

Aapinen

Osaaminen
Ilmanvaihto
Jäähdytys

Sisällysluettelo

Kylmä Aapinen.....	1
Lukuohje	1
Yleistä	
Mitoittaminen.....	2
Kaavat.....	3
Mollier-kaavio.....	4
Käsitteiden selvennyksiä.....	5
Vaihtoehto 1. Jäähdytystehon ja ilmamäärän	
laskentamalli	6
Kokonaisjäähdytysteho	14
Yhteenveto	
Laskelmalomake.....	21
Kustannusanalyysi	
Takaisinmaksuaika.....	22
Käyttökustannukset	23
Jäähdytyslaitteen valinta	26
Vaihtoehto 2. Perinteinen laskentamalli	32
Liite 1. Kosteaa ilman Mollier-kaavio.....	34
Liite 2. Laskelmalomake	35

Yleistä

Mitoittaminen

Ilmanvaihdon ammattilaiset pyrkivät saamaan aikaan oikean ilmaston tiloissa, joissa on ihmisiä.

Ihmisten hyvinvointi edellyttää useiden vaatimusten täyttämistä. Huoneilman tulee täyttää tietyt vaatimukset. Tässä kirjassa perehdytään ilman lämpötilaan ja kosteuteen.

Kylmä Aapinen - kirjassa näytetään, kuinka laskelmien perusteella valitaan juuri oikea jäähdytyslaite.

Laitteelta vaadittava jäähdytysteho ja ilmanvirtaama lasketaan kahdella vaihtoehtoisella tavalla.



Vaihtoehto 1. antaa tulokseksi tarkan mitoituksen, kun analysoidaan vaihtoehtoisia olettamuksia sekä lasketaan kapasiteetin, hyötysuhteen, käyttökustannusten ja kannattavuuspisteen kaltaiset tekijät.

Tämän vaihtoehdon avulla saadaan selville tunnusluvut tulevia laskelmia varten.

Ilmaa käytetään lämmön ja viileyden kuljettajana. Lisäksi on tunnettava tilan käyttötarkoitus, esimerkiksi toimisto, myymälä, koulu, tietojenkäsittely tai terveydenhoito, ja jäähdytettävän tilan pinta-ala.

Vaihtoehtoa 2. käytettäessä mitoitus perustuu perinteiseen laskelmaan, jossa tunnuslukuina käytetään kokemukseräisiä arvoja. Käyttökelpoinen ainoastaan karkeaan mitoitukseen.

Kaavat

Laitteiston kokonaisjäähdytysteho lasketaan seuraavan kaavan avulla:

$$P_t = q \times \Delta i \times 1,2$$

Kokonaisjäähdytysteho on tuntoaistilla havaittavan ja latentin jäähdytyksen summa. Jäähdytyskone on mitoitettava oikein vaadittavan kokonaisjäähdytystehon suhteen.

Tuntoaistilla havaittava jäähdytysteho on aistien avulla havaittava tai lämpömittarilla mitattavissa oleva lämpötilan muutos.

Latentti jäähdytys on ilman kosteuden poistamista ilmasta. Tätä ei lämpömittarista voi havaita.

Laitteiston kokonaisilmavirta lasketaan seuraavan kaavan avulla:

$$q = l_k / (\Delta T \times 1,2)$$

$$P_t = q \times \Delta i \times 1,2$$

P_t = Kokonaisjäähdytysteho
kilowatteina

q = Ilmavirta, m³/s

Δi = i_{DUT} - i_{KB} yksikkönä
kJ/kg kuivassa ilmassa

jossa:

i_{DUT} = Ulkoilman entalpia

i_{KB} = Tuloilman entalpia
jäähdytysyksikön jäl-
keen

1,2 = Ilman tiheyden nor-
maaliarvo, kg/m³

$$q = l_k / (\Delta T \times 1.2)$$

q = Ilmavirta, m³/s

l_k = Sisäinen lämpökuorma,
kW

ΔT = T_{huone} - T_{uloilma}, °C

jossa:

T_{huone} = Huoneenlämpötila

T_{tuloilma} = Tuloilman lämpötila

1,2 = Ilman tiheyden nor-
maaliarvo, kg/m³

Mollier-kaavio

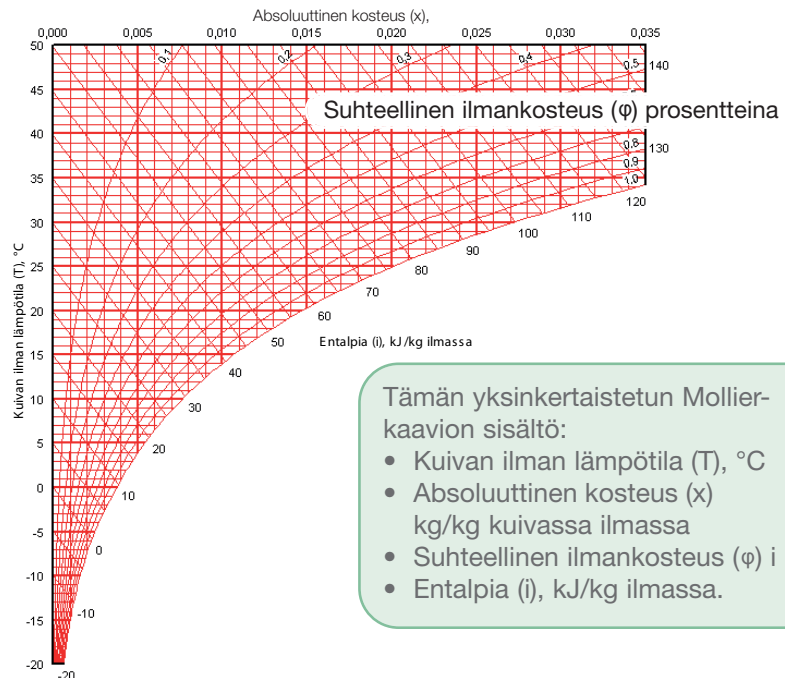
Mollier-kaavion avulla kuvataan selkeästi ja ymmärrettävästi olosuhteiden muutokset, kun ilmaa jäähdytetään tai lämmitetään seuraavissa prosesseissa.

Mollier-kaaviossa on erilaisia asteikkoja ja käyriä, jotka kuvaavat ilman käyttäytymistä.

Ilman lämpötilan ollessa alueella 0–30 °C sen tiheys on 1,1 – 1,3 kg/m³. Lämpötilassa 20 °C tiheys on 1,2 kg/m³, joten tätä arvoa voidaan käyttää lähes aina.

Mollier-kaavio näkyy suuremmassa mittakaavassa liitteessä 1.

Kostean ilman Mollier-kaavio, ilmanpaine 101,3 kPa



Tämän yksinkertaistetun Mollier-kaavion sisältö:

- Kuivan ilman lämpötila (T), °C
- Absoluuttinen kosteus (x) kg/kg kuivassa ilmassa
- Suhteellinen ilmankosteus (ϕ) i %
- Entalpia (i), kJ/kg ilmassa.

Käsitteiden selvennyksiä

Kuivan ilman lämpötila yksikkönä °C (T) – on lämpötila, joka mitataan lämpömittarin avulla, johon kondensoituminen ja säteily eivät vaikuta.

Absoluuttinen kosteus kg/kg (x) on vesihöyryn paino kuivan ilman painossa.

Esimerkki: $T = 27\text{ °C}$

$\phi = 42\%$

$x = 0,0093\text{ kg/kg}$

Suhteellinen ilmankosteus prosentteina (%) – kuvaa ilman kosteutta tietyssä lämpötilassa. Suhteellinen ilmankosteus kuvaa ilman sisältämän vesihöyryn määrää suhteessa siihen, kuinka paljon se voi sisältää vesihöyryä tietyssä lämpötilassa. Esimerkki: Kuivalämpötilassa (T) 27 °C vettä (x) $0,0093\text{ kg/kg}$ sisältävän ilman kyllästyneisyys on (x) $0,0224\text{ kg/kg}$.

$$\phi = \frac{0,0093}{0,0224} = 0,415 \text{ eli } 42\%$$

Entalpia kJ/kg (i) on kostean ilman lämpösisältö.

Esimerkki: $T = 27\text{ °C}$ ja

$\phi = 42\%$, jolloin

entalpia (i) = $50,9\text{ kJ/kg}$

Kastepiste °C on lämpötila, jossa kosteutta alkaa kondensoitua pinnoille. Mitä suurempi kosteuspitoisuus, sitä korkeampi kastepiste ja päinvastoin.

Esimerkki: $T = 27\text{ °C}$ ja

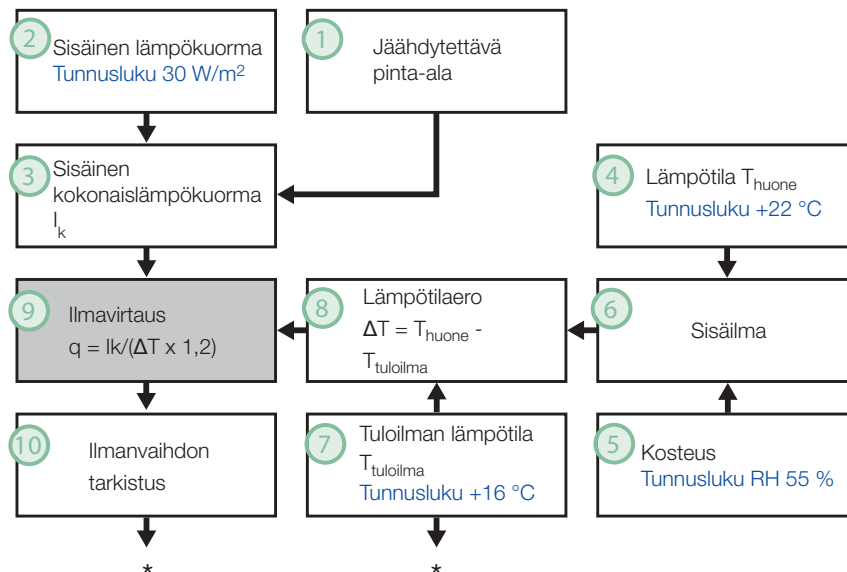
$\phi = 42\%$, jolloin

kosteuspiste = 13 °C



Vaihtoehto 1. Tarkka laskelma

Ilmavirta



* Lisätietoja on sivulla 14.

1 Jäähdytettävä pinta-ala

Jäähdytettävä pinta-ala on lattiapinta-ala, jolle tuloilma jakautuu. Jos tunnetaan vain rakennuksen kokonaispinta-ala, esimerkiksi kouluissa, toimistoissa, päiväkodeissa ja vastaavissa rakennuksissa voidaan olettaa, että 70 % kokonaislattiapinta-alasta on jäähdytettävää pinta-alaa.

2 Lämpökuorma

Tunnusluvut: 30 W/m² (not.03)

Lämpökuormitus voidaan määrittää käyttämällä erittäin kehittyneitä laskentaohjelmia, joissa otetaan huomioon esimerkiksi varjostukset ja lämmön kerääntyminen rakennuksen runkoon.

Koko rakennusta tai rakennuksen osaa koskevan laskelman voi tehdä nopeasti käyttämällä alla näkyvän taulukon 1 arvoja.

Esimerkki: Tavallinen toimistohuone, jonka ulkoseinä on kohti koillista.
Jäähdytettävä lattiapinta-ala on 12 m².

Lämpökuormitus (ks. taulukko 1)

1,6 m² 3-lasiset aurinkosuojailla varustetut ikkunat

1 henkilö

120 W loisteputkivalaistus

100 W tietokone

Taulukko 1. Likimääräinen jäähdytystarvelaskelma

Kohde		Pinta-alan teho	intensiteettikerroin			Lämpö- kuormitus W
			2-lasinen	3-lasinen	aurinkosuoja	
Ikkuna	NW, N, NE	1,6 m ²	330	300	x 0,35	168
	E, S	m ²	500	450	x 0,35	
	SW	m ²	520	470	x 0,35	
	W	m ²	450	400	x 0,35	
Ulkoseinä		m ²	12			
Ulkokatto	Alakatto	m ²	18			
	Ei alakattoa	m ²	6			
Henkilömäärä		1 kpl	115			115
Hehkulamput			W			1,0
Loisteputket		120 W	1,2			144
Tietokoneet ja muut sähkölaitteet			100	W	1,0	100
Kokonaislämpökuorma watteina						527

Yleissäännön mukaan ikkunan aurinkosuojaus vaikuttaa kokonaislämpökuormitukseen, ja auringon sekä valaistuksen aiheuttamaa lämpökuormitusta ei esiinny samanaikaisesti.

Lämpökuorma: $527 - 168 = 359 / 12 = 30 \text{ W/m}^2$



3 Sisäinen lämpökuorma (I_k)

Sisäinen kuormitus on esimerkiksi valaistuksen, henkilöiden, koneiden ja auringon aiheuttamaa lämpöä, joka on jäähdytettävä

4 Lämpötila (T_{huone})

Tunnusluku: +22 °C (not.05)

Termistä mukavuutta kuvataan erityisellä PPD-indeksillä, joka kuvaa tyytymättömien määrää suuressa ihmisjoukossa.

Taulukko 2. Esimerkki termisille parametreille asetettavista vaatimuksista

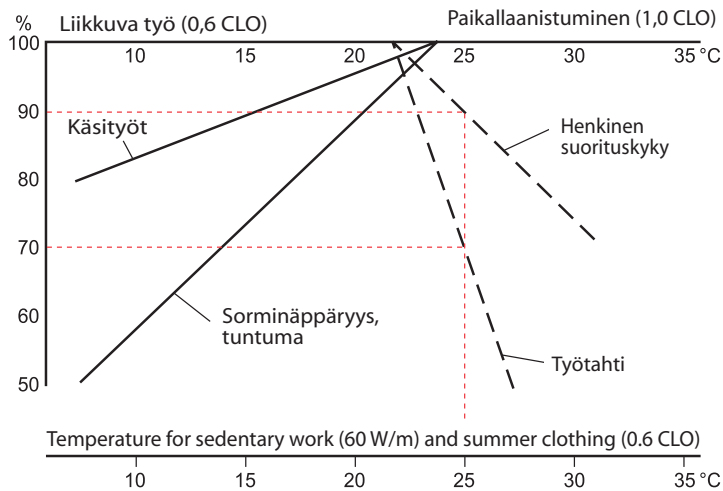
Ilmastointiluokassa TQ1 alle 10 % on tyytymättömiä, ilmastointiluokassa TQ2 tyytymättömiä on 10 % ja luokassa TQ3 20 %.

Sisäilmastoon vaikuttavat tekijät	Laatuluokitukseen vaikuttavat tekijät		
	TQ1*	TQ2	TQ3
<i>Operatiivinen lämpötila (t_o)</i>			
Talvi			
– Korkein arvo °C	23	24	26
– Ihanteellinen arvo °C	22	22	22
– Matalin arvo °C	21	20	18
Kesä			
– Korkein arvo °C	25,5	26	27
– Ihanteellinen arvo °C	24,5	24,5	24,5
– Matalin arvo °C	23,5	23	22
<i>Ilman nopeus oleskeltavalla alueella</i>			
– Talvi, m/s	0,15	0,15	0,15 (0,25)
– Kesä, m/s	0,20	0,25	0,40

* TQ1 saavutetaan vain, jos lämpötilaa ja ilman virtaamaa voidaan säädellä huonekohtaisesti.

Tutkimusten mukaan huoneenlämpötilalla on suuri vaikutus ihmisten suorituskyykyyn. Henkinen suorituskyyky ja työteho heikkenevät nopeasti lämpötilan noustessa.

Taulukko 3. Sisäilmasto ja tuottavuus



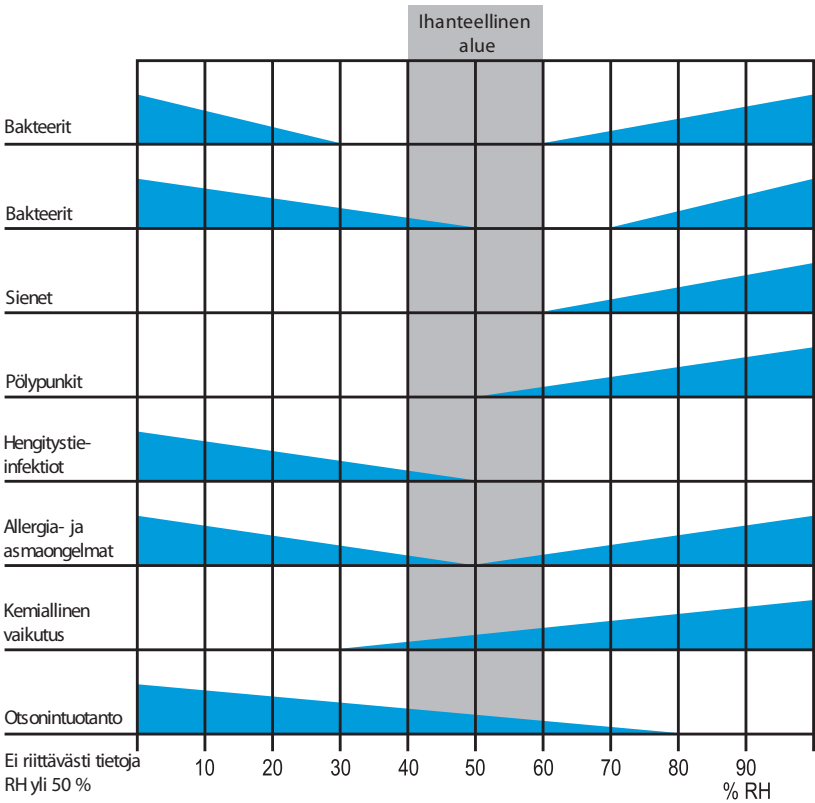
Jos tavallista toimistotyötä tehdään lämpötilassa +25 °C eikä mukavassa 22 asteen lämpötilassa, työteho heikkenee 30 % ja henkinen suorituskyyky 10 %. Työnantaja saa vain 70 % työntekijän kapasiteetista korkeammassa lämpötilassa.

5 **Kosteus**

Tunnusluku: 55 % (not.06)

Useiden esimerkiksi Ruotsissa, Suomessa ja Saksassa tehtyjen tutkimusten mukaan suhteellisen kosteuden haitalliset vaikutukset ihmisiin jäävät pienimmiksi, jos se on alueella 40–60 %.

Taulukko 4. Terveydelle ihanteellinen suhteellinen ilmankosteus.



Ilmaa jäähdytettäessä ei lisätä kosteutta, joten on tärkeää, että ulkoilmaa ei kuivateta liikaa.

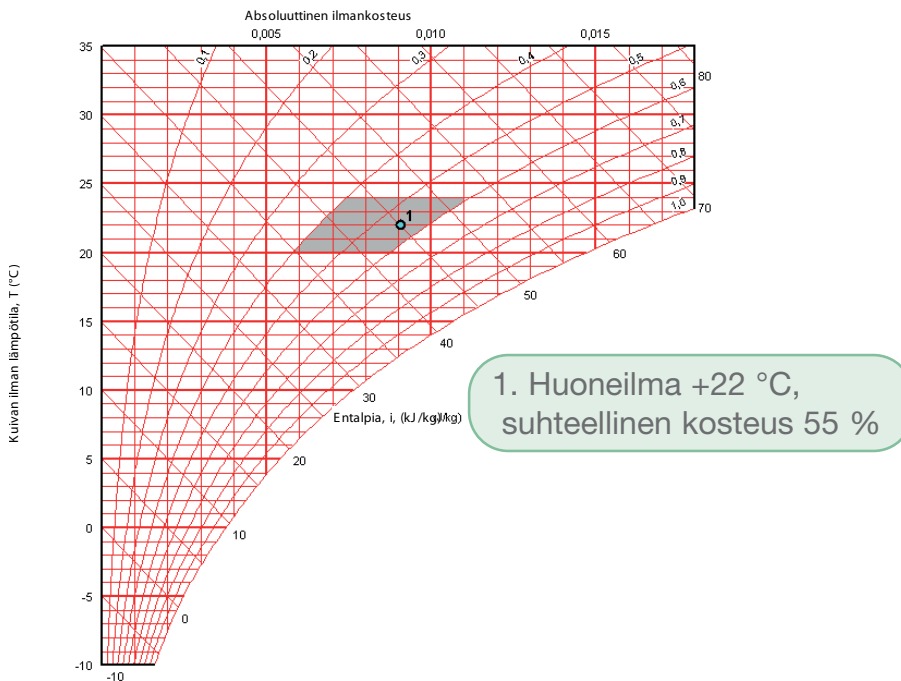
6 Sisäilma

(+22 °C, suhteellinen kosteus 55 %)

Sisäilma koetaan eri tavoin riippumatta siitä, millainen esimerkiksi sen lämpötila ja kosteus on. Jos ilman lämpötila alittaa +18 °C tai ylittää +28 °C, sitä pidetään epämiellyttävänä. Yleensä aluetta +20 °C – +24 °C pidetään mukavana.

Tutkimukset osoittavat, että vain 60 prosenttia vastaajista on tyytyväisiä parhaaseen mahdolliseen yhdistelmään. 20 % oli sitä mieltä, että on liian lämmintä, ja 20 % sitä mieltä, että on liian kylmää. Siksi valittiin +22 °C ja 55 %:n suhteellinen kosteus, mikä näkyy Mollier-kaaviossa.

Kostean ilman Mollier-kaavio, ilmanpaine 101,3 kPa



7 Tuloilman lämpötila puhaltimesta (T_{tuloilma})

Tunnusluku: +16 °C (not.07)

Ylimääräisen lämmön poistaminen edellyttää huoneilmaa viileämmän ilman puhaltamista huoneeseen.

Moni tekijä vaikuttaa tuloilman lämpötilaan, kuten puhallusjärjestelmä sekä venttiilien valinta ja sijoituspaikat. Tuloilman lämpötilaksi suositellaan yleensä 15–18 °C.

Kylmä tuloilma poistaa kosteutta enemmän. Lisäksi ulkoilman jäähdytystehoa hyödynnetään vähemmän. Korkea tuloilman lämpötila edellyttää suurempaa ilmavirtaa ja ilman nopeutta.

Tuloilman lämpötilaksi voidaan mitoittaa +16 °C. Viileämmän ilman puhaltaminen huoneeseen voi aiheuttaa vetoa. Tuloilman lämpötila ei saa alittaa huoneilman lämpötilaa enemmän kuin 7 °C!

8 Lämpötilaero eli alilämpötila (enintään 7 °C)

Huoneilman ja siihen puhallettavan ilman lämpötilaero eli alilämpötila ilmaistaan Celsius-asteina.

9 Ilmavirta

Tarvittavan ilmavirtauksen määrä perustuu mitoitettuun sisäiseen lämpökuormaan sekä huoneilman ja huoneeseen puhallettavan ilman lämpötilan eroon. Mitoituksen määrittää termiset vaatimukset, eivät ilman laadulle asetettavat vaatimukset.

10 Ilmanvaihdon tarkistus (2,5 –8 kertaa/h)

Ilmavirtauksen tulee olla hyväksyttävien rajojen sisäpuolella.

Ilmavirtauksen kuutiometreinä tunnissa (m^3/h) jaettuna huoneen tilavuudella (m^3) tulee olla alueella 2,5–8 kertaa tunnissa.

Jos ilma vaihtuu vähemmän kuin 2,5 kertaa tunnissa, huoneen lämpötilan säätäminen on vaikeaa. Tällöin on vähennettävä lämpötilaeroa ja nostettava tuloilman lämpötilaa, jotta ilmavirtaama lisääntyy ja ilma vaihtuu useammin.

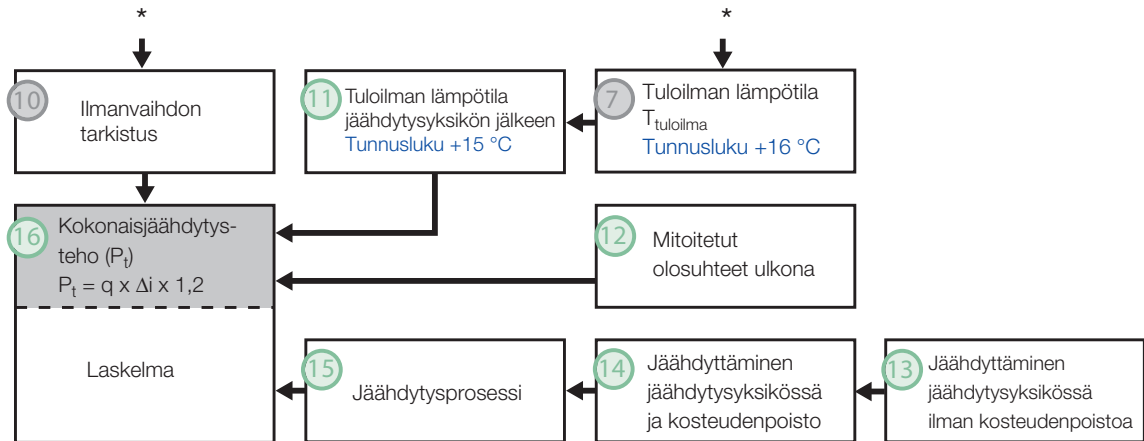
Jos ilma vaihtuu enemmän kuin 8 kertaa tunnissa, tilaan on vaikea puhalttaa ilmaa ilman vedon ja melun aiheutumista. Tällöin on vähennettävä tuloilmavirtaa ja lämpötilaa.

HUOMAUTUS!

Jos tilan ilma vaihtuu useammin kuin 8 kertaa tunnissa ja tuloilman lämpötila alittaa $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, jäähdytystarve on niin suuri, että ilmaa ei voi käyttää jäähdytyksessä

On tyydyttävä korkeampaan huoneenlämpötilaan tai valittava toinen jäähdytysjärjestelmä.

Kokonaisjäähdytysteho



* Lisätietoja on sivulla 6.

(11) Tuloilman lämpötila jäähdytysyksikön jälkeen Tunnusluku: +15 °C (not.11)

Useimmissa laitteistoissa tuloilmapuhaltimen moottori sijaitsee ilmapuhtausvirrassa, joten se lämmittää tuloilmaa. Kun moottorin teho tunnetaan, sen aiheuttama lämpötilan nousu voidaan laskea. Yleensä moottori aiheuttaa tuloilmassa noin 1 asteen lämmönousun.

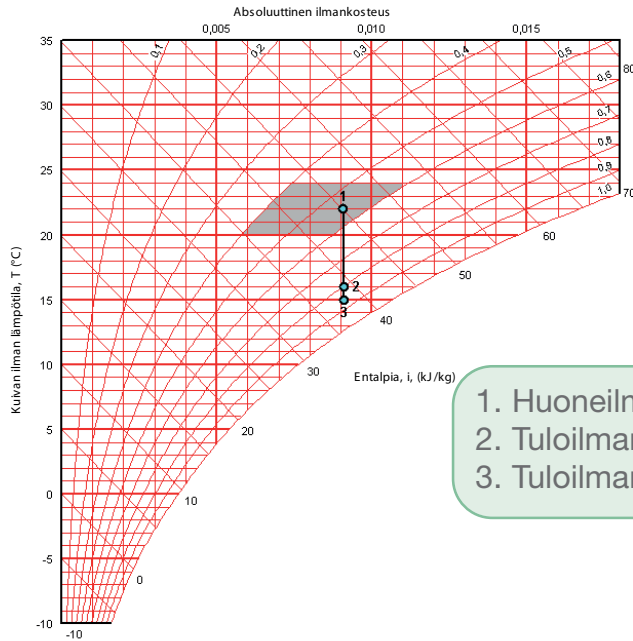
Siksi ilman lämpötila on jäähdytysyksikön jälkeen $16 - 1 \text{ °C} = 15 \text{ °C}$.

Seuraavaksi tarkastellaan prosessia Mollierin kaavion avulla. Oletetaan, että huoneilman lämpötila on +22 °C, ja että suhteellinen kosteus on 55 %.

Jäähdytetty ilma lämpiää huoneessa ja tuloilmapuhaltimen vaikutuksesta. Vesisisältö pysyy vakiona jäähdytysyksikön jälkeen tasolla 0,009 kg.



Kostean ilman Mollier-kaavio, ilmanpaine 101,3 kPa



1. Huoneilma +22 °C, suhteellinen kosteus 55 %
2. Tuloilman lämpötilä puhaltimen jälkeen +16 °C
3. Tuloilman lämpötilä jäähdytysyksikön jälkeen +15 °C

Kaavion käyrä osoittaa lämpötilan, johon ulkoilma on jäähdytettävä eli +15 °C.

Tämän pisteen tarkkaan sijaintiin todellisessa prosessissa vaikuttaa

- mitoitettut olosuhteet ulkona
- jäähdytysyksikössä valittu höyrystymislämpötilä.

12 Mitoitusolosuhteet

Mitoitusolosuhteita eri pakkakunnilla (DUT)

Lämpötila ja suhteellinen kosteus kesäisin saadaan selville mitoitusta varten Ruotsin meteorologisen ja hydrologisen tutkimuslaitoksen tilastosta. Tiettyjen paikkakuntien korkeimmat arvot näkyvät seuraavassa taulukossa. Tilasto perustuu enintään 50 tunnin aikana vuodessa ylitettäviin arvoihin.

PAIKKAKUNTA	DUT 50 °C	Suhteellinen kosteus %
Borlänge	28	36
Linköping	27	42
Växjö	27	42
Örebro	27	42
Malmö	26	48
Halmstad	26	47
Tukholma	26	45
Sundsvall	26	41
Gävle	26	39
Jönköping	25	51
Kalmar	25	48
Östersund	25	46
Luulaja	25	46
Uumaja	24	48

Esimerkki

Mitoitettut arvot Växjötä varten:

Lämpötila = 27 °C

Suhteellinen kosteus = 42 %

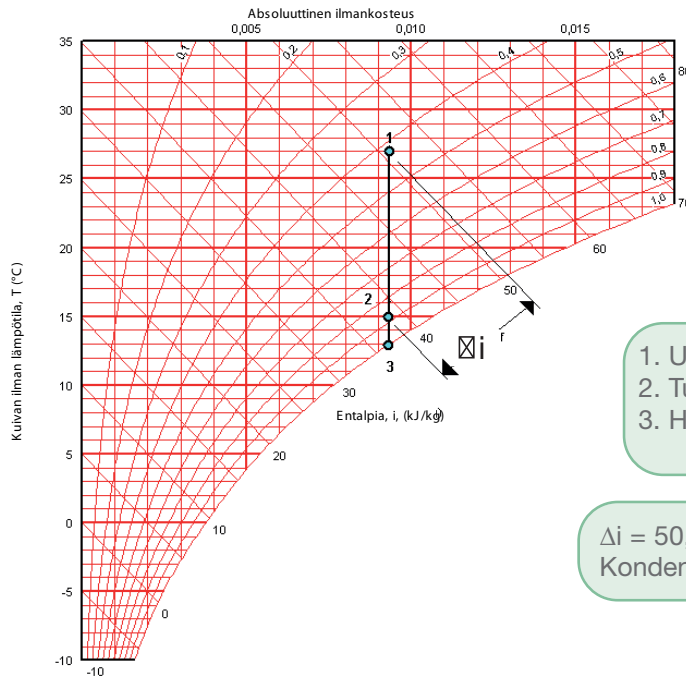
13 Jäähdyttäminen jäähdytysyksikössä ilman kosteuden poistamista

Jäähdyttäminen vaihtelee jäähdytysyksikön pintalämpötilan mukaan. Jos tulevan jäähdytysaineen höyrystyslämpötila on korkeampi kuin tulevan ilman kastepiste, vettä ei kondensoidu vaan jäähtyminen on kuivaa. Tällöin jäähtyminen tapahtuu Mollier-kaavion pystysuoran viivan jälkeen, ja ilman vesipitoisuus (x) pysyy vakiona.



Air handling with the focus on LCC

Kostean ilman Mollier-kaavio, ilmanpaine 101,3 kPa



Δi = aistein havaittava

1. Ulkoilma +27 °C, suhteellinen kosteus 42 %
2. Tuloilman lämpötilä jäähdytysyksikön jälkeen +15 °C
3. Höyrystyslämpötila +13 °C

$\Delta i = 50,9 - 38,1 = 12,8 \text{ kJ/kg ilmaa}$
Kondensoituminen $x = 0 \text{ kg/kg ilmaa}$

Jäähdytysprosessista halutaan tehdä ihanteellinen. Jäähdyttäminen ilman kondensoitumista havaitaan aisteilla.

14 Jäähdyttäminen ja kosteuden poistaminen jäähdytysyksikössä, höyrystymispiste 12 °C

Jos höyrystymispiste on matalampi kuin ilman kastepiste, jäähdyttämisestä tulee hankalampaa.

Suoratoimisessa jäähdytysjärjestelmässä kylmäaineen lämpötila pysyy lähes vakiona koko yksikössä. Tällaisessa järjestelmässä vettä kondensoituu sitä enemmän mitä alhaisempi höyrystymislämpötila on. Tällöin aistein havaittavan jäähtymisen lisäksi tapahtuu myös latenttia jäähtymistä.

Mollier-kaavion avulla ei voi kuvata koko olomuodon muutosta, sillä se seuraa käyrää viivaa ilman alkutilasta haluttuun sisäänpuhalluslämpötilaan. Syynä on jäähdyttävän pinnan lämpötila.

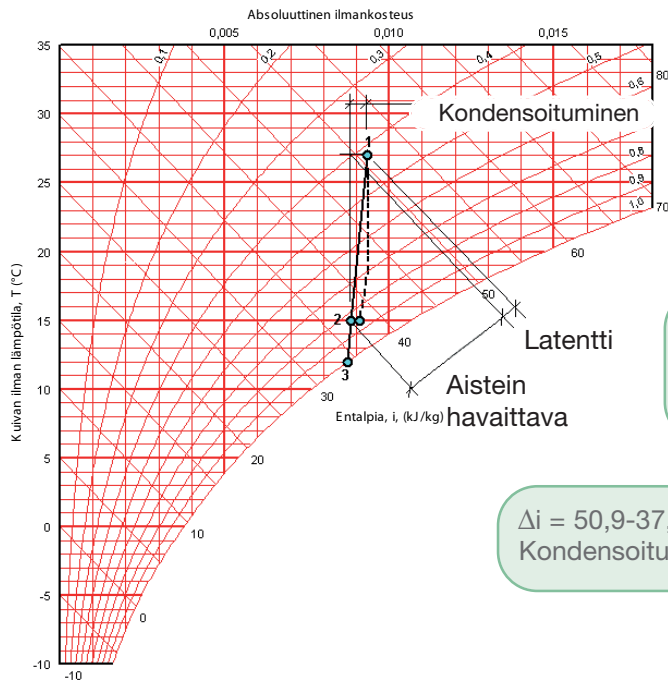


Se ei pysy muuttumattomana koko jäähdytysyksikössä. Lämpötila on usein korkeampi ensimmäisissä putkiriveissä kuin sisempänä. Vaikka kylmäaineen lämpötila pysyy vakiona, suurempi lämpövirtaus jäähdytysyksikön siinä osassa, jossa ilma on lämpimintä aiheuttaa sen, että lämpötila on korkeampi kuin syvemmillä patterissa, missä ilma on kylmempää.

Siksi laskelmat perustuvat teoreettiseen tilanteeseen, jossa seurataan suoraa viivaa ulkoilmasta mittausviivalla vallitsevaan höyrystymislämpötilaan.

Tämä laskentamenetelmä tuottaa hieman tarvittavaa suuremman jäähdytystehon.

Kostean ilman Mollier-kaavio, ilmanpaine 101,3 kPa



Δi = aistein havaittava ja latentti

1. Ulkoilma +27 °C, suhteellinen kosteus 42 %
2. Tuloilman lämpötila jäähdytysyksikön jälkeen +15 °C
3. Höyrystymislämpötila +12 °C

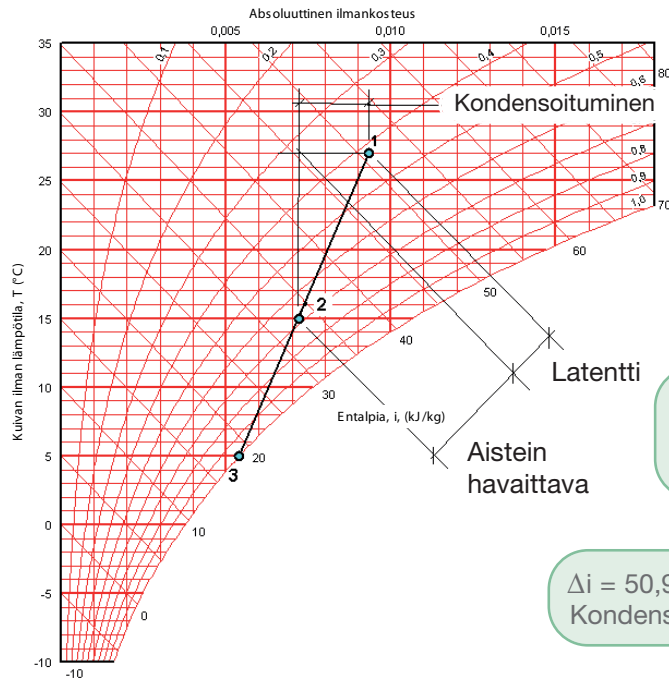
$\Delta i = 50,9 - 37,4 = 13,5$ kJ/kg ilmaa
Kondensoituminen $x = 0,0005$ kg/kg ilmaa

Höyrystymislämpötilan alentaminen 13 asteesta 12 asteeseen kasvattaa kokonaisjäähdytystehoa: $(13,5 - 12,8) / 12,8 = 5,5$ %.

Jäähdyttäminen ja kosteuden poistaminen jäähdytysyksikössä, höyrystymispiste 5 °C

Höyrystymislämpötila +5 °C on jäähdytyslaitteissa yleinen. Tarkastellaanpa siksi prosessia Mollier-kaaviossa.

Kostean ilman Mollier-kaavio, ilmapaine 101,3 kPa



Δi = aistein havaittava ja latentti

1. Ulkoilma +27 °C, suhteellinen kosteus 42 %
2. Tuloilman lämpötila jäähdytysyksikön jälkeen +15 °C
3. Höyrystymislämpötila +5 °C

$$\Delta i = 50,9 - 33,2 = 17,7 \text{ kJ/kg ilmaa}$$

$$\text{Kondensoituminen } x = 0,0021 \text{ kg/kg ilmaa}$$

Sama laskettu lämpötilan alentuminen, kuin jäähdytettäessä kosteutta poistamatta, edellyttää 40 % suuremman jäähdytystehon.

Tarpeettoman tehokas jäähdytyslaite käynnistyy ja pysähtyy usein, joten tuloilman lämpötilaa on vaikea säätää. Lisäksi lyhyet käyntiajat vaarantavat toimintavarmuuden.

Taloudellisessa ja teknisesti oikein mitoitettussa jäähdytyslaitteessa höyrystymislämpötila alittaa ilman lämpötilan jäähdytysyksikön jälkeen 3–5 asteella.

15 Jäähdytysprosessi

Jäähdytyslaitteelle on asetettava seuraavat vaatimukset, jotta lämpötila ja kosteus pysyvät oikein.

- Ilmaa on jäähdytettävä, mutta vettä ei saa kondensoitua. Tämä edellyttää korkeaa höyrystymislämpötilaa.

Höyrystymislämpötila ratkaisee kokonaisjäähdytystehon. Korkea höyrystymislämpötila saa aikaan

- vähäisen kokonaisjäähdytystehon
- vähäisen sähkönkulutuksen
- alhaisen energiankulutuksen.

16 Kokonaisjäähdytysteho (Pt)

Kokonaisjäähdytystehon tarve voidaan laskea, kun kokonaisjäähdytystarve ja ilmavirtaus tunnetaan.

- Kokonaisjäähdytystarve on ulkoilman entalpian ja jäähdytetyn ilman jäähdytysyksikön jälkeisen entalpian ero.

Yhteenveto

Laskelmalomake

		SUURIA KIRJAIMIA						IV Produktin
		Tunnusluku	Huomautus	Syöttötiedot	Merkintä	Kaava	Laskelma	ohjelmaan
Ilmavirtaus								
①	Jäähdytettävä pinta-ala	30 W/m ²	Enintään 50 W/m ²	560 m ²	01	–		
	– Huonekorkeus			2,4 m	02	–		
②	Sisäinen lämpökuorma			30 W/m ²	03	–		
③	Sisäinen kuormitus I _k			–	04	not 01 x not 03 x 0,001 =	16,8 kW	
④	Huoneenlämpötila T _{huone}	22 °C	20–24 °C	22 °C	05	–		22,0 °C
⑤	Suhteellinen kosteus RH	55 %	40–60 %	55 %	06	–		55,0 %
⑥	Sisäilma		22 °C, RH 55 %	–		–		
⑦	Tuloilman lämpötila T _{tuloilma}	16 °C	15–18 °C	16 °C	07	–		16,0 °C
⑧	Lämpötilaero ΔT		5–7 °C	–	08	not 05 - not 07 =	6 °C	
⑨	Ilmavirtaama q			–	09	not 04 / (not 08 x 1,2) =	2,33 m ³ /s	2,33 m ³ /s
⑩	Ilmanvaihdon tarkistus		2,5–8 kertaa/h	–	10	not 09 x 3600 / (not 01 x not 02) =	6,25 kertaa/h	
Kokonaisjäähdytysteho								
⑪	Tuloilma jäähdytysyksikön jälkeen	15 °C	Mollier-kaavion mukaisesti	–		–		
	– Lämpötila			15 °C	11	–		
	– Entalpia				37,4 kJ/kg	12	–	
⑫	Mitoitetut ulko-olosuhteet		SMHI:n mukaan	–		–		
	– Paikkakunta			Växjö	13	–		
	– Lämpötila			27 °C	14	–		27 °C
	– Suhteellinen kosteus			42 %	15	–		42,0 %
	– Entalpia Δi			50,9 kJ/kg	16	–		
⑬	Kokonaisjäähdytysteho P _t			–	17	not 09 x (not 16 - not 12) x 1,2 =	37,8 kW	

Kustannusanalyysi

Jäähdytysjärjestelmän asentamista ja käyttämistä on pitkään pidetty liian paljon kustannuksia aiheuttavana, joten sitä on pidetty tarpeettomana ylellisyytenä.

Muutaman esimerkin avulla tarkastellaan, pitääkö tämä paikkansa ja miksi.

Takaisinmaksuaika

Voiko viilennys maksaa itsensä takaisin? Katsotaanpa.

Esimerkiksi tietokoneiden, tulostimien ja valokopiokoneiden lämpökuorma voi nostaa sisälämpötilan 25 asteeseen tai sen yli vähintään 200 tunniksi vuodessa.

Tutkimustulosten mukaan työtahti hidastuu 30 %, kun huonelämpötila nousee 25 asteeseen.



Jos yhden työntekijän työtunti maksaa 20 euroa, menetys on $0,3 \times 20 \times 200 = 1200$ euroa työntekijää kohden vuodessa!

Jos tilaa on 20 m^2 työntekijää kohden, jäähdytykseen investointi 60 euroa/ m^2 maksaa itsensä takaisin jo vuodessa.

Esimerkkilaskelma perustuu 560 m^2 :n pinta-alan jäähdyttämiseen. Edellisen laskelman perusteella on mahdollista investoida 560×60 euroa = 33 600 euroa vuodessa jäähdytyslaitteiston asentamiseen!

Käyttökustannukset

Seuraavaksi tarkastellaan jäähdytyslaitteiston käyttökustannuksia.

Oletetaan, että ilmavirtaus ilmastointilaitteistossa ei muutu jäähdytetäessä. Siksi keskitytään jäähdyttämisen aiheuttamiin lisäkustannuksiin.

Samalla verrataan molempia kuvattuja vaihtoehtoja, joilla on erilaiset höyrystyslämpötilat.

Vaihtoehto, jossa höyrystyslämpötila on +12 °C

Edellytykset		
		Tuloilma
Ilmavirtaus		2,33 m³/s
Lämpötilat	Jäähdytys	16 °C
Vuoden keskilämpötila		6,4 °C
Toiminta		Päivisin klo 9 - 21
Käyttöaika		4380 h
Energian hinta		10 snt/kWh
Höyrystymislämpötila		12 °C

Laskelmamme mukaan jäähdytystehoa tarvitaan 37,8 kW.
Kompressorin hyötysuhteeksi (COP) oletetaan 3,8. Moottorin teho on 3,0 kW.

Tulos		
Kesto		Jäähdytys
Vuosittainen jäähdytys		7356 kJh/ilmakilo
Energian jakautuminen		
Kokonaistarve		20 568 kWh
Latentti jäähdytysenergia (kosteudenpoisto ilmasta)		1413 kWh
Energiantarve		
Kompressorit	Yhteensä	5413 kWh
Käyttökustannukset		
Jäähdytys	Yhteensä	541 Eur/vuosi
Tarvittava teho		
Jäähdytykseen kuluva sähkö		9,9 kW (netto)

Vaihtoehto, jossa höyrystyslämpötila on +5 °C

Edellytykset		
Ilmavirtaus	Tuloilma	2,33 m³/s
Lämpötilat	Jäähdytys	16 °C
Vuoden keskilämpötila		6,4 °C
Toiminta	Päivisin klo 9 - 21	
Käyttöaika		4380 h
Energian hinta		10 snt/kWh
Höyrystyslämpötila		5 °C

Esimerkissä käytetyn Mollier-kaavion mukaan jäähdytystehoa tarvitaan $2,33 \times 17,7 \times 1,2 = 49,5$ kW.

Alhaisemman höyrystyslämpötilan vuoksi hyötysuhde on heikompi eli $COP = 3,1$. Tuloilmanpuhaltimen moottoriteho on edelleen 3,0 kW.

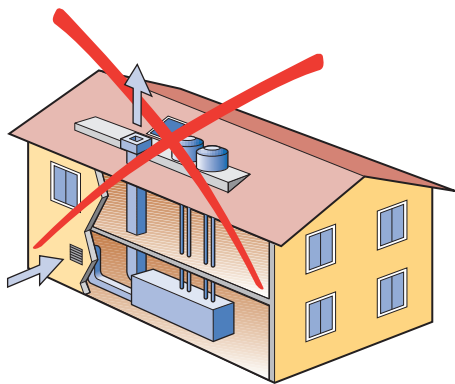
Tulos		
Kesto	Jäähdytys	
Vuosittainen jäähdytys	8078 kJh/ilmakilo	
Energian jakautuminen		
Kokonaistarve	22 587 kWh	
Latentti jäähdytysenergia (kosteuksenpoisto ilmasta)	3432 kWh	
Energiantarve		
Kompressorit	Yhteensä	7286 kWh
Käyttökustannukset		
Jäähdytys	Yhteensä	728 Eur/vuosi
Tarvittava teho		
Jäähdytykseen kuluva sähkö		16,0 kW (netto)

Yhteenveto

Jäähdytyslaitteiston vuosittaiset käyttökustannukset jäävät häviävän pieniksi, joten ne tai asennuskustannukset eivät estä jäähdytyslaitteiston hankkimista.

Esimerkkien välisestä vertailusta käy ilmi, että laitteisto kannattaa mitoittaa korkeaa höyrystyslämpötilaa varten.

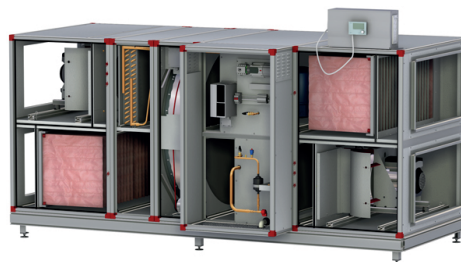
Jäähdytyslaitteen valinta



“Jäähdytys, ilmapuhallin ja ilmanvaihto eivät enää ole erossa toisistaan.”

Uudet suoratoimisilla EcoCooler-jäähdytyslaitteilla varustetut järjestelmät on suunniteltu rakentajan, asentajan ja loppukäyttäjän tarpeisiin.

Niiden integroitujen järjestelmien ansiosta meluvia ja usein esteettisesti häiritseviä katoille tai pihaille asennettavia laitteita ei tarvita. Kaikki tarvittava on puhallinhuoneessa.



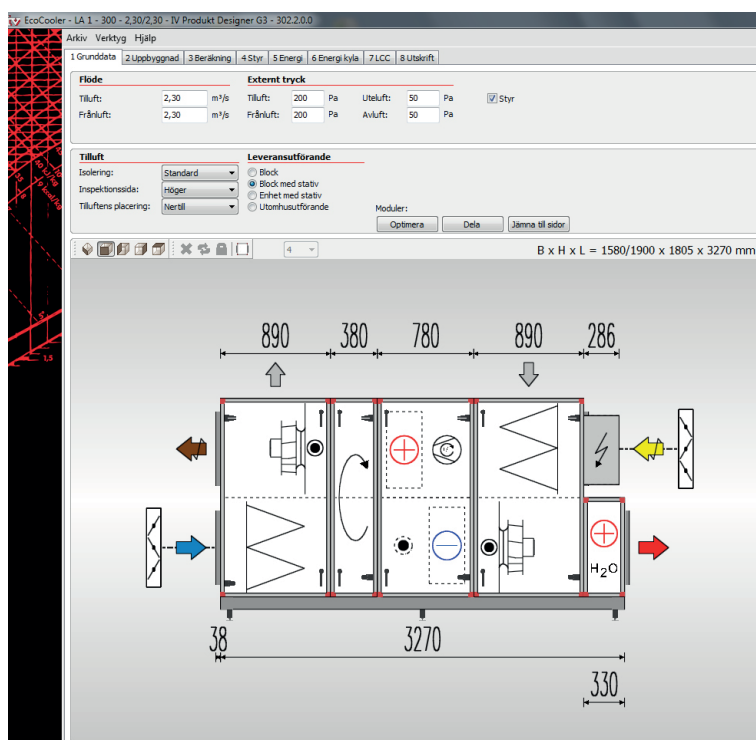
EcoCooler on käyttövalmis ilmapuhallinlaitteistoon asennettava osa.

Höyrystin, kompressori ja lauhdutin asennetaan suoraan ilmapuhallinlaitteiston tulo- ja poistoilman syöttöön.

IV Produktin valintaohjelmisto helpottaa järjestelmän valitsemista, mitoittamista ja oikean koon saamista selville. Tiedot voidaan viedä että AutoCad ja CAD Vent (DXF/XML).

Valitse kattavan ohjaus- ja säätöjärjestelmän sisältävä Envistar ja EcoCooler, tai kokoa oma ilmankäsittelyjärjestelmäsi Flexomix-komponenteista.

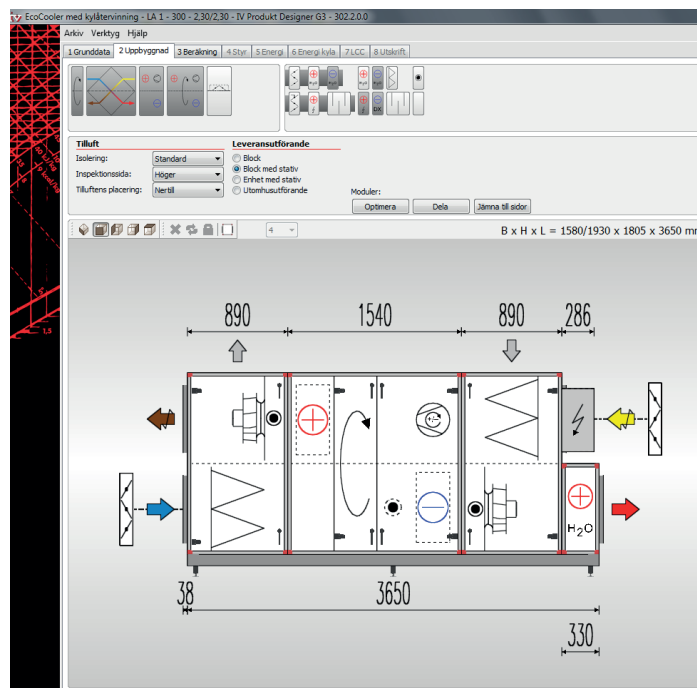
Envistar Flex ja EcoCooler ECR



EcoCooler-jäähdytyslaitetta voidaan täydentää joko pyörivällä – tai levylämmönvaihtimella.

EcoCooler löytyy ilmapirta-alueelle 0,3...8,5 m³/s. Jäähdytysteho max. 210 kW (26 °C/50 %, poistoilma 22 °C)

Flexomix ja EcoCooler

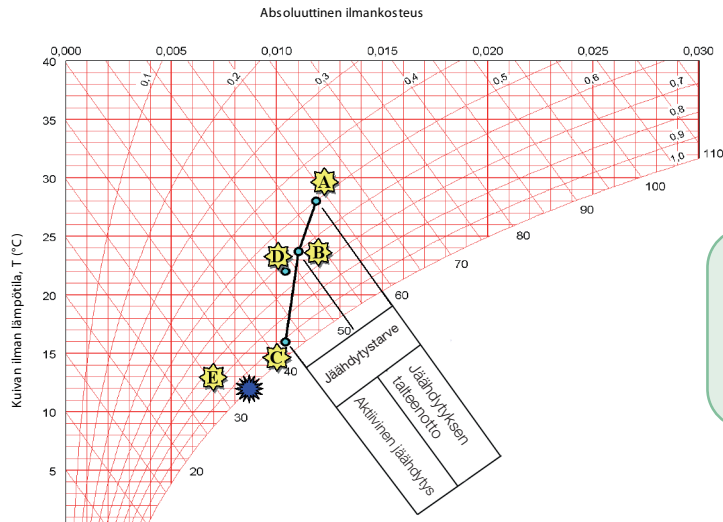


EcoCooler jäähdytyslaitteessa on pyörivä lämmönvaihdin, jossa lämmönvaihdin toimii jaksottain jäähdytyslaitteen kanssa.

Hygroskooppisesti toimiva lämmönvaihdin siirtää lämpötilan lisäksi myös kosteutta ilmasta.

EcoCooler löytyy ilmavirta-alueelle 0,3...8,5 m³/s. Jäähdytysteho voi olla 5...210 kW (26 °C/50 %, poistoilma 22 °C).

EcoCooler ja jäähdytysenergian talteenotto



Suorahöyrysteinen portaattomasti säädettävä jäähdytysyksikkö sekä tehokas jäähdytysenergian talteenotto roottorilla takaavat korkean hyötysuhteen.

Jäähdytyslaite ja roottori valitaan jäähdytystarpeen mukaan.

Pienitehoinen sähköliitântä
Lyhyempi käyntiaika
Pienempi energiankulutus



Vaihtoehto 2. Perinteinen laskenta:

Meillä on pitkä kokemus ilmavirtaus- ja jäähdytystehon mitoittamisesta. Aiemmin tyydyttiin usein tekemään yksinkertaiset laskelmat kiinteistön ilmavirtauksen ja jäähdytystehon tarpeesta käyttämällä tunnuslukuja.

Niiden avulla saatiin selville ilmavirtauksen tarve ja jäähdytysyksiköllä varustetun ilmankäsittelylaitteen koko. Näin saatiin myös tiedot jäähdytyslaitteen mitoittamiseksi.

Kuitenkaan esimerkiksi tuloilman lämpötilaa, sisäistä kuormitusta, COP-hyötysuhdetta ja liitäntätehoa ei saatu selville.

Tunnuslukuina käytettiin yleisesti jäähdytettävän pinta-alan kertomista ilmankäsittelylaitteen ilmavirtauksella	12–15 m ³ /h
jäähdytyslaitteen kokonaisjäähdytysteholla	80–85 W

Optimoidun laskentaesimerkin avulla ilmavirtaukseksi saatiin 2,33 m³/s ja kokonaisjäähdytystehoksi 37,8 kW, kun jäähdytettävää pinta-alaa on 560 m².

Katsotaanpa, pitääkö historiallinen laskelma paikkansa nykyäänkin. Oletetaan, että ilmavirtaus on $15 \text{ m}^3/\text{h}$ ja jäähdytysteho on 85 W .

Ilmavirtaukseksi tulee tällöin $560 \times 15 = 8400 \text{ m}^3/\text{h}$ eli $2,33 \text{ m}^3/\text{s}$.
Jäähdytyslaitteen kokonaisjäähdytysteho: $560 \times 85 = 47\,600 \text{ W}$ eli $47,6 \text{ kW}$.

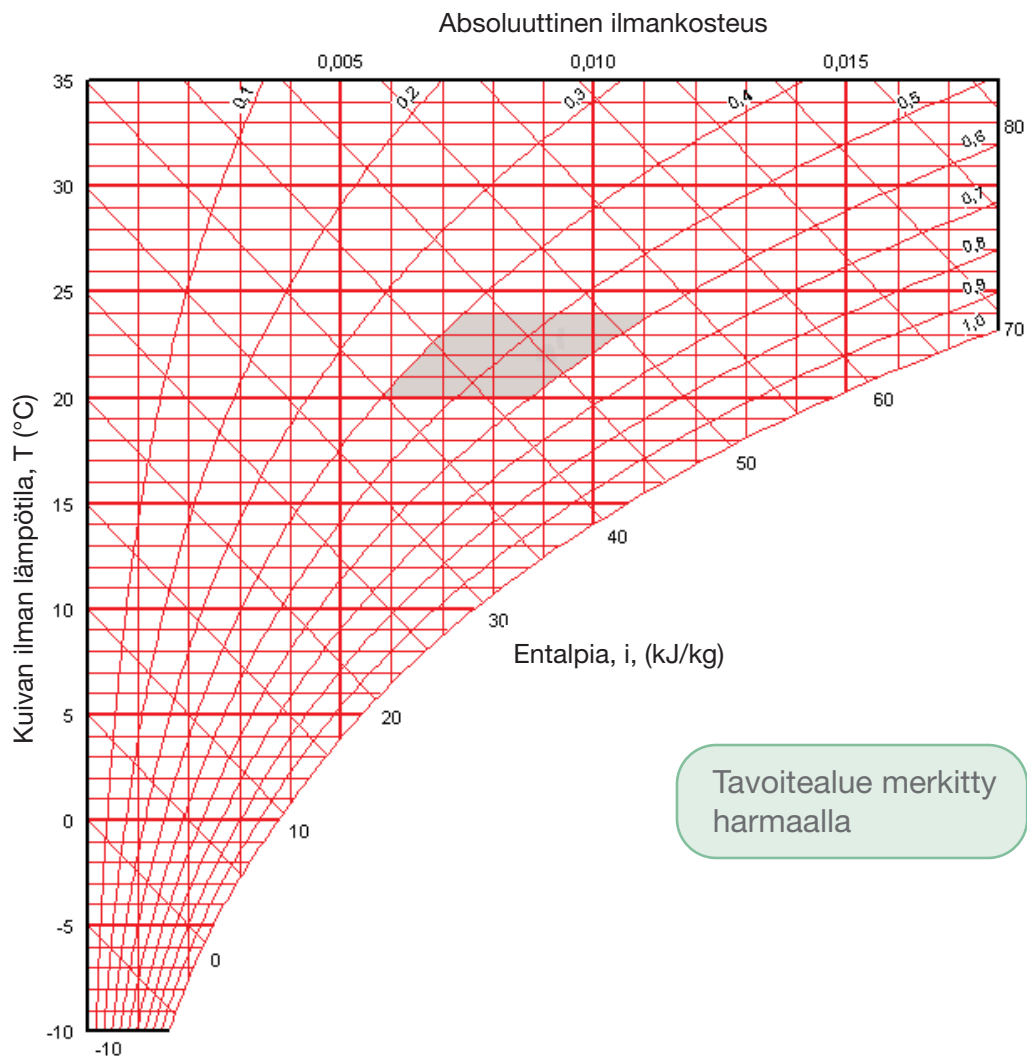
Ilmavirtaukseksi tulee oikea, jos tunnusluvuksi valittiin $15 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

Jäähdytystehoa oli liikaa, eli jäähdytyslaite oli liian tehokas. Syynä on, että aikaisemmin höyrystyslämpötila oli $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ ihanteellisen $+10 - 12$ asteen sijasta.

Tästä käy ilmi, että tunnuslukuja voidaan käyttää nopeissa laskelmissa, mutta ne eivät riitä lopulliseen mitoittamiseen.

Liite 1. Mollier-kaavio

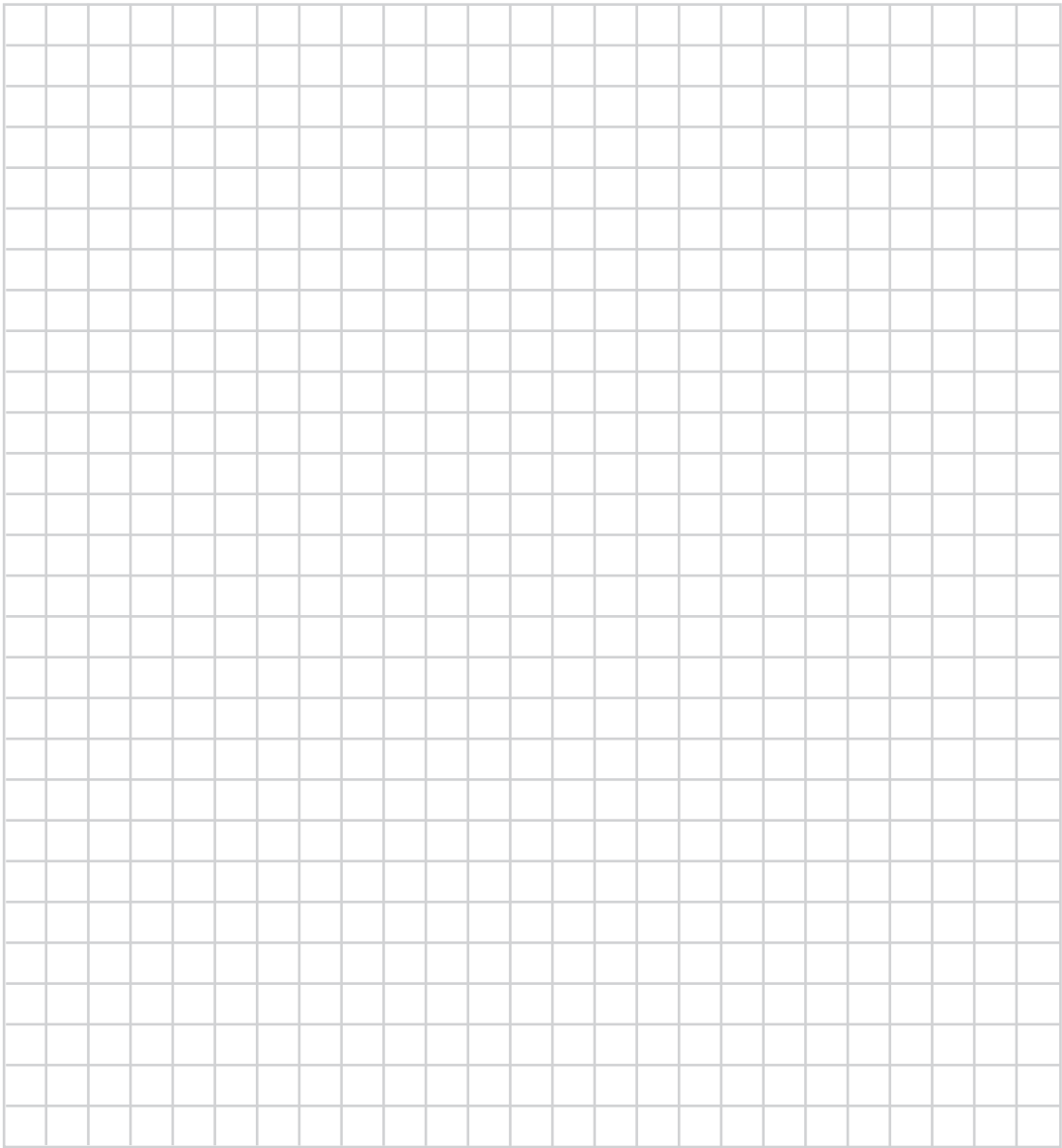
Kostean ilman Mollier-kaavio, ilmanpaine 101,3 kPa



Liite 2. Laskelmalomake

	SUURIA KIRJAIMIA						IV Produktin ohjelmaan
	Tunnusluku	Huomautus	Syöttötiedot	Merkintä	Kaava	Laskelma	
Ilmavirtaus							
① Jäähdytettävä pinta-ala			m ²	01		-	
- Huonekorkeus			m	02		-	
② Sisäinen lämpökuorma	30 W/m ²	Enintään 50 W/m ²	W/m ²	03		-	
③ Sisäinen kuormitus I _k			-	04	not 01 x not 03 x 0,001 =	kW	
④ Huoneenlämpötila T _{huone}	22 °C	20–24 °C	°C	05		-	°C
⑤ Suhteellinen kosteus RH	55 %	40–60 %	%	06		-	%
⑥ Sisäilma		22 °C, RH 55 %	-			-	
⑦ Tuloilman lämpötila T _{tuloilma}	16 °C	15–18 °C	°C	07		-	°C
⑧ Lämpötilaero ?T		5–7 °C	-	08	not 05 - not 07 =	°C	
⑨ Ilmavirtaama q			-	09	not 04 / (not 08 x 1,2) =	m ³ /s	m ³ /s
⑩ Ilmanvaihdon tarkistus		2,5–8 kertaa/h	-	10	not 09 x 3600 / (not 01 x not 02) =	kertaa/h	
Kokonaisjäähdytysteho							
⑪ Tuloilma jäähdytysyksikön jälkeen			-			-	
- Lämpötila	15 °C		°C	11		-	
- Entalpia		Mollier-kaavion mukaan	kJ/kg	12		-	
⑫ Mitoitettut ulko-olosuhteet			-			-	
- Paikkakunta		SMHI:n mukaan		13		-	
- Lämpötila		SMHI:n mukaan	°C	14		-	°C
- Suhteellinen kosteus		SMHI:n mukaan	%	15		-	%
- Entalpia Δi		Mollier-kaavion mukaan	kJ/kg	16		-	
⑬ Kokonaisjäähdytysteho P _t			-	17	not 09 x (not 16 - not 12) x 1,2 =	kW	

Kylmä Aapinen



Kirjallisuutta

VVS 2000, Tabeller och Diagram

SMHI

Luftbehandling 2, Gunnar Lilja, Liber förlag

Termisk komfort, Leif Davidsson, Ahlsell kyl

Klimatteknologi, Torkel Andersson, DELTate

RAPPORT EFFEKTIV 200:1, Per-Erik Nilsson



Air handling with the focus on LCC

IV Produkt AB, Box 3103, SE-350 43 Växjö, Sweden
Phone: +46 470-75 88 00 • Fax: +46 0470-75 88 76
info@ivprodukt.se • www.ivprodukt.se

Intervent

Intervent OY, Turpiininkatu 2 C, FI-33100 Tampere
Puhelin 03-348 5833 • Telefax 03-348 5877
etunimi.sukunimi@intervent.fi • www.intervent.fi