](mailto:pasi.sauvolainen@lindab.fi). Tulostettu 12.2.2013.

Sauvolainen, P. Tuoteryhmä- ja markkinointipäällikkö. Solo tuote-esite & Solo system. Sähköpostiviesti. [pasi.sauvolainen@lindab.fi](mailto:pasi.sauvolainen@lindab.fi). Tulostettu 10.4.2013.

Seppänen, O. 2001. Rakennuksen lämmitys. 2. painos. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry ja Olli Seppänen.

Seppänen, O. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry.

Seppänen, O., Fisk, W. & Lei, Q.H. 2006. Room temperature and productivity in office work. Proceeding of Healthy Buildings Congress 2006. Osa 1.

Sisäilmastoyhdistys: Sisäilmaluokitus 2008. Luettu 5.3.2013.  
<http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/sisailmastoluokitus/>

Sosiaali- ja työterveysministeriö. 2003. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003: Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Luettu.14.4.2013  
[http://www.finlex.fi/pdf/normit/14951-asumisterveysohje\\_pdf.pdf](http://www.finlex.fi/pdf/normit/14951-asumisterveysohje_pdf.pdf)

Swegon Oy. 2007. Järjestelmätekniikka. Swegon vesikiertoiset ilmastointijärjestelmät. Tulostettu 1.4.2013.  
[http://www.swegon.com/Global/PDFs/Waterborne%20climate%20systems/General/\\_fi/SYSTEM-tech.pdf](http://www.swegon.com/Global/PDFs/Waterborne%20climate%20systems/General/_fi/SYSTEM-tech.pdf)

Työterveyslaitos: Työpiste. Päivitetty 1.3.2012. Luettu 14.4.2013.  
[http://tyopiste.ttl.fi/Duunitohtorit/Sivut/Mika\\_on\\_sopiva\\_lampotila\\_toimistossa.aspx](http://tyopiste.ttl.fi/Duunitohtorit/Sivut/Mika_on_sopiva_lampotila_toimistossa.aspx)  
<http://www.flaktwoods.fi/184/4659/3/91017bb8-d2f0-444d-a920-b75037114ab3>